



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machines électriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Djidjekh Imad Eddin

Le : samedi 23 juin 2018

Etude comparative des différents types de bobinage d'un moteur asynchrone triphasé à cage

Jury :

Mr	TITAOUINE A. ENNACER	Pr	Université de Biskra	Président
Mr	DENDOUGA A.ELHAKIM	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Mr	CHANNOUFI A. ELHALIM	MAA	Université de Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieure de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Machines électriques

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

MASTER

Thème

**Etude comparative des différents types de
bobinage d'un moteur asynchrone triphasé à cage**

Avis favorable du Président du Jury

Mr. TITAOUINE ABD ENNACER

Signature

Cachet et signature

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option: Energie renouvelable

Thème

Etude comparative des différents types de bobinage d'un moteur asynchrone triphasé à cage

Proposé et dirigé : Dr. DENDOUGA A.ELHAKIM.

Signature

RESUMES

Dans cette étude, nous avons intéressé à l'étude des différents types de connexion ou couplage des enroulements (bobinage) pour la machine asynchrone triphasé à cage d'écureuil, notamment (étoile, étoile-triangle). Une étude comparative a été effectuée au sein du laboratoire des machines électriques dont l'objectif de connaître la différence entre les différentes méthodes de connexion de bobinage. Dans ce contexte, nous avons élaboré un banc d'essai qui consiste à utiliser une machine asynchrone en mode génératrice entraînée par un moteur à courant continu, ainsi que la tension entre phasé est reliée à un oscilloscope numérique qui nous permet d'extraire des données numérique (Data). En suite, ces data sont traités par un programme Matlab qui nous permet de tracer le spectre d'harmonique ainsi de calculer le taux d'harmoniques (THD) pour chaque type de connexion. D'après les résultats obtenus, on constate que le couplage étoile-triangle présente un taux d'harmoniques réduit, et ce qui permet de l'immersion de ce type dans la construction des machines asynchrones dans l'avenir.

Remerciement

*En premier lieu, je tiens à remercier Mr : DENDOUGA
A.ELHAKIM, mon directeur de mémoire et je lui
exprime toute ma reconnaissance pour sa confiance en
mon travaille et les nombreux conseils qu'il m'a
prodigués.*

*J'adresse mes sincères remerciements à vont également
à tous mes collègues du département
d'électrotechnique.*

*Nos remerciements vont aux membres de jury Pr.
TITAOUINE ABD ENNACER et Dr CHANOUFI ABD
ELHALIM qui ont accepté de juger notre travail et pour
l'intérêt qu'ils ont porté à ce dernier.*

Dédicace

*Je dédie ce modeste mémoire de fin d'étude à :
Mes très cher parent pour leur sacrifice et qui non
jamais cesse de m'encouragement que dieu me garde,*

A tous ceux qui connaissance Djidjekh Imad Eddin.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
I. Chapitre I : Généralité sur les machines asynchrones	
I.1. Introduction	3
I.2. Présentation de la machine asynchrone.....	3
2.1. Historique	4
2.2. Symbole.....	5
2.3. Constitution de la machine asynchrone.....	5
3.1.Le stator	6
3.2.Le rotor	6
a. Le rotor à cage.....	6
b. Rotor bobiné.....	7
3.3.Entrefer.....	8
2.4. Utilisation	8
4.1.Moteur asynchrone	8
4.2.Générateur asynchrone.....	8
2.5. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone	8
5.1.Glisement d'une machine asynchrone	9
2.6. Démarrage	10
6.1.Démarrage sous tension réduite	10
a. Démarrage étoile-triangle.....	10
b. Démarrage par autotransformateur.....	11
c. Démarrage résistif	11
6.2.Démarrage à tension.....	11
a. Démarrage rotorique	11
2.7. Freinage	11
7.1. Freinage hyper synchrone	12
7.2. Arrêt par injection de courant continu.....	12
7.3. Arrêt à contre-courant	12
7.4.Freinage mécanique par électro-frein.....	12
2.8. Schéma électrique équivalent	13
2.9. Bilan de puissance	14
2.10. Le rendement	15

I.3. Caractéristique du moteur asynchrone	15
3.1. Fonctionnement à vide.....	15
3.2. Fonctionnement en charge	15
3.3. Caractéristique mécanique $C_u = f(n)$	17
3.4. Résumé des caractéristiques.....	17
I.4. Les couplages moteurs	18
I.5. La plaque signalétique d'un moteur asynchrone.....	18
I.6. Modification et variation de la vitesse du moteur asynchrone triphasé	19
6.1. Modification de la vitesse par enroulement de pole.....	19
6.2. Variation de la vitesse	19
2.1.variation du glissement.....	19
2.2.réglage de la vitesse par convertisseur de fréquence.....	20
I.7. Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone	20
7.1. Domaine d'utilisation	20
I.8. Conclusion	21

II. Chapitre II: les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone

II.1. Introduction	22
II.2. Bobinage des machines tournantes à courant alternatif triphasés	22
II.3. Rappel sur les paramètres des enroulements	23
II.4. Représentation des enroulements à courant alternatif	24
a. Bobine concentrique reliées en séries	24
b. Bobines identiques reliées en série	24
II.5. Schémas de bobinage	25
II.6. Aperçu sur les enroulements des machines électriques	27
II.7. Enroulement à une couche.....	30
II.8. Enroulements triphasé	31
8.1. Enroulement triphasé à une couche.....	31
1.1.Enroulement à une couche par pôles conséquent.....	32
1.2.Enroulement à une couche par pôles.....	33
8.2. Enroulement triphasé à deux couches	33
2.1.placement par succession asymétrique.....	34
2.2.placement par ((levée))	35
2.3.Placement par succession symétrique	36

II.9.	Schéma de bobinage linéaire	36
II.10.	Paramètres des enroulements statorique	37
10.1.	Exemplaire de calcul des paramètres d'enroulement triphasé	38
10.2.	Calcul des paramètres d'enroulement	38
II.11.	Conclusion	39
III.	Chapitre III : Etude comparative entre les différents types de couplage des enroulements	
III.1.	Introduction	40
III.2.	Enroulements triphasés	40
2.1.	Force magnéto-motrice (fmm) d'un stator triphasé bipolaire	40
1.1.	Cas d'une bobine diamétrale	40
1.2.	La répartition des bobines	41
1.3.	Le raccourcissement des bobines	44
1.4.	Le coefficient de bobinage kbh	46
III.3.	Fmm triphasée résultante, champ tournant bipolaire	48
III.4.	Etude expérimentale	49
4.1.	Présentation du banc d'essai	49
4.2.	Méthode de couplage	50
2.1.	Couplage étoile	50
2.2.	Couplage étoile triangle	51
4.3.	1 ^{er} Essai couplage étoile	51
4.4.	2 ^{ème} Essai couplage étoile-triangle	52
4.5.	3 ^{ème} Essai	53
III.5.	Etude comparative	54
III.6.	Conclusion	54
	Conclusion générale	55

Liste des figures	
Chapitre I : Généralité sur les machines asynchrones	
Fig. I.1 Rotor (à gauche) et stator (à droite) d'une machine asynchrone	4
Fig. I.2 Symbole générale d'une machine asynchrone triphasé	5
Fig. I.3 Vue éclatée d'une machine asynchrone	5
Fig. I.4 Stator d'un moteur asynchrone triphasé	6
Fig. I.5 Rotor à cage d'écureuil	6
Fig. I.6 Rotor à bagues (bobiné)	7
Fig. I.7 rotor à double cage	7
Fig. I.8 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone	9
Fig. I.9 Caractéristique couple- glissement du moteur	10
Fig. I.10 Schéma électrique équivalent simplifié de la machine	13
Fig. I.11 Représentation des enroulements de la machine asynchrone dans l'espace électrique	13
Fig. I.12 Bilan de puissance de la machine asynchrone	14
Fig. I.13 La vitesse de différents f.m.m remarque	16
Fig. I.14 Caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone	17
Fig. I.15 les types de couplage	18
Fig. I.16 la plaque signalétique d'un moteur asynchrone	19
Chapitre II : les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone	
Fig. II.1 Machine tournante à courant alternatif : coupe	22
Fig. II.2 Fem en présence d'harmoniques de rangs 3 et 5	23
Fig. II.3 Etoile de phase	24
Fig. II.4 bobine concentriques reliées en série	24
Fig. II.5 bobines identique ou "section" reliées en série	25
Fig. II.6 Schémas de bobinages	26
Fig. II.7 Les types d'enroulements à une couche	27
Fig. II.8 Enroulements triphasés à deux couches	28
Fig. II.9 Enroulements triphasés à une-deux couches	29
Fig. II.10 Enroulements triphasés à une couche par pole conséquent	30
Fig. II.11 Encoche à un faisceau	31
Fig. II.12 enroulement à une couche par pole conséquent	32
Fig. II.13 enroulement à une couche par pole	33
Fig. II.14 Enroulement à deux couches par succession asymétrique	34
Fig. II.15 Enroulement à deux couches par levée	35
Fig. II.16 Enroulement à deux couches par succession symétrique	36
Fig. II.17 Enroulement à $q=2, \tau p = 6, p=2$	37
Fig. II.18 différentes configuration des encoches	38

Fig. II.19 Les dimensionnements des encoches du stator et rotor	38
Chapitre III : Etude comparative entre les différents types de couplage des enroulements	
Fig III.1 Bobine diamétrale	40
Fig III.2 Fmm d'une phase en fonction d'angle	41
Fig III.3 Bobines diamétrales répartier	42
Fig III.4 FMM des bobines réparties	43
Fig III.5 Raccourcissement d'un pas dentaire pour un stator à 2 encoches par pôle et par phase	45
Fig III.6 Fmm par phase du bobinage de la Fig III.5	45
Fig III.7 Fmm résultante d'enroulement à une couche $q=3$, $p=1$ et son spectre d'harmonique	48
Fig III.8 Banc d'essai génératrice asynchrone entraînée par un moteur à courant continu.	49
Fig III.9 Schéma théorique représente couplage étoile	50
Fig III.10 couplage étoile	50
Fig III.11 Schéma théorique représente couplage étoile triangle	51
Fig III.12 tension de sortie entre phases $C=48$ uf (couplage étoile)	51
Fig III.13 Spectre d'harmoniques de tension pour un couplage étoile	52
Fig III.14 tension de sortie entre phases $C=48$ uf (couplage étoile triangle)	52
Fig III.15 Spectre d'harmoniques de tension pour un couplage (étoile triangle)	53
Fig III.16 Caractéristiques tension-vitesse pour différentes valeurs du condensateur	54

Liste des tableaux	
Chapitre II : les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone	
Tab.II.1 Données nominales orientées du prototype du moteur à induction	38
Chapitre III : les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone	
Tab.III.1 Evolution du coefficient de la série de Fourier pour les harmoniques d'espace 1, 5, 7, 11 et 13 en fonction du nombre m d'encoches par pôle et par phase	44
Tab.III.2 Evolution du coefficient de la série de Fourier pour les harmoniques d'espace 1, 5,7, 11 et 13 en fonction du nombre q d'encoches par pôle et par phase et du pas relatif β	47

LISTE DES SYMBOLES

Ω_S	vitesse synchrone de rotation du champ tournant en rad.s^{-1} .
W	pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} . $w = 2.p.f$
P	nombre de paires de pôles
n_S	vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr.s^{-1}).
n_R	vitesse de rotation du rotor (tr.s^{-1}).
Z	nombre d'encoche
2P	nombre de pôles
P :	nombre de paires de pôles
m	nombre de phase
q	nombre d'encoche par pole et par phase
Z	nombre d'encoches statorique
D	diamètre intérieure statorique (mm)
D_{ex}	diamètre extérieur statorique (mm)
Lδ	longueur du paquet statorique (mm)
b_z	épaisseur minimale de la dent (mm)
h₁	hauteur de la culasse (le dos statorique) (mm)
h₂	hauteur de l'encoche statorique (mm)
F_c	surface de l'encoche (mm^2)
W_b	nombre de spire dans une bobine
B	induction (T)

SYMBOLES

Ken	coefficient d'enroulement
Kd	coefficient de distribution
d	diamètre de file (mm)
η	rendement
g	glissement
pu	puissance utile (W)
pa	puissance absorbi (W)
po	puissance absorbi vide (W)
Icc	courant absorbi en cc (A)
Vcc	tension en cc (V)
f	la fréquence (HZ)
Bδ	induction magnétique dan entrefer
Kr	coefficent de remplissage (T)
Fc	surface de l'encoche (mm ²)
bent	largeur de l'entrée de l'encoche (mm)
α	Angle mécanique entre les encoche de stator
τ_p	Le pas polaire
zu	Le nombre de conducteurs par encoche
Au	La section d'encoche du stator

Introduction générale

Introduction générale

Les machines électriques occupent une place très importante dans la vie courante et constituent l'élément essentiel de toute installation énergétique ou industrielle.

Le but assigné à une machine électrique est la transformation de l'énergie d'une forme à une autre dont l'une au moins est de nature électrique. Cette transformation électromagnétique dépend dans de larges mesures des enroulements (le type, la qualité de l'isolant, le procédé de mise en encoche aussi que toute opération intermédiaire).

Les statistiques menées par plusieurs firmes sur l'amélioration de la fiabilité des machines électriques ont montré que 40% des défauts ou des arrêts de ces dernières sont dus aux enroulements. Vu l'importance des ateliers de réparations qui ont une influence directe sur la production.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude des différents types de connexion des enroulements tels que triangle, étoile, hybride, ...ect. Cette étude consiste à étudier chaque type par l'analyse spectrale de la tension entre phase pour un fonctionnement génératrice, en commençant par étude expérimentale qui nous permet d'extraire des données (Data) pour la tension entre phases, et puis nous avons élaboré un programme Matlab qui permet de traiter et de tracer le spectre d'harmoniques à partir de ces données. Finalement, une étude de comparaison entre ces types de connexion a été réalisée en se basant sur les résultats expérimentaux obtenus au niveau du laboratoire, dont l'objectif de classer chaque type selon son facteur THD.

Cet mémoire est structuré comme suit :

Chapitre 1 : Dans ce chapitre nous nous intéressons au principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients ainsi le domaine d'utilisation du moteur asynchrone à cage d'écureuil.

Chapitre 2 : Nous avons présenté les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone (une et deux couches) surtout ce qui concerne son élaboration et son placement dans les encoches.

Introduction générale

Chapitre 3 : Dans cette partie, nous allons parler sur les différents types de couplage des enroulements (étoile, triangle, hybride,...etc.), nous avons également présenté une étude expérimentale qui nous permet la comparaison entre ces types de connexion.

Ce travail est clôturé par une conclusion générale

Chapitre I :

Généralité sur les machines asynchrones

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons au principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients ainsi le domaine d'utilisation du moteur asynchrone à cage d'écureuil.

I.2 Présentation de la machine asynchrone :

On appelle machines asynchrones toute machines moteur ou génératrice qui ayant $2p$ pôles et étant reliée à un réseau de fréquence f , ne tourne pas exactement à la vitesse synchrone

N définie par :
$$N = \frac{f}{p} \quad (I.1)$$

On peut distinguer deux types de machines asynchrones :

- Les machines à cage d'écureuil (induction) : Une des armatures le rotor d'ordinaire n'est pas alimenté les courant qui y circulent sont induits par l'autre armature.
- Les machines à bagues: l'armature tournante est reliée au réseau par un collecteur, ce qui permet d'apporter ou de prélever de la puissance au rotor sans imposer la fréquence des courants dans celui-ci.

Les moteurs d'induction est tellement plus utilisé que les autres que lorsqu'on parle de moteur asynchrone on sous-entend d'induction.les autres sont appelés moteurs à courants alternatifs à collecteur.

Dans les deux cas on parle de moteurs car ces machines sont destinées à fournir de la puissance mécanique à partir du réseau électrique. Elles ne fonctionnent en génératrices que lors du freinage en récupération.

Nous étudierons dans ce chapitre le moteur asynchrones d'induction triphasé et, beaucoup plus rapidement, le moteur asynchrones monophasé. [1]

I.2.1 Historique :

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en Electrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820-1830) par des hommes de science parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LA PLACE, OHM, FARADAY. Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de l'électromagnétisme moderne dans son ouvrage fameux ;"Treatise on Eelectricity and Magnétisme". Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce à la production d'énergie électrique par les génératrices à courant continu (dynamos) de gramme et de siemens. Ensuite, dans les années (1880), furent conçus les alternateurs et les transformateurs polyphasés. Les premiers devaient concurrencer et détrôner les dynamos pour la production de l'électricité, enfin les travaux du yougoslave TESLA et de l'italien FERRARIS complétèrent les systèmes a courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888) [2].

En 1889, Michail Ossipowitsch Doliwo-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 [3].

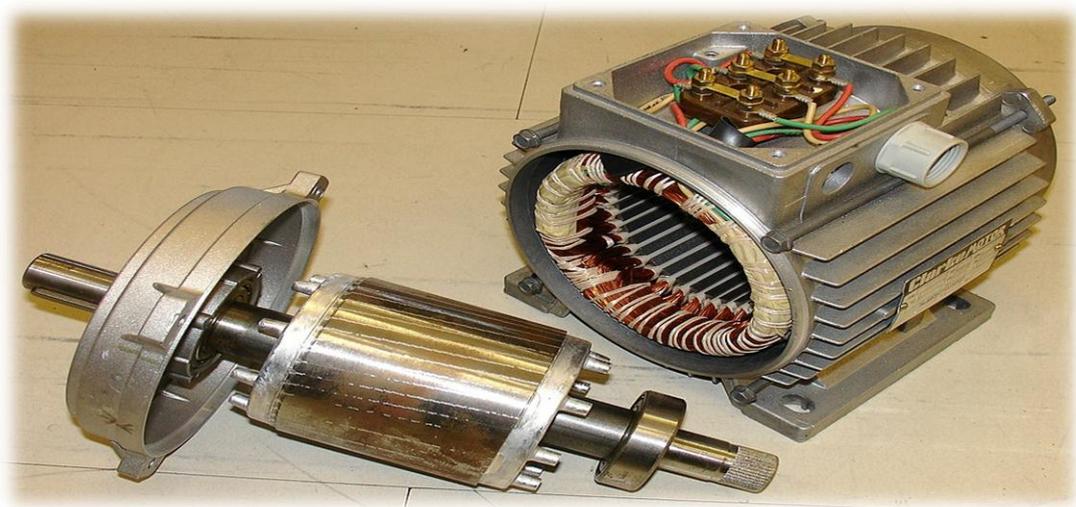


Fig. I.1 Rotor (à gauche) et stator (à droite) d'une machine asynchrone

I.2.2 Symbole:

La machine asynchrone peut être représentée par son symbole normalisé générale qui précise si elle fonctionne en moteur ou en générateur. Le symbole peut être apporté des précisions sur la nature de la machine [6] :

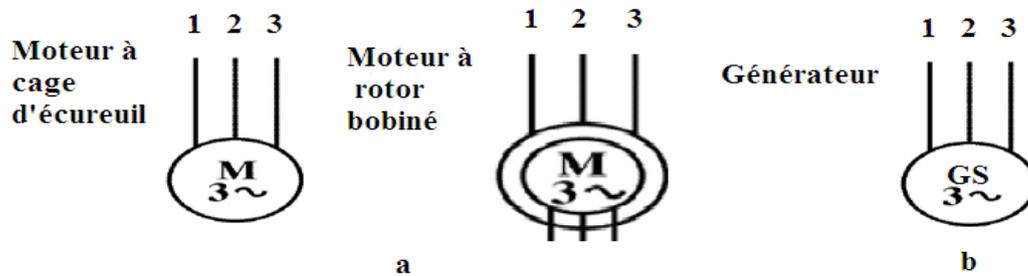


Fig. I.2 Symbole générale d'une machine asynchrone triphasé

a) moteur b) générateur [3].

I.2.3 Constitution de la machine asynchrone :

Constituée d'une partie fixe (stator) et d'une partie tournante (rotor) magnétiquement couplées.

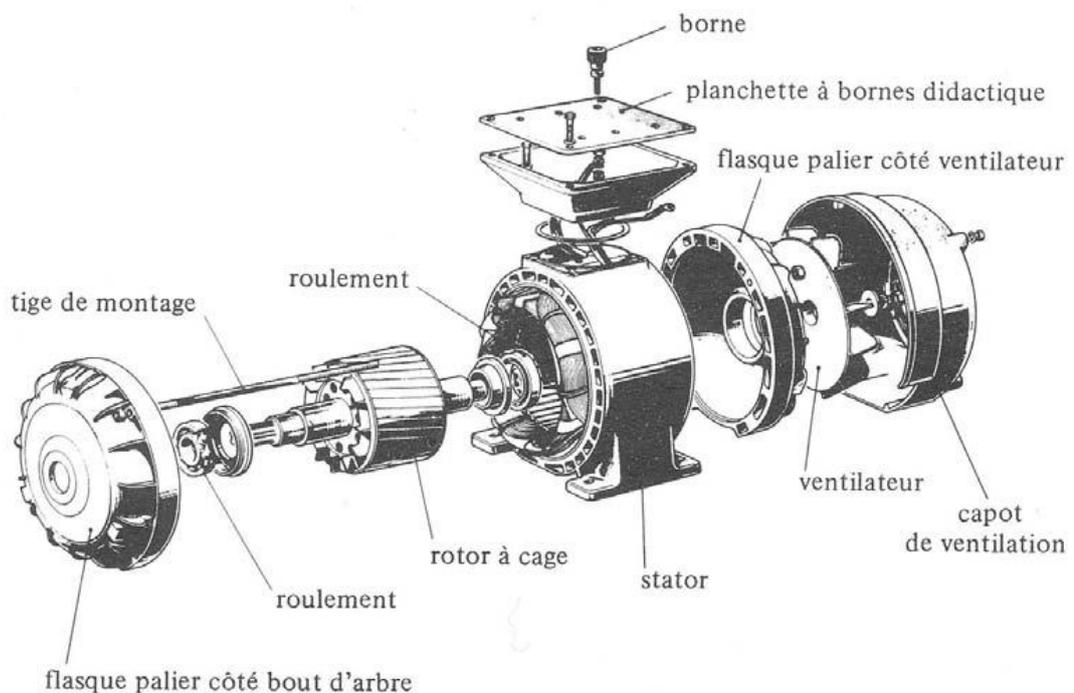


Fig. I.3 Vue éclatée d'une machine asynchrone

Le moteur asynchrone est formé [3] :

I.2.3.1 Le stator :

Il s'agit de la partie du moteur formé par le circuit magnétique et le bobinage qui est alimenté par la source électrique. Le circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches. Elles permettent le passage des conducteurs qui constituent l'enroulement statorique polyphasé à p paires de pôles. Dans la suite du mémoire, le bobinage statorique est triphasé. [7]

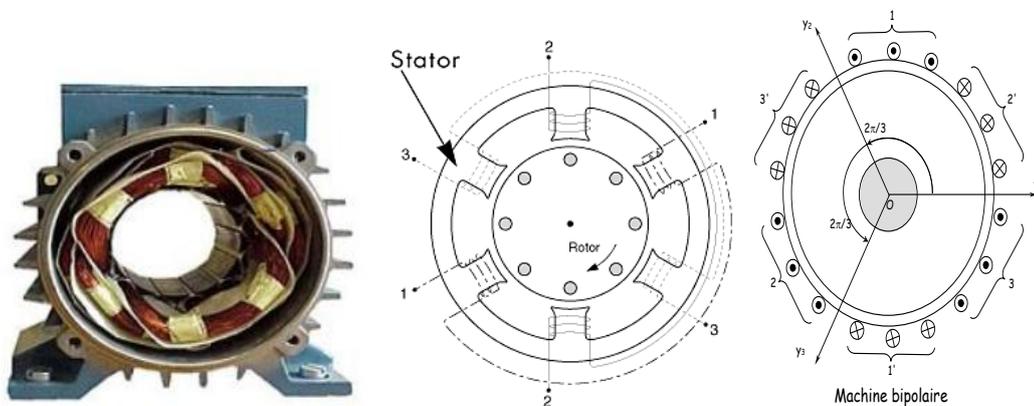


Fig. I.4 Stator d'un moteur asynchrone triphasé

I.2.3.2 Le rotor :

Le rotor est réalisé de deux façons :

a) **Rotor à cage** : il est constitué par un empilement de tôles percées de trous, dans les quelles, on loge des barres conductrices. Ces barres sont court-circuitées à leurs extrémités par des couronnes conductrices, ce qui constitue une véritable cage d'écureuil.

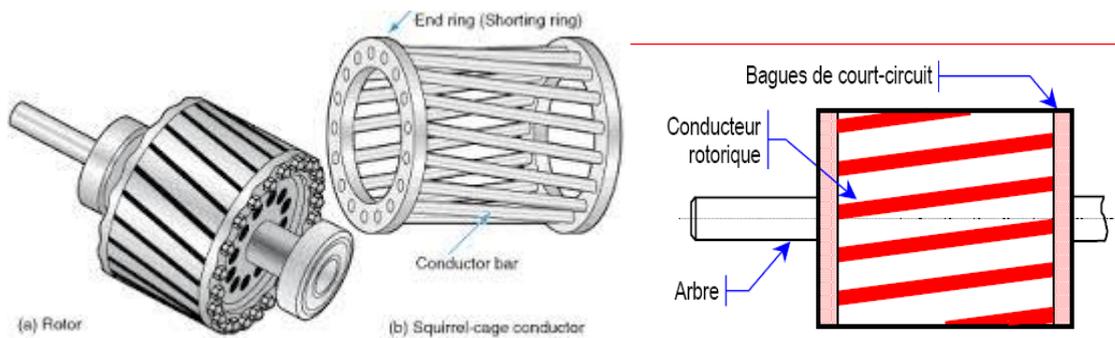


Fig. I.5 Rotor à cage d'écureuil

b) **Rotor bobiné** : au lieu de loger des barres dans le fer du rotor, on peut disposer des conducteurs dans les encoches et réaliser un bobinage polyphasé (généralement triphasé) similaire à celui du stator

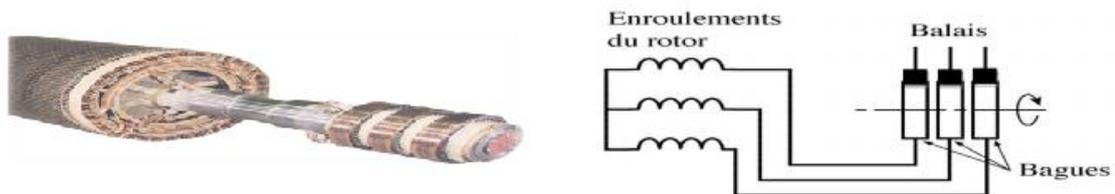


Fig. I.6 Rotor à bagues (bobiné).

I.2.3.3 Entrefer :

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor [2].

I .2.4 Utilisation:**I .2.4.1 Moteur asynchrone:**

Le moteur asynchrone est le moteur industriel par excellence, les moteurs asynchrones ont, pour leur grande majorité, un rotor à cage. Les progrès accomplis ces dernières années dans l'alimentation et la commande des machines n'ont fait que réduire la part des moteurs asynchrone à rotor bobiné par rapport à leurs homologues à cage d'écureuil. [3]

I .2.4.2 Générateur asynchrone:

Le générateur asynchrone est beaucoup plus rare que l'alternateur, mais on le trouve dans quelques applications de puissance limitée comme les microcentrales hydrauliques, il occupe surtout la plus grande part du marché des éoliennes, le plus souvent avec des machines à cage d'écureuil pour les puissances modestes, mais aussi avec des machines à rotor bobiné pour les installations plus importantes. [3]

I .2.5 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur : le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui, dans le cas général, peut tourner à la vitesse de rotation donnée par le rapport suivant:

$$N = f/p \quad (I.1)$$

L'interaction électromagnétique des deux parties d'une machine asynchrone (sans collecteur) n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (n_1) diffère de celle du rotor (n), c'est-à-dire, lorsque $n \neq n_1$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $n = n_1$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique.

Le rapport :

$$g = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (I.2)$$

le moteurs asynchrones est basé sur la production d'un champ tournant qui produit par trois bobinages fixes géométriquement décalés de 120°, et parcourus par des courants statoriques alternatifs présentant le même décalage électrique, les trois champs alternatifs qu'ils produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante comme il est présenté dans (figure I.8)[3] [4].

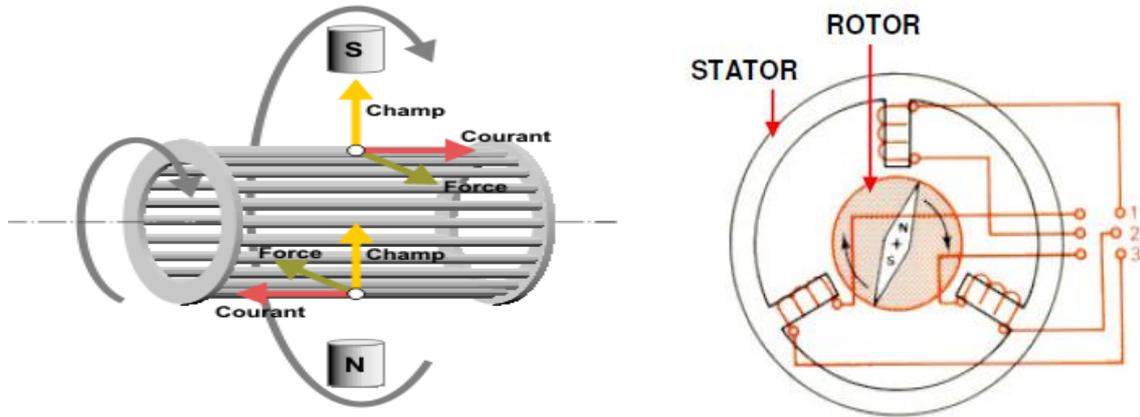


Fig. I.7 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

I.2.5.1 Glissement d'une machine asynchrone :

On appelle *glissement* l'écart des vitesses angulaires synchrone Ω_s et réelle Ω_r rapporté à la vitesse angulaire synchrone .On peut comparer les pulsations correspondant à ces vitesses

$$\omega_s = P\Omega_s \text{ et } \omega_r = P\Omega_r, \text{ ou les vitesses en tours par seconde } N_s = \frac{\Omega_s}{2\pi} \text{ et } N_r = \frac{\Omega_r}{2\pi} . [1]$$

D'où les diverses définitions du glissement g :

$$g = (\Omega_s - \Omega_r) / \Omega_s = (N_s - N_r) / N_s$$

(I.3)

Examinons les différents cas possibles : [18]

- $g = 0$ pour $N_r = N_s$ il n'y a pas de couple.
- $g < 0$ pour $N_r > N_s$ la machine fonctionne en génératrice.
- $g > 0$ pour $N_r < N_s$ la machine fonctionne en moteur.
- $g = 1$ pour $N_r = 0$ la machine est à l'arrêt ou à l'instant du début du démarrage.

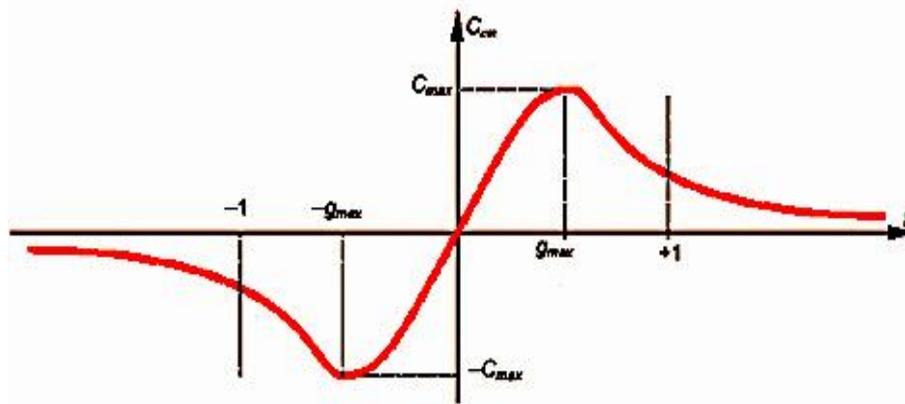


Fig. I.8 Caractéristique couple- glissement du moteur [3].

I.2.6 Démarrage:

Lors d'un démarrage d'une machine asynchrone, le courant peut atteindre de 4 à 8 fois le courant nominal de la machine. Si l'application utilise un variateur ou un démarreur, c'est ce dernier qui se chargera d'adapter les tensions appliquées à la machine afin de limiter ce courant.

En l'absence de variateur de vitesse, il existe plusieurs méthodes permettant de limiter le courant de démarrage. Elles ont été développées avant l'apparition de l'électronique de puissance mais sont encore utilisées de nos jours dans les installations anciennes ou par mesure d'économie pour des applications ne nécessitant pas de variateur en dehors du démarrage. [6]

I.2.6.1 Démarrage sous tension réduite :

Plusieurs dispositifs permettent de réduire la tension aux bornes des enroulements du stator pendant la durée du démarrage du moteur ce qui est un moyen de limiter l'intensité du courant de démarrage. L'inconvénient est que le couple moteur est également diminué et que cela augmente la durée avant laquelle la machine atteint le régime permanent.

I.2.6.1.1 Démarrage étoile-triangle:

Lors d'un démarrage étoile-triangle, la machine est d'abord connectée au réseau avec un couplage étoile, puis une fois démarrée, on passe sur couplage triangle. Le fait de démarrer avec un couplage étoile permet de diviser par la racine carrée de trois la tension appliquée. Ainsi, le courant maximal absorbé est trois fois plus faible que lors d'un démarrage directement avec un couplage triangle. Le couple de démarrage est lui aussi trois fois plus faible que lors d'un démarrage en triangle. La surintensité lors du passage étoile-triangle est inférieure au courant d'appel d'un démarrage effectué directement en triangle.

Réalisée simplement à l'aide de contacteurs, cette méthode de démarrage est très économique.

I .2.6.1.2 Démarrage par autotransformateur :

Dans ce mode de démarrage, le stator de la machine asynchrone est relié à un autotransformateur qui permet d'effectuer un démarrage sous tension variable. La tension est progressivement augmentée, l'intensité du courant ne dépassant pas la valeur maximale désirée.

I .2.6.1.3 Démarrage résistif :

Lors d'un démarrage résistif, on insère des résistances en série avec les enroulements statoriques ce qui a pour effet de limiter la tension à leurs bornes. Une fois le démarrage effectué, on court-circuite ces résistances. Cette opération peut être effectuée progressivement par un opérateur à l'aide de rhéostats de démarrage.

I .2.6.2 Démarrage à tension nominale :

I .2.6.2.1 Démarrage rotorique :

Lors d'un démarrage rotorique, des résistances de puissance sont insérées en série avec les enroulements du rotor.

Ce type de démarrage permet d'obtenir un fort couple de démarrage avec des courants de démarrage réduits mais il ne peut être mis en œuvre qu'avec des machines à rotor bobiné muni de contacts glissants (bagues et balais) permettant les connexions électriques des enroulements rotoriques.

Ces machines sont d'un prix de revient plus important que leurs homologues dits à «cage d'écureuil »

I .2.7 Freinage:

On distingue plusieurs types de freinage :

- Arrêt libre : (mise hors tension du stator)
- Arrêt contrôlé : Tension statorique progressivement passée à tension nulle [6]

I.2.7.1 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 : la courbe du couple en fonction de la vitesse pour différentes valeurs du glissement montre que le couple résistant n'est pas très important pour un glissement compris entre 0 et -1. Cette méthode n'est donc pas très efficace pour freiner rapidement une machine asynchrone.

I.2.7.2 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. Le contrôle de l'intensité du courant continu permet de contrôler le freinage.

I.2.7.3 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, avec cette méthode, le couple décélérateur reste négatif même lorsque la vitesse est égale à 0 tr/min, il faut donc prévoir de couper l'alimentation quand la vitesse est nulle (temporisation, contact centrifuge), sinon la rotation s'inverse.

I.2.7.4 Freinage mécanique par électro-frein :

Ce système est constitué d'un frein à disque solidaire de l'arbre de la machine asynchrone et dont les mâchoires initialement serrées hors tension sont commandées par un électroaimant. Après alimentation de l'électroaimant, les mâchoires se desserrent laissant la rotation libre. La coupure de l'alimentation provoque le freinage. Ce dispositif aussi appelé « frein à manque de courant » est souvent prévu comme dispositif d'arrêt d'urgence.

I.2.8 Schéma électrique équivalent :

On peut considérer la machine asynchrone comme un transformateur à champ tournant. En résumé, les grandeurs électriques relatives au primaire et au secondaire peuvent s'écrire toujours relativement à un enroulement.

Pour tenir compte des défauts, les éléments suivants sont rajoutés :

- la résistance R_1 et l'inductance de fuite L_s du stator.
- la résistance R_m et l'inductance « magnétisante » L_m .
- la résistance R_2 et l'inductance de fuite L_r du rotor.

Ce qui donne le schéma ci-dessous [2].

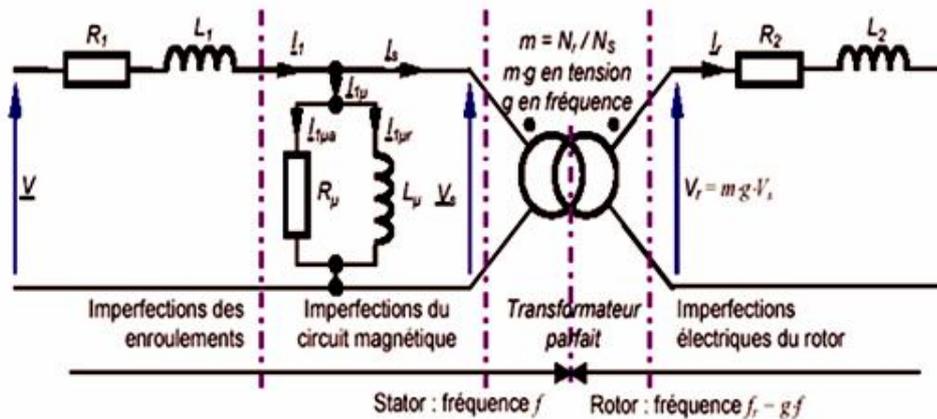


Fig. I.9 Schéma électrique équivalent simplifié de la machine.

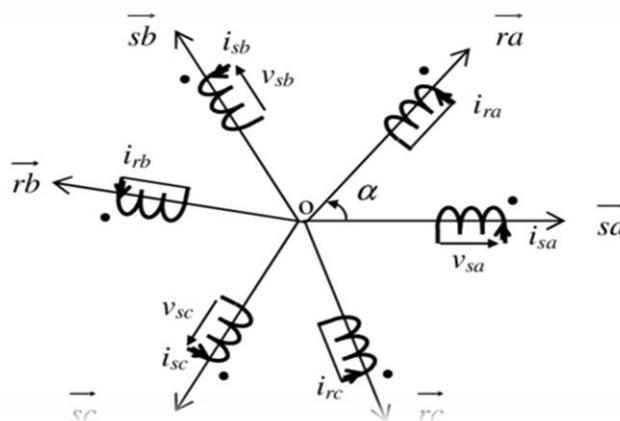


Fig. I.10 Représentation des enroulements de la machine asynchrone dans l'espace électrique

I.2.9 Bilan de puissance :

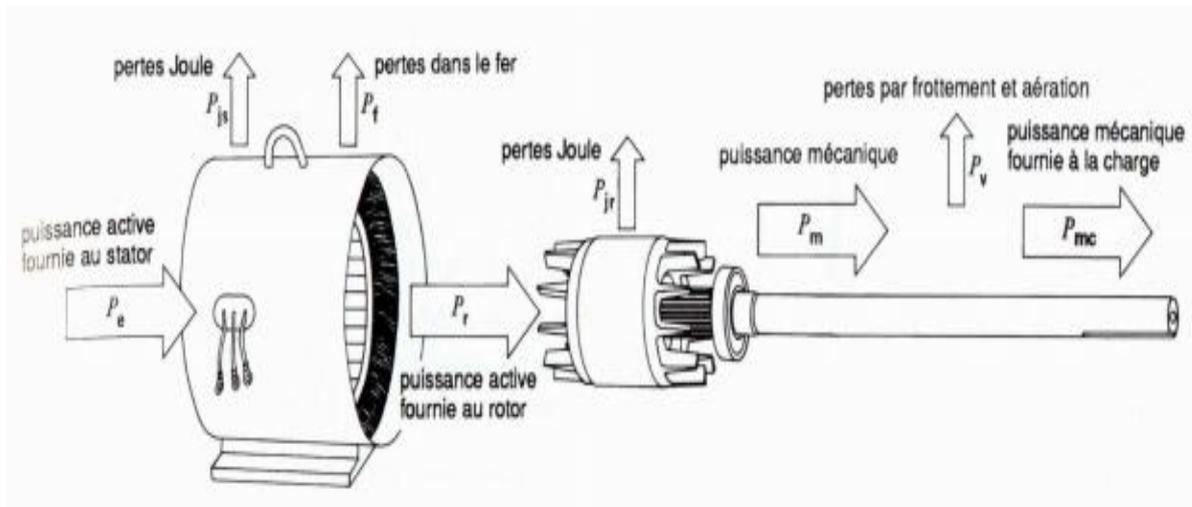


Fig. I.11 Bilan de puissance de la machine asynchrone.

- la puissance absorbée [19]

Le moteur absorbe au réseau la puissance $P_a = 3V_1 I_1 \cos\varphi_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos\varphi_1$ (I.4)

- La puissance électromagnétique [19]

Une partie de la puissance transmise est perdue dans le rotor sous forme de pertes dans le fer P_{fr} (généralement négligeable car la fréquence rotorique est faible en fonctionnement nominale) et des pertes dans le cuivre dues à l'effet joule P_{jr} . [19]

$$P_e = P_{tr} - (P_{fr} + P_{jr}) \quad (I.5)$$

- La puissance transmise au rotor

Une partie de la puissance absorbée **1% à 2%** est perdue dans le stator sous forme de pertes dans le fer P_{fs} et de pertes dans le cuivre dues à l'effet joule P_{js} . [20]

La puissance restante la puissance transmise au rotor $P_{tr} = P_a - (P_{fs} + P_{js})$ (I.6)

- La puissance utile

Une partie de la puissance électromagnétique perdue comme des pertes mécanique. La puissance restante est la puissance utile $P_U = P_e - P_m$ (I.7)

- La relation entre la puissance transmise et les pertes joule rotorique

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr} \quad (I.8)$$

- Le couple électromagnétique

$$C_e = \frac{P_e}{\Omega_r} \quad (I.9)$$

- Le couple utile

$$C_U = C_e - C_P = C_e - \frac{P_m}{\Omega_r} = \frac{P_U}{\Omega_r} \quad (I.10)$$

I.2.10 Le Rendement :

Le rendement d'un moteur asynchrone est la puissance de sortie sur la puissance d'entrée alors est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

$$\eta = \frac{P_U}{P_1} \quad (I.11)$$

I.3 Caractéristique du moteur asynchrone :

I.3.1 Fonctionnement à vide :

Supposons q 'on ouvre les circuits secondaires ; c'est d'ailleurs possible pour certains types d moteurs, ceux à rotor bobiné.

Si le primaire (stator) est relié à la source il y a des courants primaires mais il ne peut y avoir de courant secondaire donc de couple. Le moteur ne tourne pas; il se comporte comme un transformateur à vide.

Remarque :

- le glissement à vide est nul ($g=0$).
- le facteur de puissance à vide est très faible.
- Le courant absorbé est fort (P est petit et Q est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant.

I.3.2 Fonctionnement en charge :

Quand les enroulements secondaires en court-circuit, les **f.e.m** induits un système de courants secondaires.

Au démarrage ($\Omega_r = 0$), les f.e.m et les courants rotoriques ont la même fréquence f que les tensions et les courants primaires. Mais quand le moteur prend de la vitesse, la vitesse relative de f.m.m primaire par rapport au rotor diminue ; il en est de même de la fréquence f_R de grandeurs rotoriques. [1]

Si Ω_s la vitesse synchrone, Ω_r la vitesse du rotor, la vitesse relative est $\Omega_s - \Omega_r$; la pulsation de grandeurs rotorique est $\omega_R = P(\Omega_s - \Omega_r) = \omega_s - \omega_r$ et leur fréquence

$f_R = (\omega_s - \omega_r)/2\pi$ Puisque $g = \omega_s - \omega_r / \omega_s$ donc :

$$\omega_R = g\omega_s \quad f_R = gf \quad (\text{I.12})$$

Les courants rotoriques de pulsation ω_R créent une f.m.m. dont la vitesse par rapport au rotor est $\Omega_s - \Omega_r$. Par rapport au stator, cette f.m.m à une vitesse $\Omega_r + (\Omega_s - \Omega_r) = \Omega_s$. [1]

Les deux f.m.m tournants statorique et rotorique tournent par rapport au stator (Figure I.8) à la vitesse Ω_s .

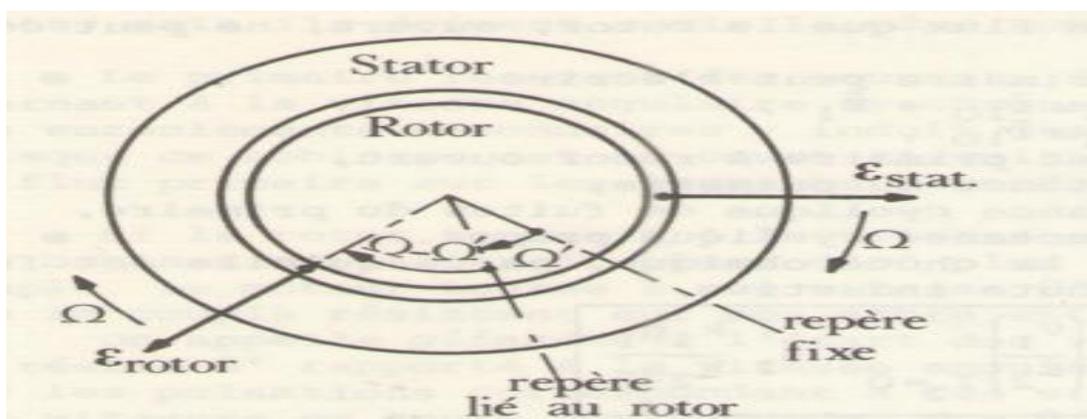


Fig. I.12 La vitesse de différents f.m.m remarque

- Le moteur fournit en charge la puissance active, le stator appelle un courant actif.

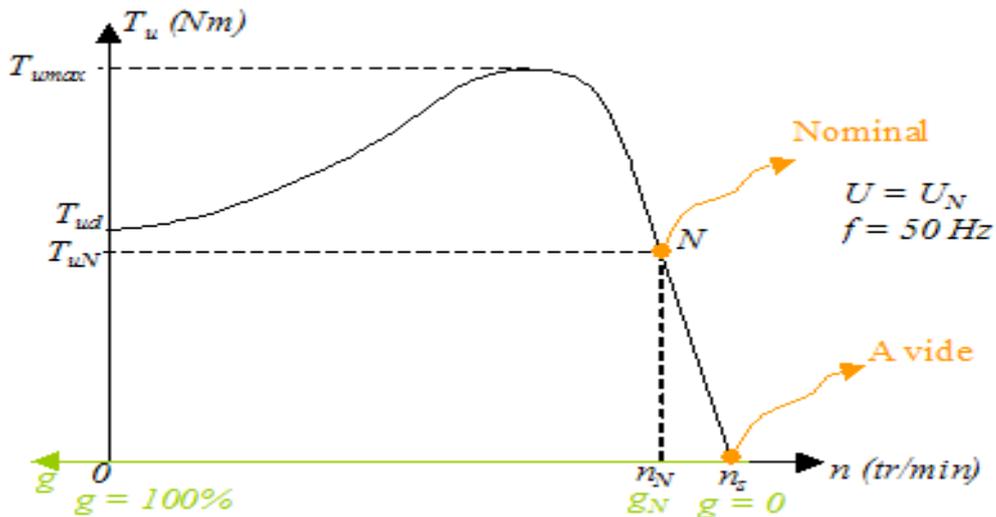
I.3.3 Caractéristique mécanique $C_u = f(n)$:

Fig I.13 Caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone.

Moment du couple utile en fonction de la fréquence de rotation (axe noir) ou moment du couple utile en fonction du glissement (axe vert). Les points de fonctionnement à vide et en charge nominale sont repérés.[8]

La caractéristique montre que le moment du couple utile [9]:

- ✓ est important au démarrage.
- ✓ présente un maximum.
- ✓ varie de façon presque linéaire au voisinage de la fréquence de rotation nominale. Cette zone correspondant au fonctionnement normal du moteur.

I.3.4 Résumé des caractéristiques :

- A vide, le courant est faible, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q).
- le couple et le courant de démarrage sont importants.
- La machine asynchrone peut démarrer en charge.
- La vitesse du champ tournant est : $N_S = f / p$ (f la fréquence du courant et p le nombre de paires de pôles).
- Le glissement est le rapport entre la vitesse du champ et celle du rotor :

$$g = \frac{N_S - N_r}{N_S}$$

- le glissement à vide est nul ($g=0$). [10]

I.4 Les couplages moteur :

Il n'est pas toujours possible de brancher un moteur asynchrone en étoile ou en triangle. Avec le branchement étoile, la tension à la borne de chacune des bobines est 220V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée en tension nominale de réseau (380V).

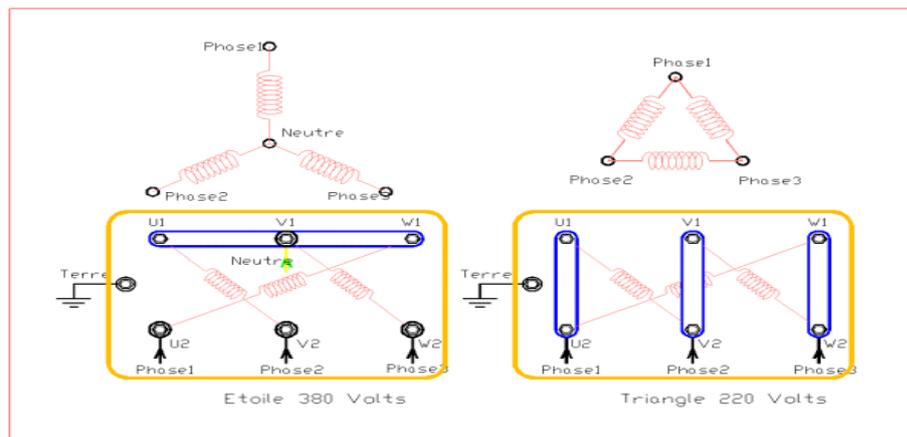


Fig. I.14 les types de couplage

I.5 La plaque signalétique d'un moteur asynchrone :

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone est la carte d'identité du moteur délivrée et certifiée par le constructeur, elle contient donc les caractéristiques nominales électriques du moteur. [18]

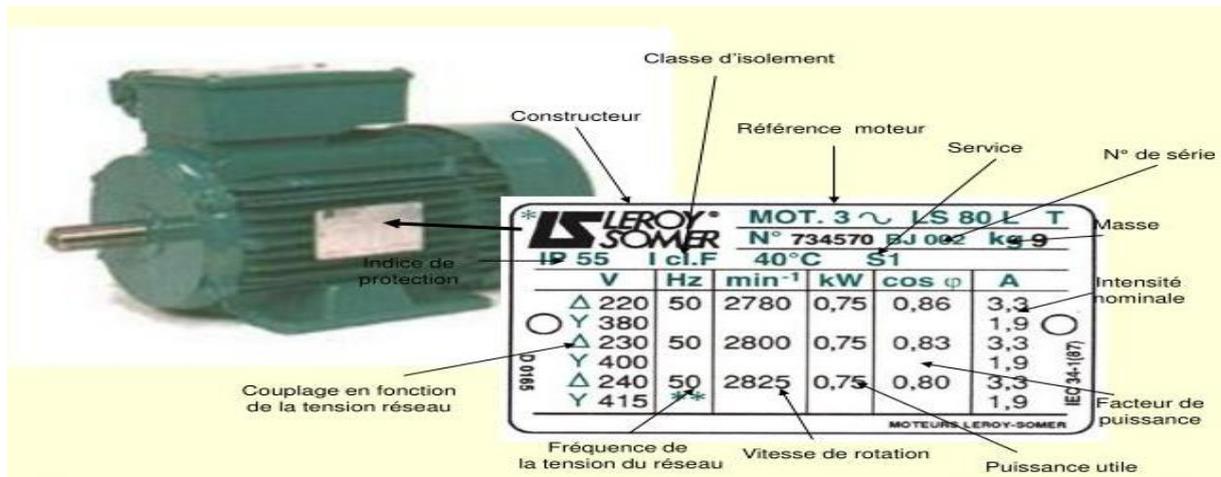


Fig. I.15 la plaque signalétique d'un moteur asynchrone

I.6 Modification et variation de la vitesse du moteur asynchrone triphasé :

Le moteur alimenté par des tensions de fréquence f . Le moteur triphasé ayant $2P$ pôles tourne normalement à une vitesse

$$N_r = \frac{f}{p} (1 - g) \quad (\text{I.13})$$

Peu inférieure à la vitesse synchrone $N_s = \frac{f}{p}$.

Pour changer la vitesse à f donné il faut changer le nombre de pôles.

Pour obtenir une variation continue de N_r il faut faire varier sans discontinuité le glissement ou, ce qui est préférable la fréquence de d'alimentation. [1]

I.6.1 Modification de la vitesse par enroulement de pole :

On peut modifier le nombre de pôles $2P$ d'un enroulement en modifiant les connexions de ses bobines. La multiplication ou la division par deux de $2P$.

On peut construire aussi des moteurs à quatre vitesses grâce à deux enroulements statorique séparé, donnant chacun deux vitesses.

Remarque :

Les moteurs à plusieurs vitesses sont des moteurs à cage. [19]

I .6.2 Variation de la vitesse :

Puisque la vitesse N_r est égale à $\frac{f}{p} (1 - g)$, pour la faire varier de façon continue on peut

- Soit faire varier le glissement g .
- Soit faire varier la fréquence f d'alimentation.

I .6.2 .1 Variation du glissement :

- ❖ Pour le moteur à cage

La seule façon de faire varier le glissement g c'est de varier la tension d'alimentation. [19]

- Les inconvénients de cette méthode [19]

- L'intervalle de variation de la vitesse est limité.
- En augmentant le g on augmente les pertes joule rotorique ($P_{jr} = g \cdot P_{tr}$)
- Instabilité de la machine.

❖ Pour le moteur à rotor bobiné :

La façon la plus simple de faire varier la vitesse en charge du moteur à rotor bobiné est d'utiliser un rhéostat secondaire. [1]

➤ Les inconvénients de cette méthode : [19]

- L'intervalle de variation de la vitesse est limité.
- En augmentant le g on augmente les pertes joule rotorique ($P_{jr} = g \cdot P_{tr}$)

I.6.2.2 Réglage de la vitesse par convertisseur de fréquence :

Généralement dans les systèmes d'entraînement à vitesse variable on utilise des convertisseur de fréquence notamment les onduleurs MLI les cyclconvertisseurs

I.7 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone :

✚ Les avantages :

Comparé au moteur shunt, le moteur asynchrone a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Son prix d'achat est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien.

Ses deux qualités fondamentales (prix et solidité) résulte du fait qu'il n'a pas de collecteur.

En effet, le collecteur est un organe coûteux et fragile qui nécessite un entretien fréquent :

Changement des balais.

✚ Les inconvénients :

A l'exception du démarrage et de l'inversion du sens de marche que l'on peut résoudre de façon satisfaisante, le moteur asynchrone a des performances très médiocres par rapport à celles du moteur shunt. En effet jusqu'à ces dernières années, l'entraînement idéal était réalisé par le léonard formé un moteur shunt alimenté par un convertisseur de tension. [12]

I.7.1 Domaine d'utilisation :

Les machines asynchrones sont les machines alternatives les plus répandues en les utilise dans nombreux dispositifs :

- Les stations de pompage.
- Les appareils de levage.
- Les ascenseurs.
- Les machines outils de base pour le travail des métaux ou du bois.
- Les dispositifs de manutention comme les tapis roulants.
- La ventilation des locaux climatiques.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un historique sur les machines asynchrones et nous avons exposé une étude générale sur les moteurs asynchrones triphasés et monophasés (constitution, principe de fonctionnement, caractéristique, méthodes de variation et modification de la vitesse..), en plus nous avons parlé sur le domaine d'utilisation de ce type du moteur.

Chapitre II :

**Les différents types d'enroulement d'un
moteur asynchrone**

II.1 Introduction :

Les différents type de moteur asynchrone ne se distinguent que par le rotor dans tous les cas le stator est resté identique, au moins dans son principe. Il est constitué d'un enroulement réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique dont l'objectif de créer un champ tournant. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans les quelles sont découpées des encoches parallèle à l'axe de la machine afin de canaliser le flux magnétique.

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types d'enroulement d'un moteur asynchrone (une et deux couches) surtout ce qui concerne son élaboration et son placement dans les encoches.

II.2 Bobinage des machines tournantes à courant alternatif triphasés :

Les bobinages décrits ici sont ceux que l'on rencontre au stator des machines synchrones et asynchrones, ainsi qu'au rotor des machines asynchrones à bagues. Ils sont destinés à créer, lorsqu'on les alimente par un système de tensions ou de courants triphasés, un champ magnétique tournant. On pourrait naturellement transposer les mêmes principes à des schémas développés à plat, pour créer un champ magnétique glissant, utilisable dans des moteurs linéaires par exemple. Les aspects qualitatifs, puis quantitatifs, et enfin pratiques sont successivement abordés. Pour une meilleure compréhension, la plupart des schémas sont représentés développés, de manière à simplifier la représentation des connexions frontales. Quant au schéma en coupe, il se présente de manière générale comme sur la figure II.1. [5]

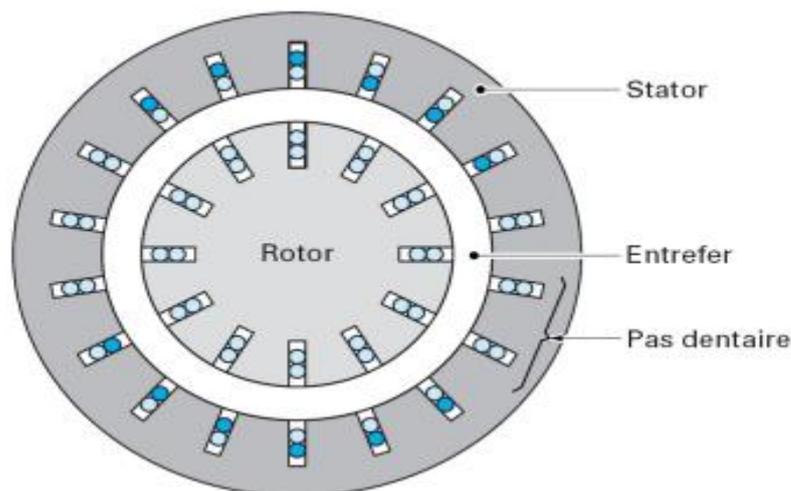


Fig. II.1 Machine tournante à courant alternatif : coupe

II.3 Rappel sur les paramètres des enroulements :

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

Tout l'enroulement électrique est défini par les paramètres suivants :

Z : nombre d'encoche

2P : nombre de pôles

P : nombre de paires de Pôles

m : nombre de phases

q : nombre d'encoche par pôle et par phase défini par la formule suivante : $q = \frac{Z}{2p \cdot m}$ (II.1)

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

Le pas de l'enroulement y ; c'est le nombre d'encoche par section. Il peut être ;

$$y = q \cdot m = \frac{Z}{2p} : \text{Appelé pas diamétrale}$$

On appelle « pas diamétral » un pas d'enroulement égal à la longueur du pas polaire nombre d'encoche logée sous l'influence d'un pôle. Il équivaut à la distance périphérique comprise entre deux lignes neutres consécutives

$$y < q \cdot m = \frac{Z}{2p} : \text{appeler par raccourci}$$

$$y > q \cdot m = \frac{Z}{2p} : \text{Appeler par allonge}$$

Pour concevoir l'enroulement il faut obligatoirement se référer à l'étoile de phase.

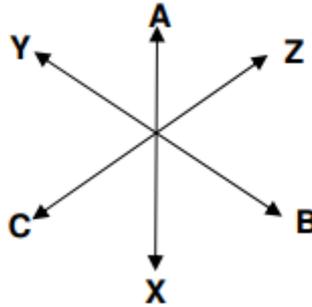


Fig. II.2 Etoile de phase

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

$$N = \frac{60f}{p} \quad (\text{II.2})$$

II.4 Représentation des enroulements à courant alternatif :

Un enroulement est exécuté dans de encoche présenté sue la surface intérieur du stator.

Tous les enroulements électriques sont constitués de groupe de bobine. [18]

Le groupe de bobine peut être composé de

a)- Bobine concentrique reliées en séries :

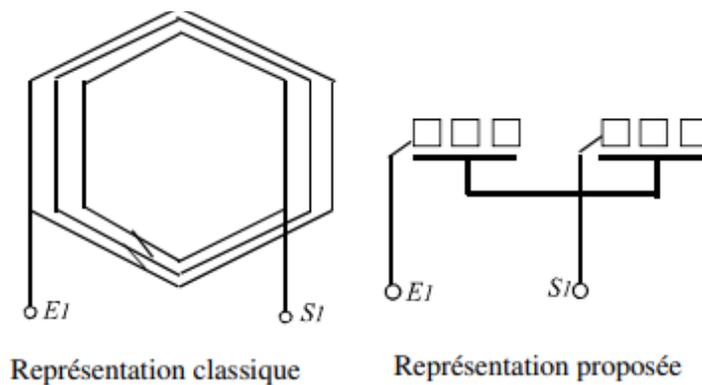


Fig. II.3 bobine concentriques reliées en série

b)- Bobines identiques reliées en série :

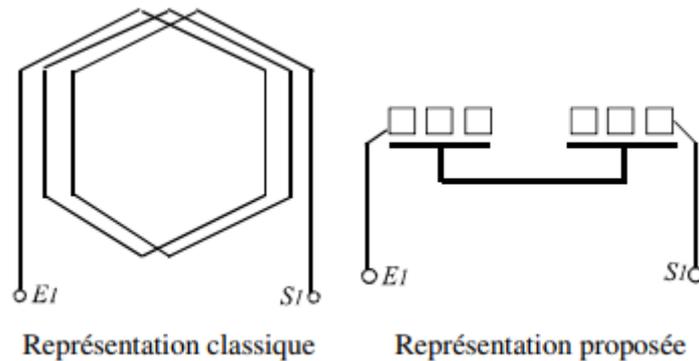


Fig. II.4 bobines identiques ou "section" reliées en série

II.5 Schémas de bobinage :

Revenons à la répartition en escalier de l'induction dans l'entrefer. Il est évident qu'elle ne dépend que de la répartition des conducteurs dans les encoches et du nombre d'encoches. En particulier, elle n'est en rien influencée par la manière dont sont réalisées les connexions frontales.

Ainsi, les cinq schémas de bobinage illustres dans la (Fig.II.5) :

- Bobinage imbriqué diamétrale à pôle conséquents (Figure .a).
- Bobinage concentrique à pôle conséquents (Figure.b).
- Bobinage concentrique à pôle non conséquents (Figure.II.c).
- Bobinage imbriqué diamétrale à pôle non conséquents (Figureer.II.d).
- Bobinage imbriqué raccourci à pôle non conséquents (Figure.II.e).

Comme on peut le voir, ces schémas ne diffèrent que par la répartition et la longueur des têtes de bobines. Ces dernières n'affectent que :

- La masse du cuivre utilisé, et donc directement le coût.
- Les chutes ohmiques et le flux de fuite des connexions frontales, donc le rendement.
- Le refroidissement de ces connexions, qui est souvent un critère important. Enfin, La facilité de mise en œuvre de manière industrielle ainsi que la facilité d'isolation.

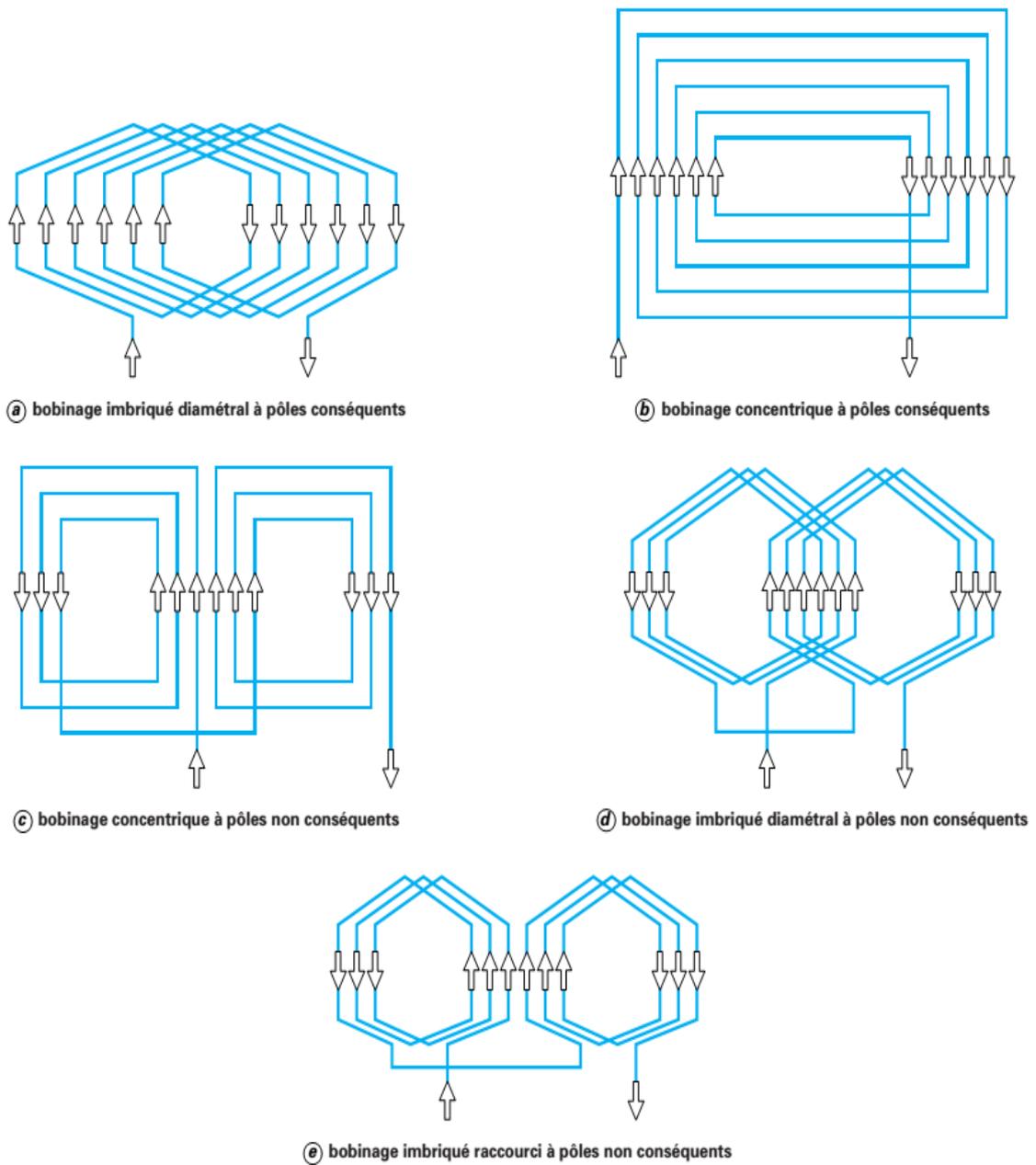


Fig. II.5 Schémas de bobinages [5].

II.6 Aperçu sur les enroulements des machines électriques :

Les enroulements de machines électriques diffèrent par leurs sources d'alimentation à courant alternatif ou à courant continu. De même qu'ils diffèrent par les modes de conversion en machines tournantes ou statiques (transformateurs). Les enroulements à une couche constituent le premier type d'enroulements triphasés. Ils peuvent être subdivisés en enroulements par pôle conséquent et par pôle comme le montre le schéma ci-dessous. [13] [14]

L'utilisation de ces enroulements est destinée particulièrement aux machines de faibles puissances (à petits diamètres intérieurs statoriques), et aux machines de grandes puissances quand le nombre de pôles est élevé.

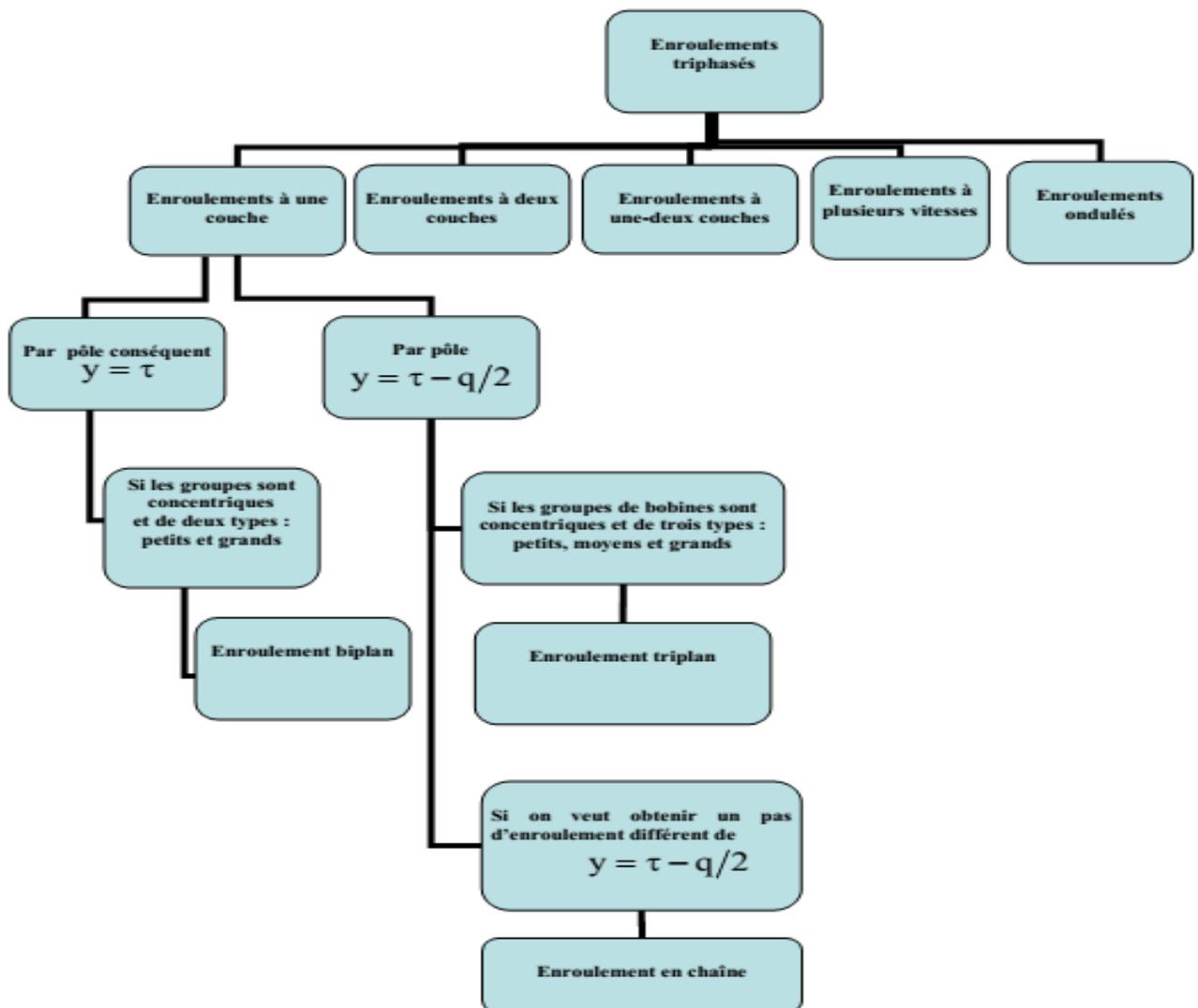


Fig. II.6 Les types d'enroulements à une couche.

Le second type est représenté par les enroulements à deux couches destinées aux machines électriques de moyennes et grandes puissances, (Fig. II.7). Ce type d'enroulement est réalisé à pas raccourci en section par pôle.

Le nombre de possibilités de raccourcissement est égal à q .

Il possède plusieurs avantages dont principalement :

- la possibilité d'éliminer les harmoniques supérieures ;
- une économie en cuivre (diminution de la longueur moyenne de la bobine).

L'inconvénient principal de ce type d'enroulement est la présence de faisceaux appartenant à différentes phases dans la même encoche, ce qui nécessite le renforcement de l'isolation entre eux.

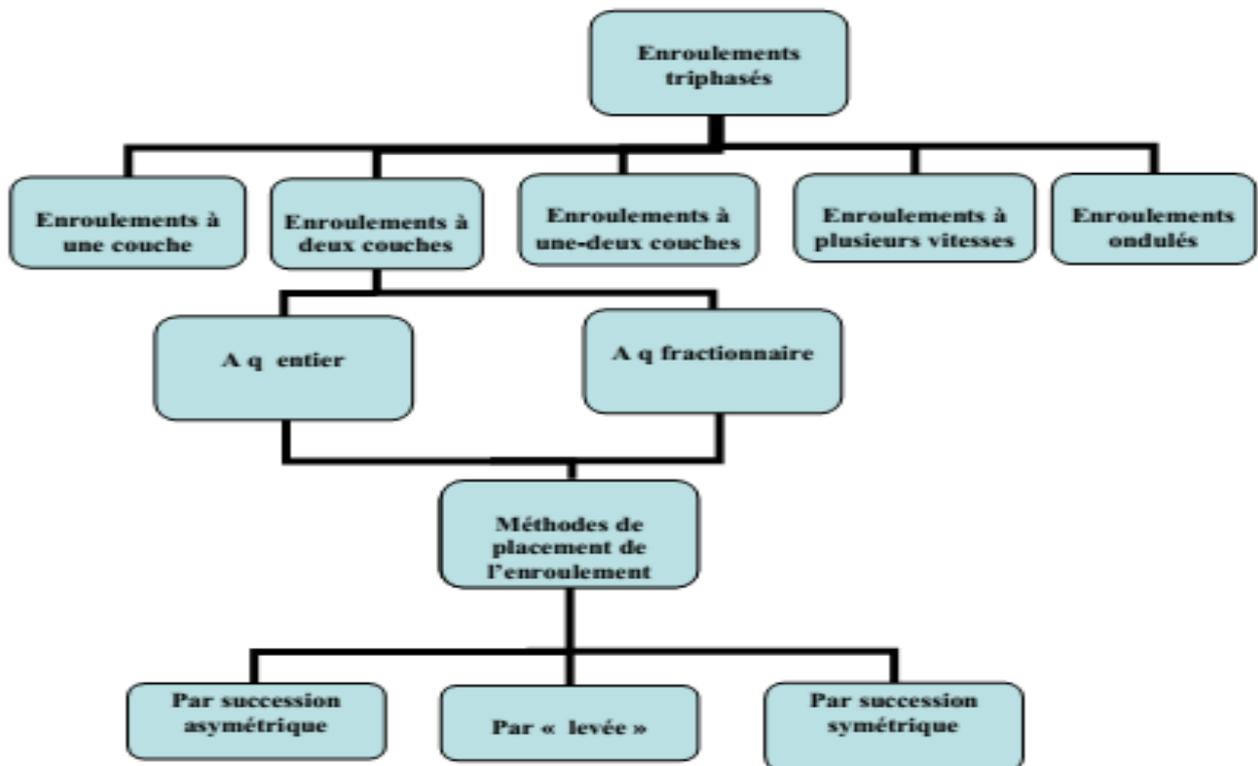


Fig. II.7 Enroulements triphasés à deux couches

Les enroulements à une-deux couches constituent le troisième type d'enroulement. Par leurs propriétés électromagnétiques, ils ne diffèrent pas des enroulements à deux couches. Cependant, ils s'adaptent mieux au processus automatique de mise en encoche, (Fig. II.8). Ils ne doivent être utilisés que si une mise en encoche automatique est possible. Dans le cas d'un placement manuel, une presse centrifuge est nécessaire pour le traitement des parties frontales. En effet, ce type d'enroulement donne naissance à des " gonflements " (épaississements) au

niveau des parties frontales et ces dernières ne sont pas uniformes par rapport à la circonférence du stator. En outre la présence des grandes bobines rend la manipulation des têtes de bobines très délicate et peut même affecter l'état de l'isolant.

Un enroulement à une-deux couches est un enroulement constitué de groupes concentriques constitués de petites bobines dont les faisceaux n'occupent que la moitié de l'encoche et des grandes bobines dont les faisceaux occupent toute l'encoche. La réalisation d'un tel enroulement n'est possible que si $q > 2$.

Le nombre de possibilités de réalisation d'un enroulement à une deux – couches pour de mêmes paramètres est de $N = q - 2$.

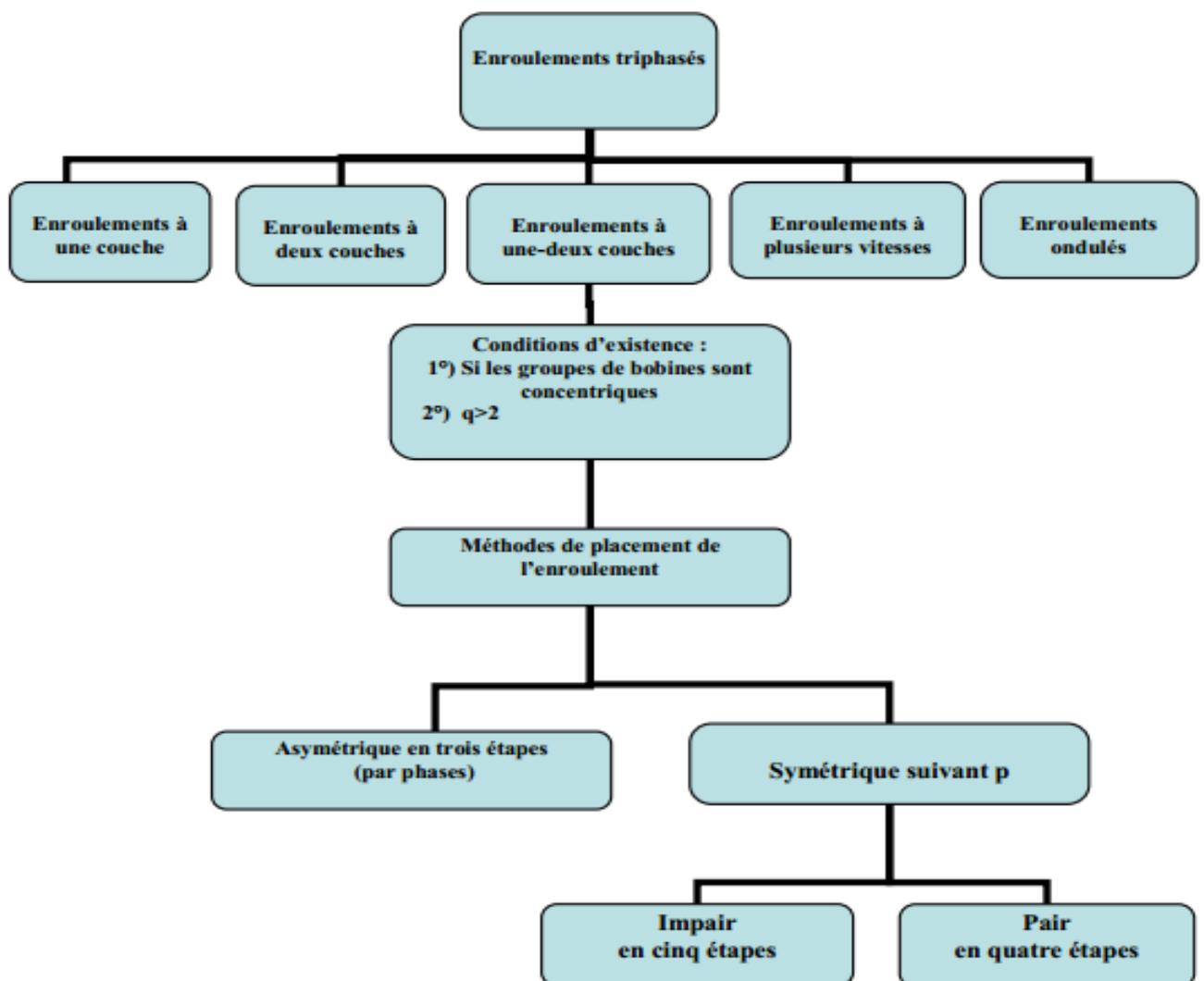


Fig. II.8 Enroulements triphasés à une-deux couches

L'utilisation de ces enroulements est destinée particulièrement aux machines de faibles puissances (à petits diamètres intérieurs statoriques), et aux machines de grandes puissances quand le nombre de pôles est élevé.

II.7 Enroulement à une couche :

Dans les systèmes triphasés, On distingue six types d'enroulements à une couche :

- Enroulement à une couche par pôle conséquent.
- Enroulement à une couche par pole.
- Enroulement à une couche biplan.
- Enroulement à une couche triplan.
- Enroulement à une couche à q fractionnaire.
- Enroulement à une couche en chaine.

Pour concevoir tout enroulement, il faut tout simplement faire appel au nombre d'encoches par pôle et par phase q et à l'étoile des phases.

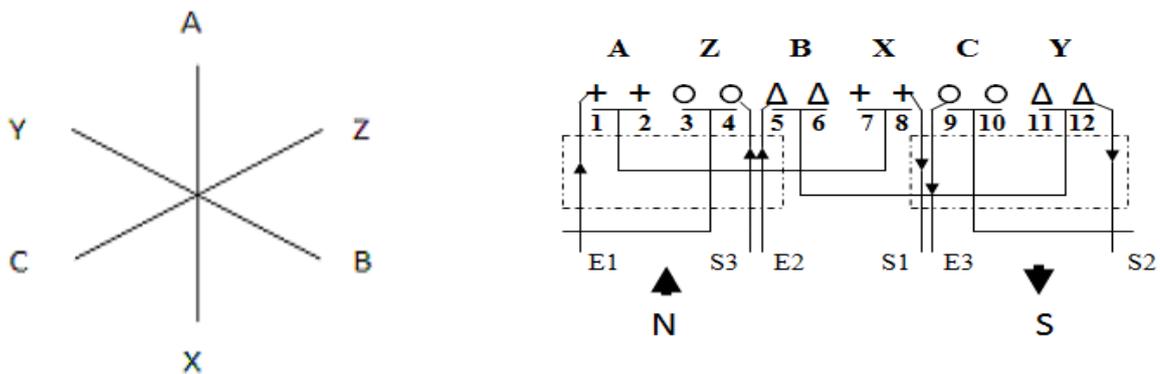


Fig. II.9 Enroulements triphasés à une couche par pôle conséquent.

$$Z=12 ; 2p=2 ; q=2 ; \tau p=6.$$

II.8 Enroulements triphasé :

II.8.1 Enroulement triphasé à une couche :

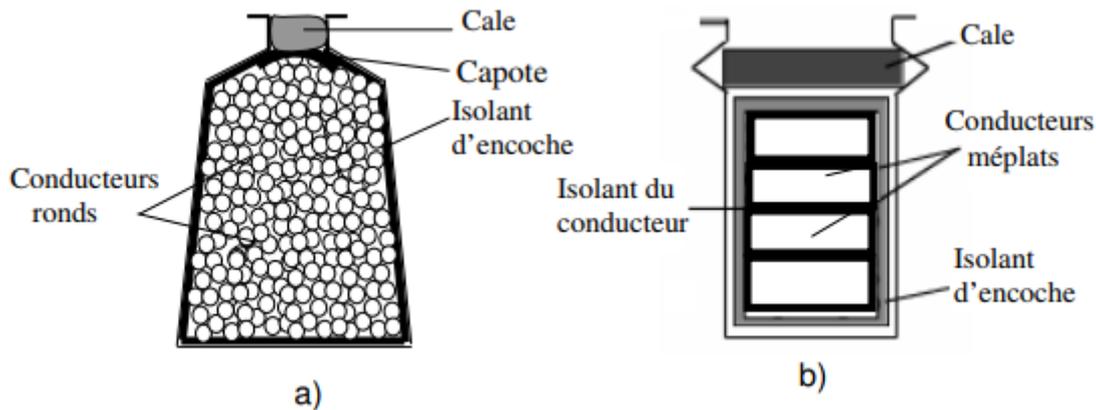


Fig. II.10 Encoche à un faisceau

a) encoche trapézoïdale à un faisceau à conducteurs ronds.

b) encoche rectangulaire à un faisceau en méplat.

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

$3 \cdot 2q = 6q$ pas dentaires correspondent à une double distance polaire ou 360° électrique. Les phase 2 et 3 sont identique à la phase 1 à 120° et 240° prés donc à $2q$ et $4q$ pas dentaire prés l'ouverture moyenne d'une bobine est de 180° donc de $3m$ pas dentaire on trouve donc successivement.

q encoche pour l'aller de la phase 1 : 0°

q encoche pour le rotor de la phase 3 : $(240^\circ + 180^\circ = 360^\circ + 60^\circ)$

q encoche pour l'aller de la phase 2 : 120°

q encoche pour l'aller de la phase 1 : 180°

q encoche pour l'aller de la phase 3 : 240°

q encoche pour l'aller de la phase 2 : 120°

On précise comment sont connectés les faisceaux allé et les faisceaux retour d'une phase en indiquant si le bobinage est en bobines ou en sections et par pole ou par pôles conséquent.

L'enroulement est en bobines si on utilise plusieurs bobines concentrique pour réaliser le bobinage d'une phase correspondent à une distance polaire simple et double, les bobines

élémentaires sont réalisées sur de gabarits différents.

L'enroulement en section utilise des éléments identiques, le bobinage d'une phase est formé de section décalée.

L'enroulement est par pôles si chaque phase compte une bobine ou un groupe de section et par pôles consécutif, si chaque phase compte une bobine ou un groupe de sections par paire de pôles. [20]

II.8.1.1 Enroulement par pôles consécutif :

Dans un enroulement par pôle consécutif, le nombre de groupes de bobines dans une phase est égal à p . Chaque groupe de bobines crée une paire de pôles pour former des branches parallèles. Il faut s'assurer de l'égalité des résistances dans toutes les branches parallèles des trois phases, dans le cas contraire, tous les groupes de bobines de chaque phase sont reliés en série ($a=1$).

Dans le but de s'accommoder avec la méthode de représentation de l'enroulement ; et pour une première fois, on représente les encoches. Considérons un exemple très simple d'enroulement ayant comme paramètres : $Z=24$; $2P=4$; $m=3$; $q=2$

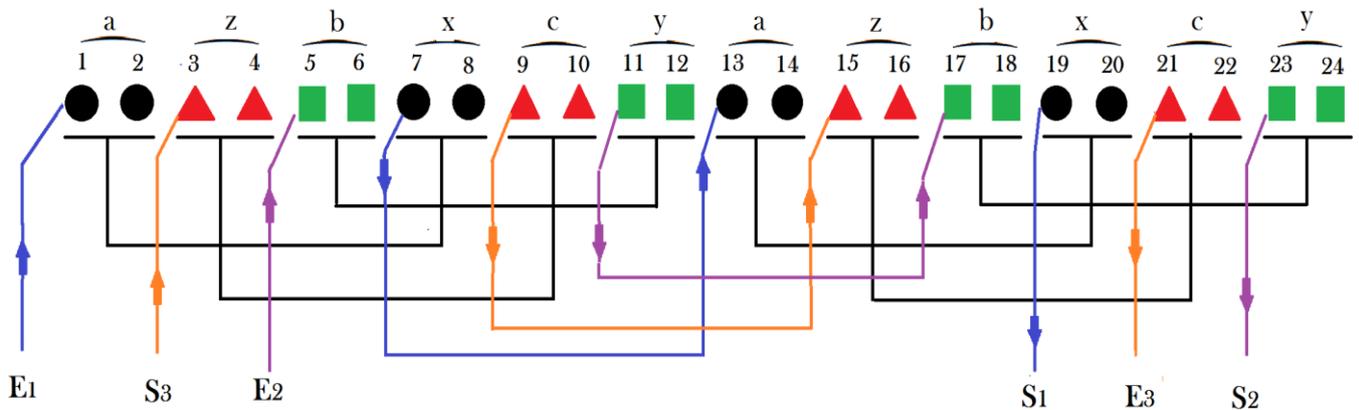


Fig. II.11 enroulement par pôle consécutif

II.8.1.2 Enroulement par pôles :

Pour concevoir un enroulement par pôle il faut obligatoirement que le nombre d'encoches par pôle et par phase soit supérieur à l'unité ($q > 1$), si cette condition est vérifiée, on divise les groupes de bobines en demi-groupes ; c'est-à-dire qu'on doit concevoir l'enroulement avec $q' = \frac{q}{2}$ (II.3)

Un tel enroulement a toujours un pas raccourci $y = \tau - q/2$, ce qui permet de diminuer les dimensions des groupes de bobines et par conséquent de réduire le poids du cuivre utilisé il est utilisé dans les machines électrique de faibles puissance de le nombre de groupes de bobines dans une phase pour ce type d'enroulement est égal a $2P$ Considérons un exemple très simple d'enroulement ayant comme paramètres : $Z=24$; $2P=4$; $m=3$; $q=2$

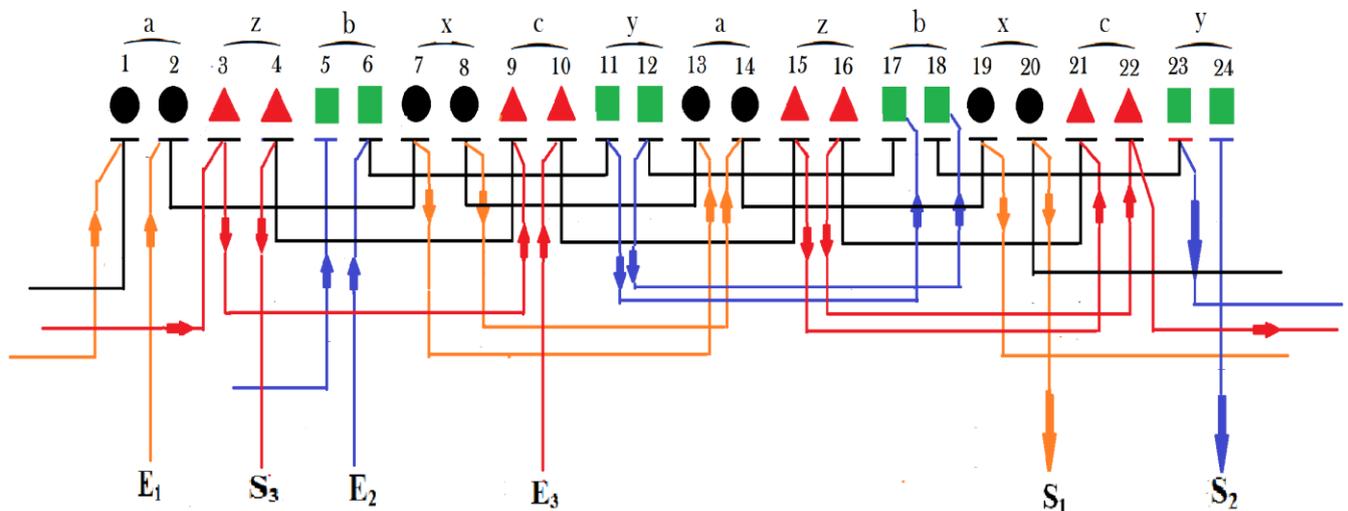


Fig. II.12 enroulement par pôle

II.8.2 Enroulement triphasé à deux couche :

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

Le premier avantage est que les têtes des sections forment un ensemble très régulier, il est plus facile à frotter s'il s'agit d'un armateur tournant (cas des moteur asynchrone à rotor bobiné) ; plus facile à brider (cas du stator de toute les machines de forte ou très forte puissance ou des efforts considérables peuvent s'exercer sur les développantes, en cas de court-circuit notamment.

Le second avantage est la possibilité de former des sections à pas raccourci et de réduire ainsi certaine harmonique. [20]

II .8.2.1 Placement par succession asymétrique :

Ce procédé est très utilisé dans les ateliers de réparation. La méthode de placement est développée.

Elle consiste à placer automatiquement, systématiquement et dans un même sens les groupes de bobinage jusqu'au remplissage de toutes les encoches.

Les premières bobines dont le nombre est égal au pas d'enroulement « y » sont placées des deux côtés dans le bas des encoches ; les bobines suivantes sont placées, d'un côté en haut des encoches ; les dernières bobines dont le nombre est égal au pas de l'enroulement sont placées des deux côtés en haut des encoches.

L'un des inconvénients majeurs de cette méthode reste la difficulté de réaliser des branches parallèles ; « a » doit être égal à l'unité (a=1).

Cela est dû au fait que le nombre de faisceaux en bas et en haut des encoches dans une même phase en comparaison avec les autres phases n'est pas le même ; ce qui va entraîner une différence de courants à cause, principalement, des perméances d'encoches.

Il est à signaler que le courant de la phase B a toujours une valeur supérieure à la valeur nominale à cause du nombre de faisceaux placés en haut des encoches qui est supérieur à la valeur moyenne. Cela est une conséquence de l'effet de peau.

un exemple d'enroulement ayant comme paramètres : $Z=24; 2p=4; q=2; m=3; y=5$

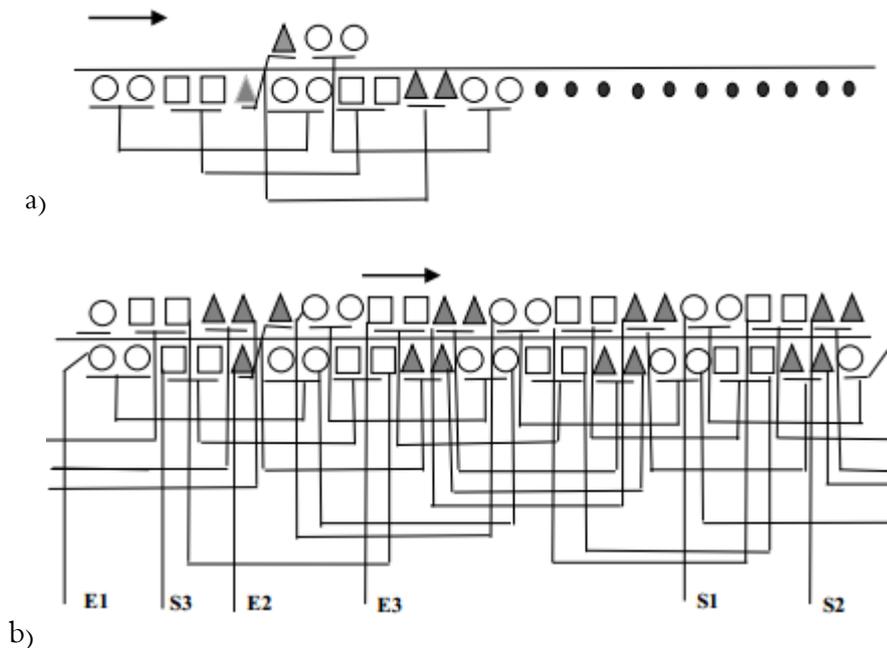


Fig. II.13 Enroulement à deux couches par succession asymétrique

II .8.2.2 Placement par ((levée)) :

L'enroulement par « levée » désigné utilisant le conducteur rond émaillé est décrit par la figure (II.15). Le principal avantage d'un tel enroulement est contenu dans la possibilité de pouvoir obtenir un enroulement parfaitement symétrique où chaque bobine est placée d'un côté en haut de l'autre en bas des encoches. Quand le nombre d'encoches par pôle et par phase est entier, cela permet de réaliser un nombre de branches parallèles égal à $2p$.

Cependant, en plus des difficultés du processus et le temps nécessaire à son exécution, cette méthode ne peut être utilisée dans les machines de faibles diamètres.

On demande de concevoir un enroulement à deux couche par par levée ayant les paramètres suivants : $Z=24$; $2p=4$; $q=2$; $m=3$; $y=4$; $a=1$

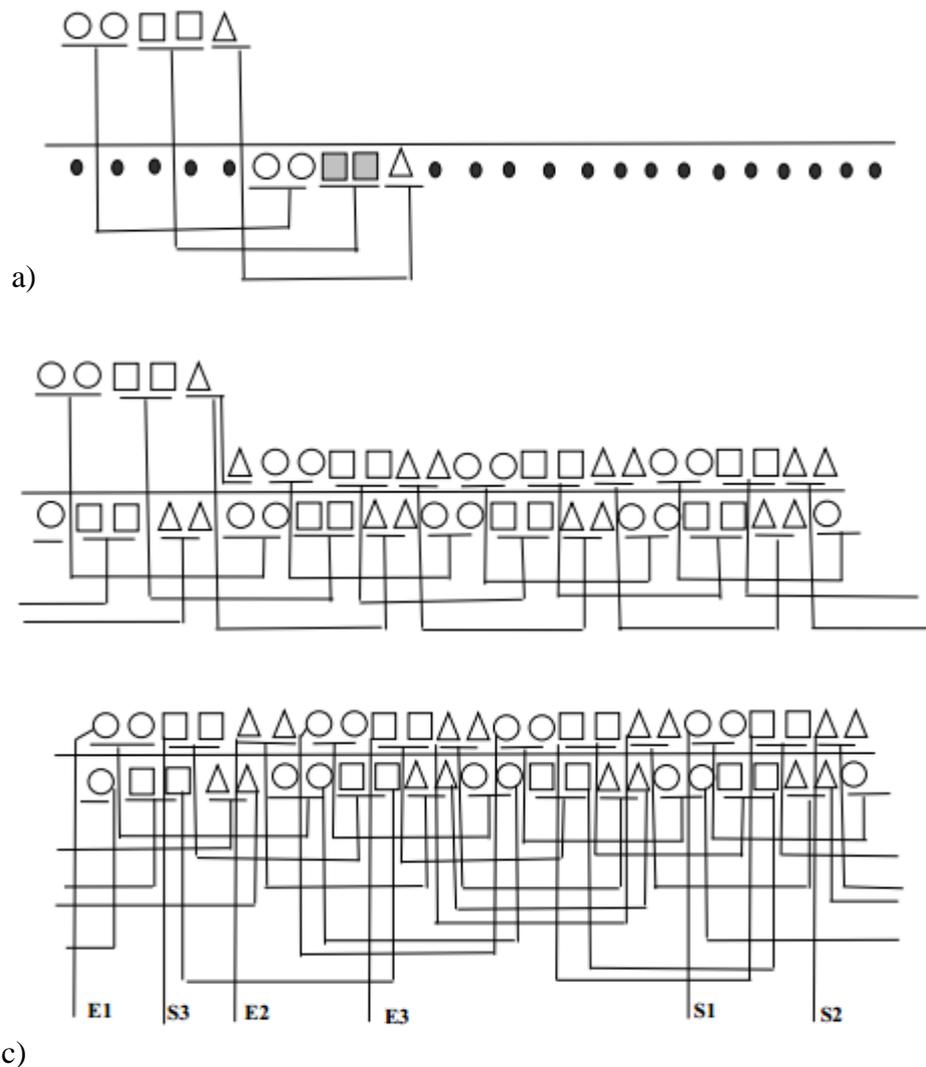


Fig. II.14 Enroulement à deux couches par levée

II .8.2.3 Placement par succession symétrique :

Le placement symétrique par succession et une méthode intermédiaire. Elle est moins performante que la méthode par ((levée)), mais meilleure que la méthode par succession asymétrique. Elle possède les avantages des deux premières méthodes.

C'est-à-dire qu'elle permet :

- d'obtenir une égalité de résistances entre les phases ;
- la création des branches parallèles de $a=1$ jusqu'à $a=p$.

On demande de concevoir un enroulement à deux couche par succession symétrique ayant les paramètres suivants : $z=18$ $2p=2$ $q=3$; $m=3$ $y=7$

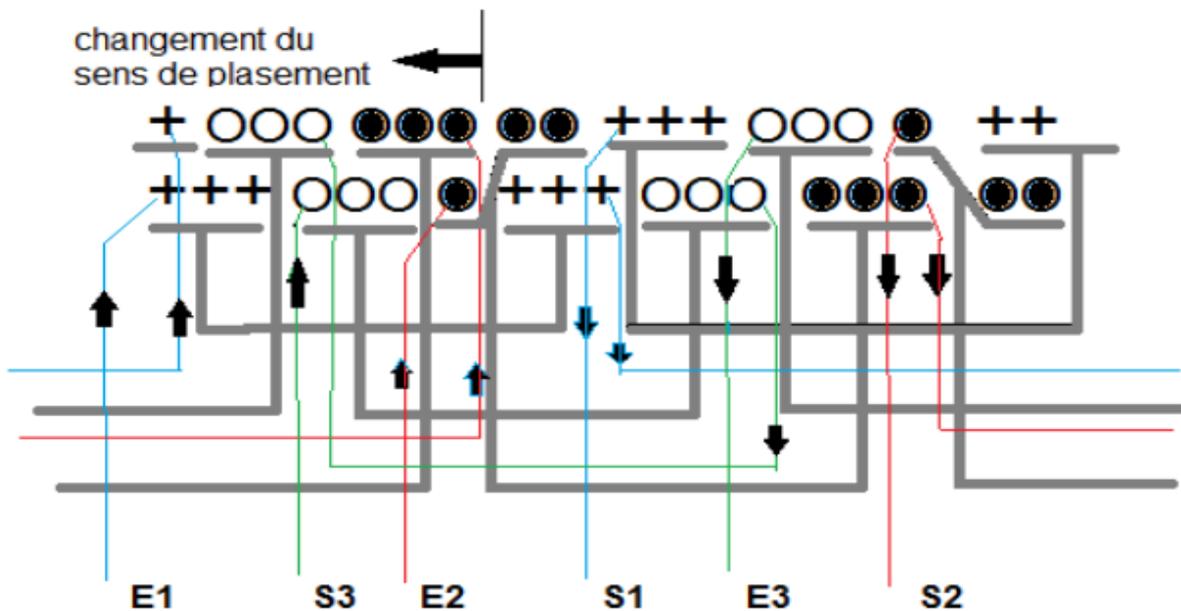


Fig. II.15 Enroulement à deux couches par succession symétrique

II.9 Schéma de bobinage linéaire :

La (Fig. II.16) illustre ceci pour un stator quadripolaire à deux encoches par pôle et par phase ($p=2$ et $q=2$). Ce schéma est très visuel et est essentiellement utilisé pour les calculs sur le bobinage des machines. Il ne prend pas en compte les têtes de bobines. [15]

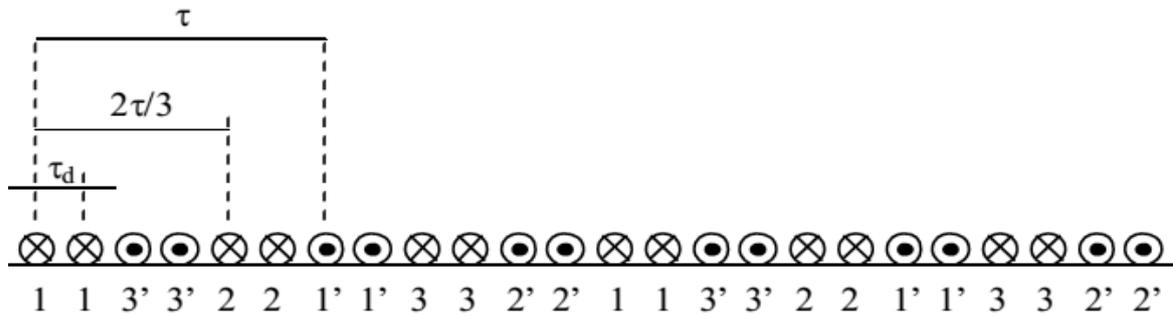


Fig. II.16 Enroulement à $q=2, \tau_p = 6, p=2$ [14].

II.10 Paramètres des enroulements statorique :

Pour déterminer les paramètres de l'enroulement statorique, il est nécessaire de connaître les données suivantes :

U : tension nominale phase (v)

P : nombre de pair de pôles

Z: nombre d'encoches statorique

D : diamètre intérieure statorique (mm)

D_{ex} : diamètre extérieur statorique (mm)

$L\delta$: longueur du paquet statorique (mm)

b_z : épaisseur minimale de la dent (mm)

h_1 : hauteur de la culasse (le dos statorique) (mm)

h_2 : hauteur de l'encoche statorique (mm)

F_C : surface de l'encoche (mm^2)

bent : largeur de l'entrée de l'encoche (mm)

Les paramètres géométriques sont déterminés par les mesures directes sur le stator. Ainsi que la surface de l'encoche peut être déterminée en prenant l'empreinte de l'encoche sur un papier millimétré tout en la décomposant, en triangle identique.

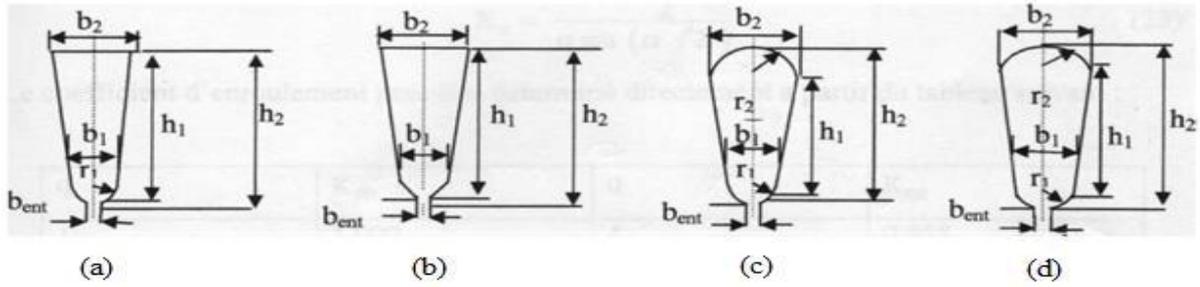


Figure II.17 différentes configuration des encoches

II.10.1 Exemple de calcul des paramètres d'enroulement triphasé :

Un moteur est à induction à quatre pôles couplé au triangle avec 36 encoches statorique et 28 bars dans le rotor [17]. Sur la (Fig. II.19). Détails du stator et la géométrie des bars du rotor sont. Les données nominales dans la plaque signalétique sont :

U (V)	I (A)	P (W)	n (tr/min)	cos ρ	η	f (Hz)
400	8	4000	1430	>0,8	>0,8	50

Tab II.1 Données nominales orientées du prototype du moteur à induction [16].

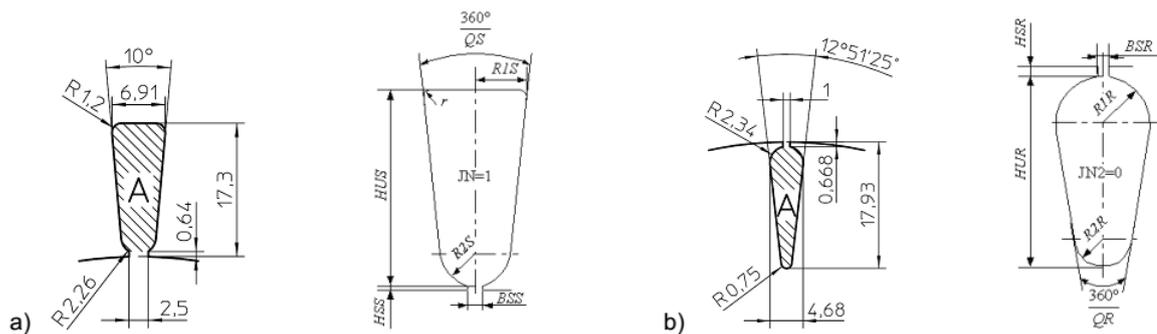


Fig. II.18 Les dimensionnements des encoches du stator et rotor [16].

II.10.2 Calcul des paramètres d'enroulement :

Le calcul des paramètres d'enroulement commence par le calcul de nombre d'encoche du stator par pôlepp :

$$qp = \frac{q}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \quad (\text{II.4})$$

Le nombre d'encoche du stator par pôle et par phase est nécessaire :

$$q = \frac{q}{2pm} = \frac{36}{4.3} = 3$$

α : angle mécanique entre les encoche de stator peut être facilement calculée par :

$$\alpha_m = \frac{360^\circ}{q} = 10^\circ \quad (\text{II.5})$$

Et aussi l'angle électrique compte tenu du nombre de p paires de pôle par :

$$\alpha = p \frac{360^\circ}{z} = 2 \frac{360^\circ}{36} = 20^\circ \quad (\text{II.6})$$

τ_p : Le pas polaire

$$\tau_p = qm = 9 \quad (\text{II.7})$$

La section d'encoche du stator au peut être calculé par :

$$A_u = (R_{1s} + -R_{2s})(H_{us} - R_{2s}) + \frac{\pi R_{2s}^2}{2} = 90.32\text{mm} \quad (\text{II.8})$$

La tension induite E_1 soit environ 96% de la tension nominale et $\emptyset = 6,25 \cdot 10$ (Vs), le nombre de spires N par phase peut être calculé:

$$N = \frac{E_a}{4.44.f.\Phi.K_b} = 288 \text{ spires} \quad (\text{II.9})$$

f est la fréquence, kb le facteur de bobinage et a le nombre de branches parallèles dans l'enroulement. Le nombre de conducteurs par phase Z :

$$z = 2 \cdot N = 2.288 = 576 \text{ spires} \quad (\text{II.10})$$

Le nombre de conducteurs par encoche zu peut être déterminé Par (II.11) compte tenu du nombre de phases m :

$$z_u = \frac{m.z}{z} = \frac{2.576}{36} = 48 \text{ conducteurs} \quad (\text{II.11})$$

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons représenté le type des enroulements des machine asynchrone et le type des encoches et la méthode calcule la surface F, ainsi que le calcul du nombre de spires N et le diamètre du conducteur (d).

Chapitre III:

**Etude comparative entre les différents types
de couplage des enroulements**

III.1 Introduction :

Dans cette partie, nous allons parler sur les différents types de couplage des enroulements (étoile, triangle, hybride,...etc.). En effet, nous avons également effectué une étude expérimentale au niveau du laboratoire dont l'objectif de connaître la différence entre les différents types de connexion. L'étude expérimentale consiste à visualiser la tension entre phases par un oscilloscope dans le cas où la machine asynchrone fonctionne comme génératrice.

III.2 Enroulements triphasés :

III.2.1 Force magnéto-motrice (fmm) d'un stator triphasé bipolaire :

III.2.1.1 Cas d'une bobine diamétrale :

La figure (III.1) montre une bobine diamétrale. Il y a deux encoches par phase. La première encoche contient les conducteurs allés et la seconde les conducteurs retour. Les têtes de bobines ne sont pas représentées. Cette bobine comporte n spires et est parcourue par le courant i avec le sens indiqué (sortant du plan de la feuille pour le point et entrant pour la croix). Le bobinage triphasé est obtenu en mettant deux autres bobines décalées dans l'espace respectivement de 120° et 240° . Le stator a donc 6 encoches. [21]

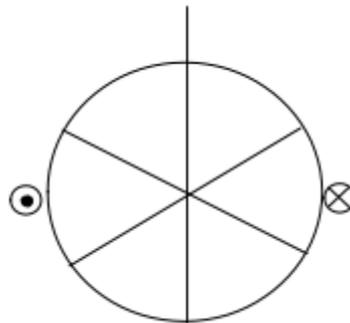


Fig III.1 Bobine diamétrale.

On trace la (Fig III.2) donnant la fmm e le long de l'entrefer développé en négligeant l'effet d'encoche et les ampères tours consommés par le fer devant ceux de l'entrefer.

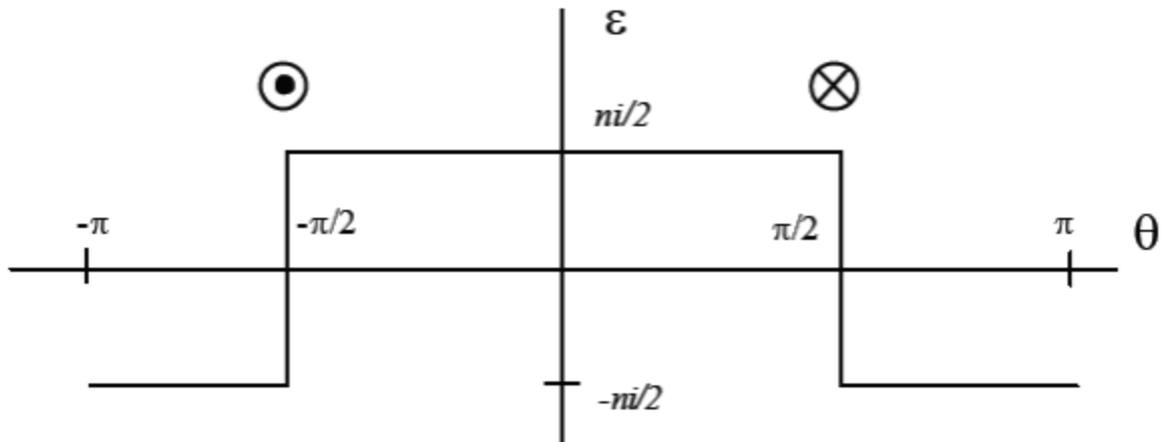


Fig III.2 Fmm d'une phase en fonction d'angle.

La décomposition en série de Fourier de la fmm donnée à la (Fig III.2) ne comporte que des harmoniques impaires et, en prenant une origine des angles convenable, que des termes en cosinus d'où :

$$F_{mm} = i.(A_1.\cos\theta + A_3\cos 3\theta + \dots + A_h \cos h\theta) \quad (\text{III.1})$$

$$\text{avec } h=2K+1 \quad \text{alors } A_{2K+1} = \frac{4.n}{2..(2.k+1)} . (-1)^k \quad (\text{III.2})$$

On crée une onde pulsante : c'est une onde stationnaire avec une amplitude non constante. La fmm est rectangulaire. Pour se rapprocher un peu plus d'une fmm sinusoïdale, on va répartir les bobines le long de l'entrefer.

III.2.1.2 La répartition des bobines :

Sur la (Fig III.1), les conducteurs allés ou retour de chaque phase peuvent occuper un débattement angulaire de 60° . On va le découper en q encoches par pôle et par phase ($q = 3$) sur la (Fig III.3). Chaque encoche de la phase comporte n/m spires. [22]

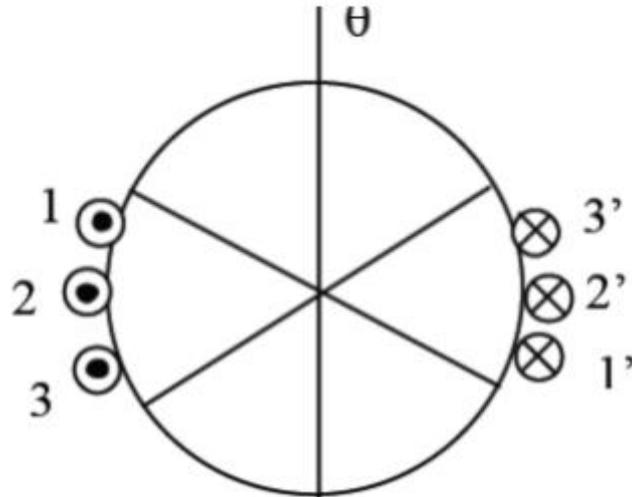


Fig III.3 Bobines diamétrales répartier

Pour $q = 1$, on a une seule bobine d'ouverture 180° électrique par phase et par paire de pôles créant une fmm de forme rectangulaire (Fig. III.2). Pour q supérieur à 1, on a m bobines de n/m spires, d'ouverture 180° électriques, décalées deux à deux de l'écart angulaire β entre deux encoches voisines. Ceci revient à répartir les bobines sur l'espace polaire.[23]

Pour le cas de la (Fig. III.4) ($q = 3$), il y a trois fmm d'amplitude n_i/m décalées entre elles de 20° . Sur la (Fig.III.4.a), les fmm en trait plein, pointillé et mixte correspondent respectivement aux bobines 22', 11' et 33'. La fmm résultante E_{res} est en escalier et d'amplitude n_i (Fig.III.4.b).

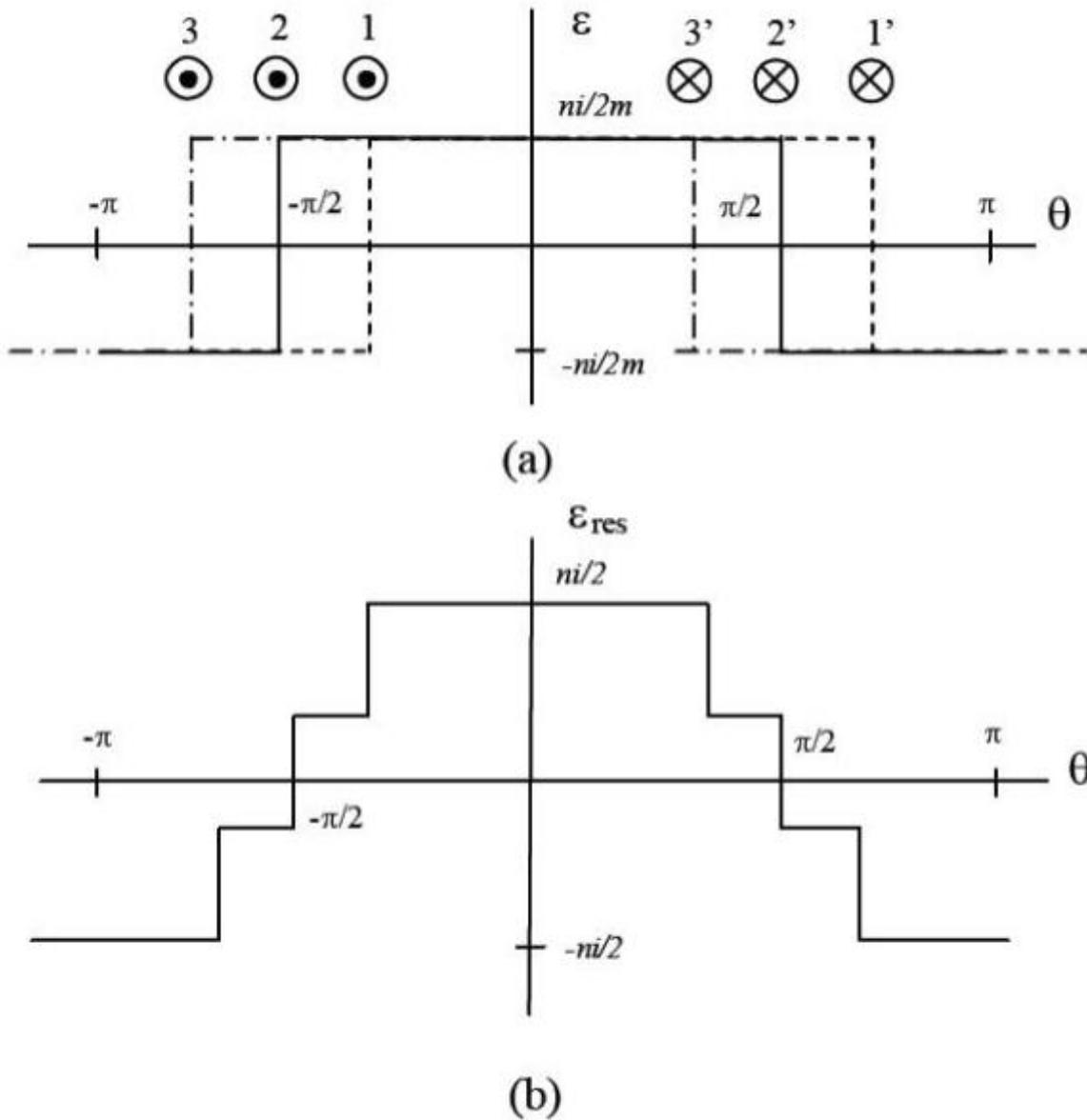


Fig III.4 FMM des bobines réparties .

Pour le fondamental et les divers harmoniques, le coefficient de distribution k_d est le rapport entre ce que donne le bobinage réel et ce que donnerait le bobinage si tous les conducteurs d'une phase pour une paire de pôles étaient regroupés dans deux encoches: [24]

$$KD_h = \frac{\sin\left(\frac{h\pi}{6}\right)}{m \cdot \sin\left(\frac{h\pi}{6m}\right)} \quad (III.3)$$

La décomposition en série de Fourier est identique à celle obtenue pour une bobine diamétrale

au facteur multiplicatif kdh près (relation III.1) avec $h = 2k+1$

$$\text{et : } A_{2K+1} = \frac{4.n}{2.\pi(2.k+1)} \cdot (-1)^k \cdot KD_{2K+1} \quad (\text{III.4})$$

Le Tableau III.1 donne les valeurs de A_v pour différents nombres d'encoches par pôle et par phase. Il montre que dès que q est supérieur à 1, tous les coefficients sont inférieurs à 1. La Fmm a une valeur efficace inférieure à celle que donnerait $q = 1$.

Q	1	2	3	4	$\rightarrow \infty$
A_1	1.000	0.966	0.960	0.958	0.955
A_5	0.200	0.052	0.043	0.041	0.038
A_7	0.143	0.037	0.025	0.023	0.019
A_{11}	0.091	0.088	0.016	0.011	0.008
A_{13}	0.077	0.074	0.017	0.010	0.006

Tableau III.1 Evolution du coefficient de la série de Fourier pour les harmoniques d'espace 1,5,7, 11 et 13 en fonction du nombre m d'encoches par pôle et par phase.

L'augmentation de q réduit donc le taux des divers harmoniques et la forme de la Fmm créée par chaque phase plus voisine de la sinusoïde.

III.2.1.3 Le raccourcissement des bobines :

Jusqu'à maintenant, les bobines étaient diamétrales : leur ouverture était de 180° . On parle de pas diamétral pour ces bobines. Utiliser un pas raccourci signifie que l'ouverture des bobines est inférieure à 180° : il vaut $180^\circ \cdot \alpha_d$ où α_d est le facteur de raccourcissement. Pour $q=2$ et un raccourcissement d'un pas dentaire (distance séparant les axes de deux encoches successives),

$d = 5/6$ (Fig III.5). Il est à noter que le raccourcissement est toujours un multiple du pas dentaire.[25]

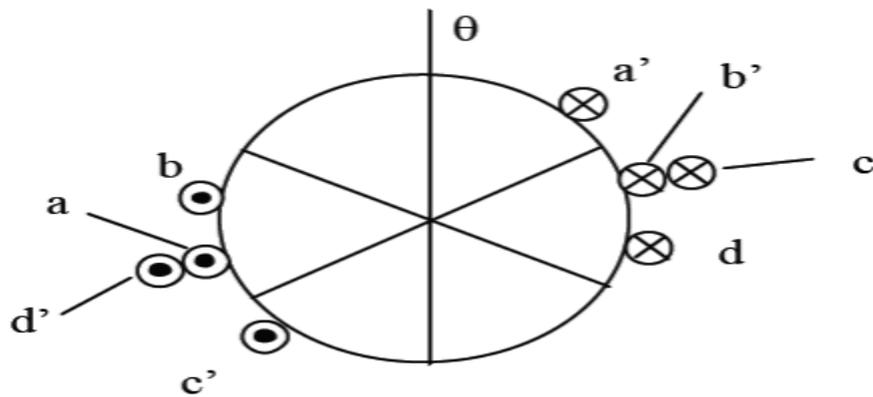


Fig III.5 Raccourcissement d'un pas dentaire pour un stator à 2 encoches par pôle et par phase

On s'aperçoit que certaines encoches vont contenir deux phases différentes. Dès qu'il y a raccourcissement de pas, l'enroulement est dit à deux couches. Pour le cas de la (Fig III.5), les quatre bobines sont réparties en deux groupes de deux bobines créant deux fmm identiques mais décalées de 30° (aa' avec cc' en trait plein et bb' avec dd') en trait pointillé sur la (FigIII.6.a). L'allure de la fmm résultante par phase ϵ_{res} est donnée a la (Fig III.6.b).

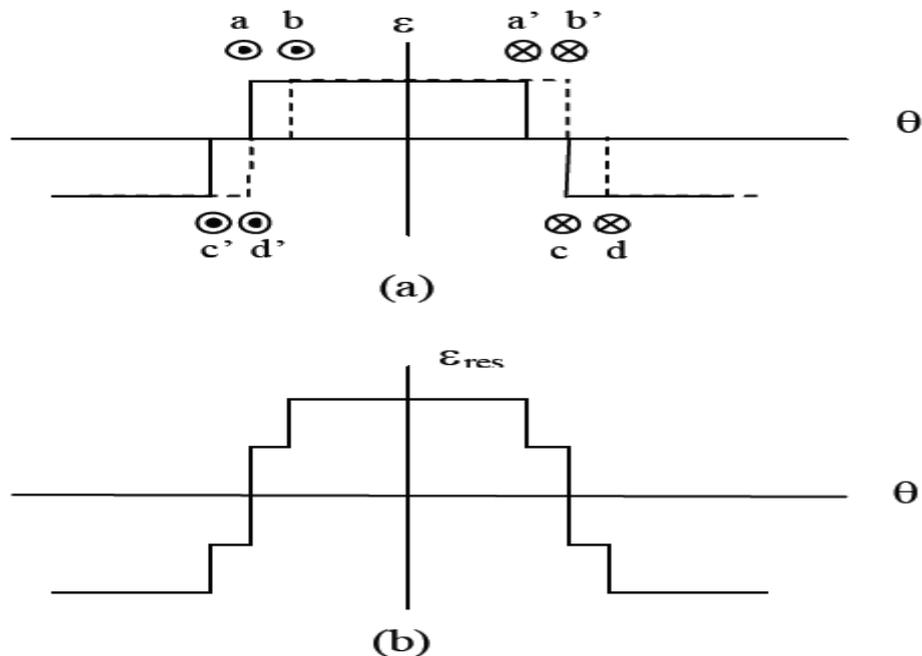


Fig III.6 Fmm par phase du bobinage de la Fig III.5.

Pour le fondamental et les divers harmoniques, le coefficient de raccourcissement k_r est le rapport entre ce que donne le bobinage réel et ce que donnerait le bobinage à pas diamétral

$$K r_h = \sin\left(\frac{h \cdot \delta \cdot \pi}{2}\right) \quad (\text{III.5})$$

III.2.1.4 Le pas relatif:

Il s'agit du produit du coefficient de distribution par le coefficient de raccourcissement:

$$k_{bh} = k_{dh} \cdot k_{rh} \quad (\text{III.6})$$

La décomposition en série de Fourier est identique à celle obtenue pour une bobine diamétrale

au facteur multiplicatif k_{bh} près (relation III.1) avec $h = 2k+1$ et

$$A_{2k+1} = \frac{4 \cdot n}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot k + 1)} \cdot (-1)^k \cdot K D_{2k+1} \quad (\text{III.7})$$

Tableau I-2 indique la valeur de $\mathbf{A_v}$. Il montre que le raccourcissement du pas d'enroulement permet de réduire les harmoniques.

β pas relatif	rang de l'harmonique				
	5	7	9	11	13
q=1					
$\frac{3}{3}$	1.000	0.020	0.143	0.091	0.077
$\frac{2}{3}$	0.866	0.173	0.124	0.079	0.866
q=2					
$\frac{6}{6}$	0.966	0.052	0.037	0.088	0.074
$\frac{5}{6}$	0.933	0.013	0.010	0.085	0.072
$\frac{4}{6}$	0.837	0.045	0.032	0.076	0.065
q=3					

$9/9$	0.960	0.044	0.025	0.016	0.017
$8/9$	0.945	0.028	0.009	0.006	0.011
$7/9$	0.902	0.008	0.019	0.012	0.003
$6/9$	0.831	0.038	0.022	0.014	0.014
q=4					
$12/12$	0.958	0.041	-0.023	0.011	0.010
$11/12$	0.949	0.033	0.014	0.001	0.001
$10/12$	0.925	0.011	0.006	0.011	0.009
$9/12$	0.885	0.016	0.021	0.004	0.004
q=5					
$15/15$	0.957	0.040	0.021	0.010	0.008
$14/15$	0.951	0.035	0.016	0.004	0.002
$13/15$	13/15	0.936	0.020	0.002	0.007
$12/15$	0.910	0.000	0.013	0.009	0.005

Tableau III.2 Evolution du coefficient de la série de Fourier pour les harmoniques d'espace 1, 5, 7, 11 et 13 en fonction du nombre q d'encoches par pôle et par phase et du pas relatif β .

A partir du tableau, on fixe le coefficient de bobinage $\beta > \frac{2}{3}$ pour ne pas trop réduire l'amplitude de la Fmm fondamentale. L'optimum se trouve autour de $\beta = 4/5$, valeur qui annule l'harmonique d'espace 5.

III.3 Fmm triphasée résultante, champ tournant bipolaire :

Près et parcouru par des courants triphasés équilibrés (trois courants identiques au déphasage de $2\pi/3$ près). On suppose que les courants sont sinusoïdaux. Par contre chaque phase crée dans l'entrefer une Fmm à répartition non sinusoïdale : il apparaît alors des harmoniques d'espace (Fig III.7) représente Fmm d'un bobinage statorique à une couche.

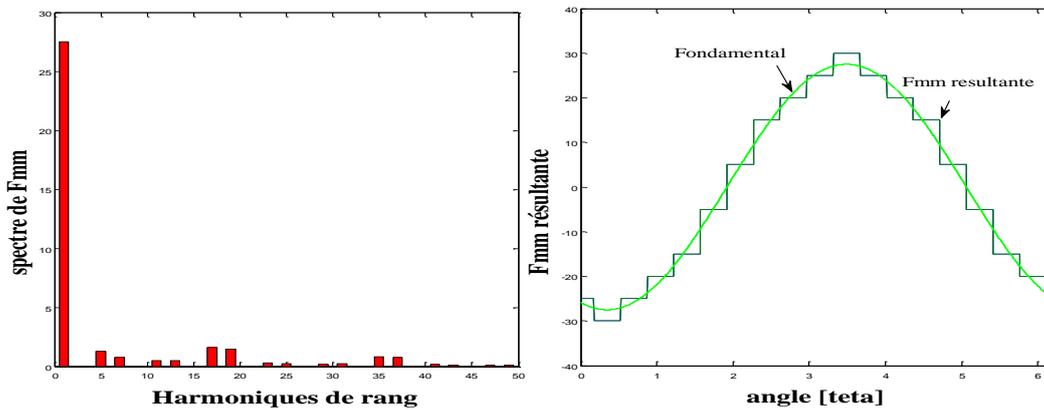


Fig III.7 Fmm résultante d'enroulement à une couche $q=3, p=1$ et son spectre d'harmonique.

La formule de Fmm résultante est :

$$F_{mm} = F_{mm1} + F_{mm2} + F_{mm3} \quad (III.8)$$

$$F_{mm} = \frac{3}{2} \cdot A1 \cdot I \cdot \cos(\omega s \cdot t - \theta) + \frac{3}{2} \cdot A5 \cdot I \cdot \cos(\omega s \cdot t + 5 \cdot \theta) + \frac{3}{2} \cdot A7 \cdot I \cdot \cos(\omega s \cdot t + 7 \cdot \theta) \dots + \frac{3}{2} \cdot Av \cdot I \cdot \cos(\omega s \cdot t - v \cdot \theta) \quad (III.9)$$

La Fmm triphasé bipolaire résultante est la somme des Fmm dues :

- Aux harmoniques d'espace de rang $v = 3k + 1$ créant des ondes à répartition sinusoïdale tournant dans le sens direct à la vitesse $\omega s/v$.
- Aux harmoniques d'espace de rang $v = 3k - 1$ créant des ondes à répartition sinusoïdale tournant dans le sens inverse à la vitesse $\omega s/v$.
- Les harmoniques multiples de trois ont une contribution nulle.

Le bobinage fournit donc une Fmm comportant :

- $1/5 \cdot kb5$ d'harmoniques d'espace de rang 5 .
- $1/7 \cdot kb7$ d'harmoniques d'espace de rang 7 .
- $1/v \cdot kbv$ d'harmoniques d'espace de rang v (v impair et non multiple de 3) [7].

Pour évaluer le pourcentage de ces harmoniques, on calcule le THD(%) (Taux d'harmonique)

$$\text{THD}(\%) = \text{Distorsion totale} = 100 * \frac{\text{valeur efficace de l'ensemble des harmoniques}}{\text{valeur efficace du fondamental}} \quad (\text{III.10})$$

III.4 Etude expérimentale :

III.4.1 Présentation du banc d'essai :

Dans cet essai, nous allons mettre en œuvre expérimentalement le fonctionnement en génératrice d'une machine asynchrone, et ce qui nous permet d'obtenir la forme de tension entre phase se forme data. Par la suite nous avons enregistré ces datas sur flash disque connecté au oscilloscope. A l'aide du logiciel Matlab nous avons traité les datas correspond à la tension entre phases dont l'objectif de tracer le spectre d'harmonique de ce type d'enroulement.



Fig III.8 Banc d'essai génératrice asynchrone entraînée par un moteur à courant continu.

III.4.2 méthode de couplage :

III.4.2.1 couplage étoile :

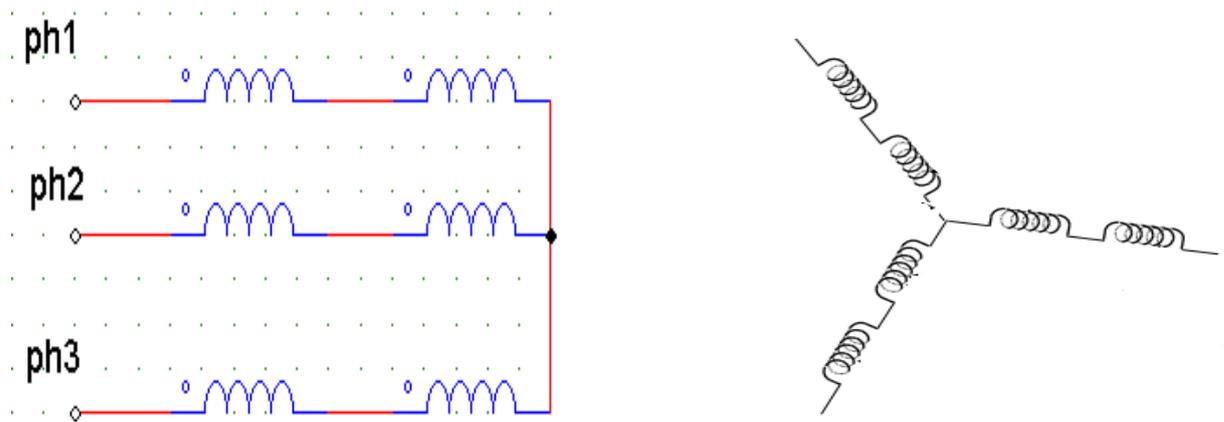


Fig III.9 Schéma théorique représente couplage étoile



Fig III.10 couplage étoile

III.4.2.2 Couplage étoile triangle :

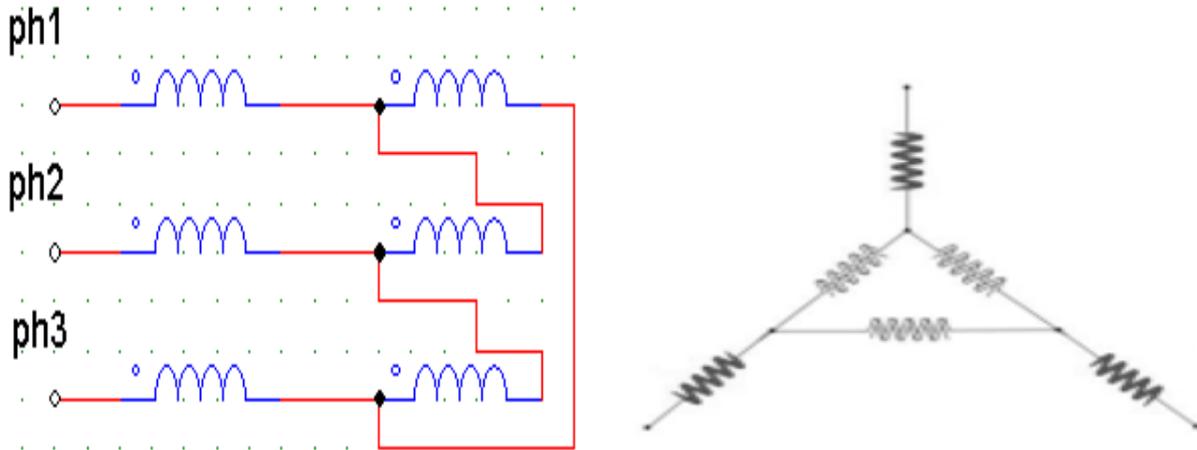


Fig III.11 Schéma théorique représente couplage étoile triangle

III.4.3 1^{er} Essai couplage étoile :

Démarrer la machine à courant continu et amener le banc à 1200 tr.min-1

- N=1200 tr/min
- C=48 uf

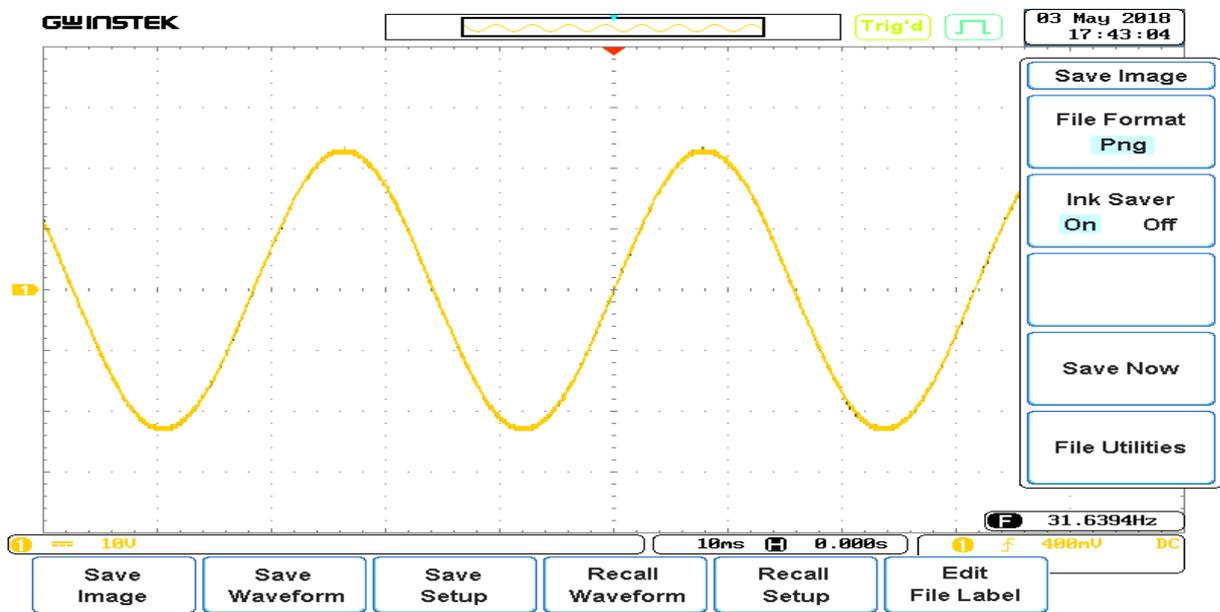


Fig III.12 tension de sortie entre phasen C=48 uf (couplage étoile)

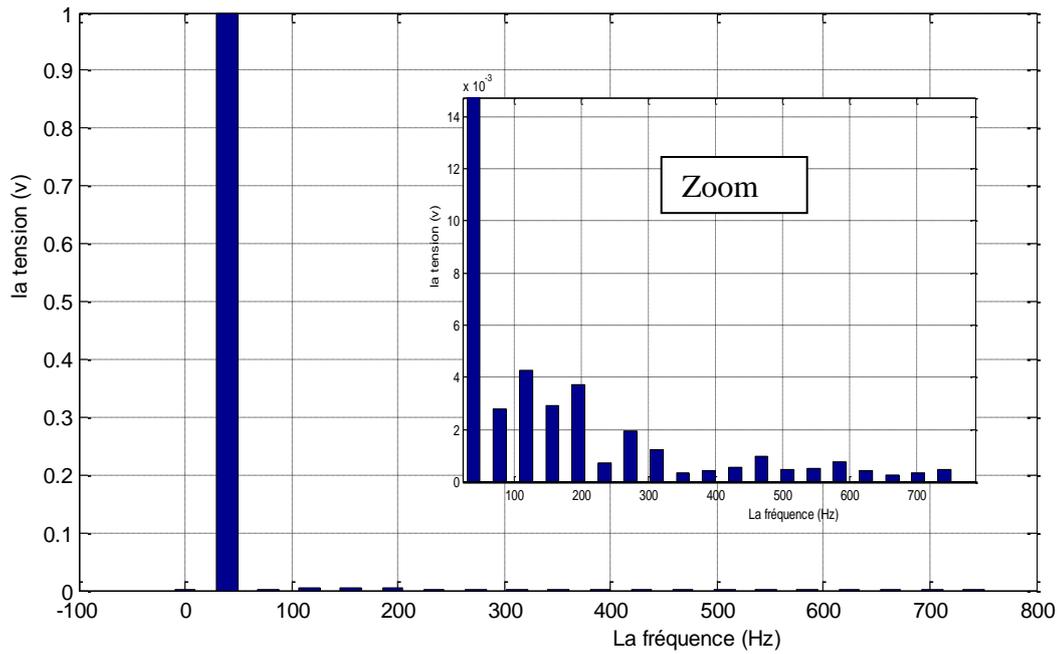


Fig III.13 Spectre d’harmoniques de tension pour un couplage étoile

C=48 uf , THD= 0.7553

III.4.4 2ème Essai couplage étoile-triangle :

Démarrer la machine à courant continu et amener le banc à 1200 tr.min-1

- N=1200 tr/mn
- C=48 uf

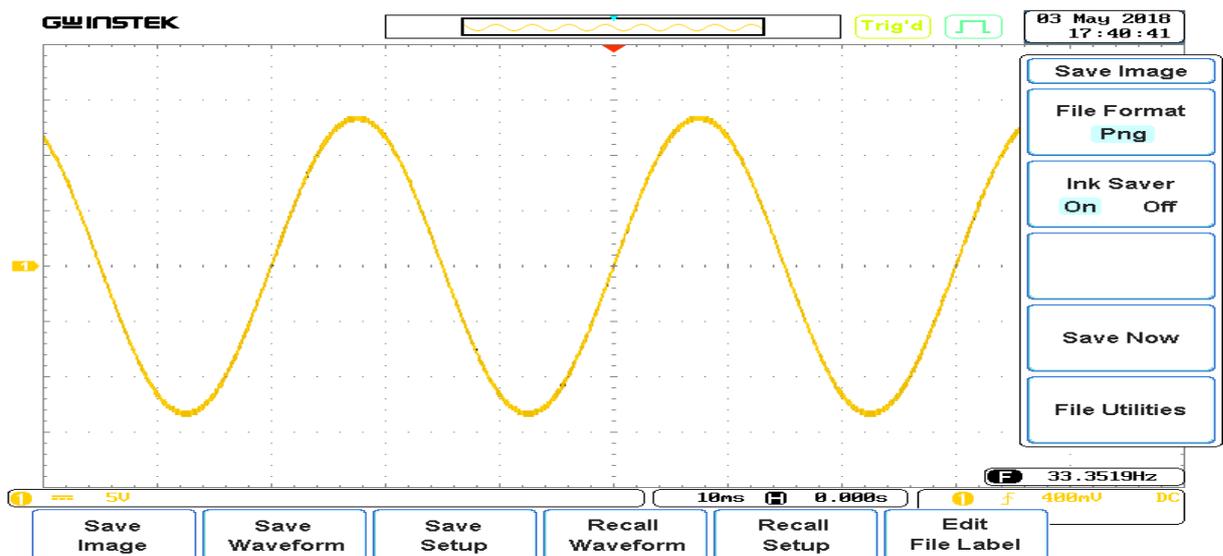


Fig III.14 tension de sortie entre phasen C=48 uf (couplage étoile triangle)

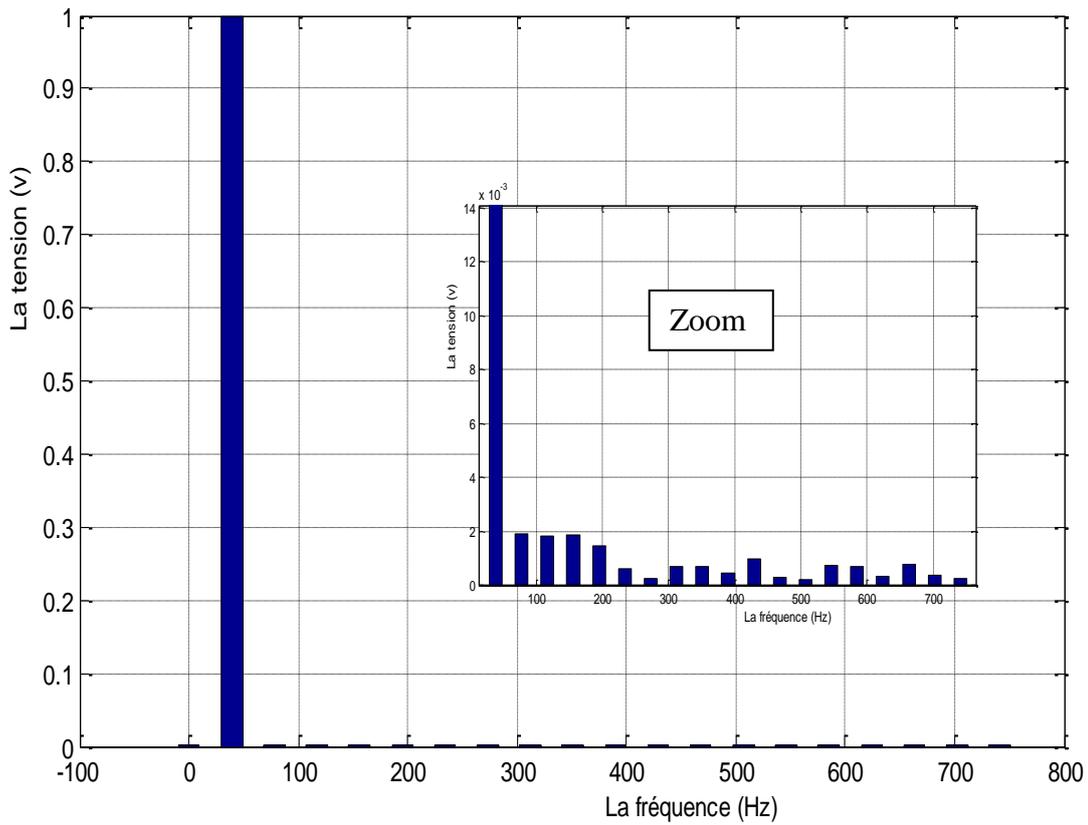


Fig III.15 Spectre d’harmoniques de tension pour un couplage (étoile triangle)

C=48 uf THD= 0.4151

III.4.4 3ème Essai :

Démarrer la machine à courant continu Faire varier la valeur du pourcentage du banc de condensateur et observer l’évolution de la valeur efficace de la tension entre phases

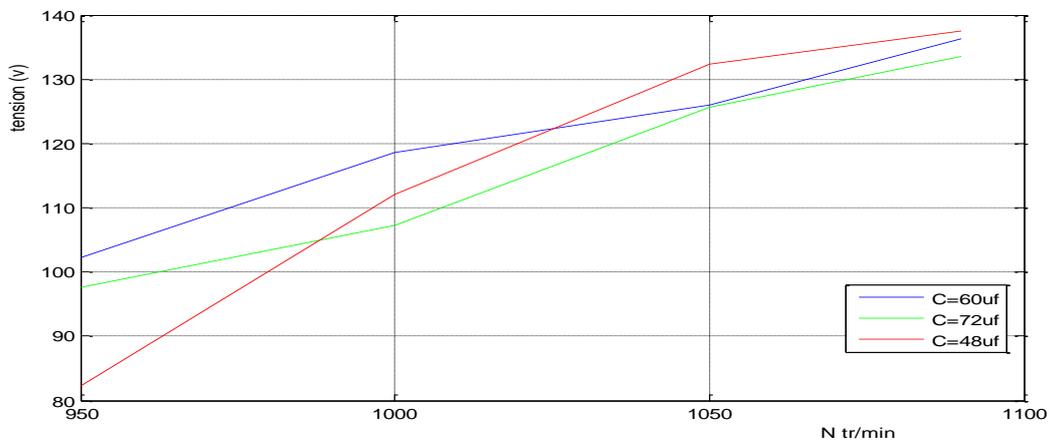


Fig III.16 Caractéristiques tension-vitesse pour différentes valeurs du condensateur.

D'après la figure (III.16), on constate que la valeur du condensateur $C=60\mu\text{f}$ permet d'obtenir une caractéristique de la tension presque constante à la variation de la vitesse, ainsi que cette valeur est importante.

III.5 Etude comparative :

types de couplage	étoile	étoile /triangle
Le taux d'harmonique	0.7553	0.4151

Tableau III.3 La comparaison entre les différents types de couplage

D'après les résultats obtenus on constate que le couplage étoile-triangle présente un taux d'harmoniques réduit par rapport au couplage étoile.

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, on traite une analyse spectrale pour des différents types de couplage des enroulements, (couplage hybride étoile/triangle, couplage étoile). D'après les résultats obtenus on constate que le couplage étoile-triangle présente un taux d'harmoniques réduit par rapport au couplage étoile.

Conclusion générale

Dans cette étude, nous avons intéressé à l'étude des différents types de connexion ou couplage des enroulements (bobinage) pour la machine asynchrone triphasé à cage d'écureuil, notamment (étoile, triangle, étoile-triangle, triangle-étoile, ...ect). A cet effet, une étude comparative a été effectuée au sein du laboratoire des machines électriques dont l'objectif de connaître la différence entre les différents méthodes de connexion de bobinage en se basant sur une analyse spectrale des harmoniques. Dans ce contexte, nous avons élaboré un banc d'essai a fin d'excuté cette étude. Notre Banc d'essai consisté à utiliser une machine asynchrone en mode génératrice, et entraînée par un moteur à courant continu, ainsi que la tension entre phasé est reliée à un oscilloscope numérique qui nous permet d'extraire des données numérique (Data). En suite, ces data sont traités par un programme Matlab qui nous permet de tracer le spectre d'harmonique ainsi de calculer le taux d'harmoniques (THD) associés à chaque type de connexion. Dans notre étude nous avons limité notre étude sur le couplage étoile et hybride étoile-triangle d'un enroulement à une couche, et nous avons ignoré les autres types, vue que ces types montrent des mauvaise performances d'une part, ou ces types ne présentes pas un amorçage (excitation) sufisant pour la machine asynchrone pour fonctionnée comme génératrice d'autre part. En plus la machine étudiée est contient un bobinage d'une seule couche.

D'après les résultats obtenus par l'analyse spectrale pour les différents types de couplage des enroulements à une couche (couplage hybride étoile/triangle, couplage étoile), on constate que le couplage étoile-triangle présente un taux d'harmoniques réduit par rapport au couplage étoile. Par conséquent, le couplage hybride offre des performances remarquables par rapport aux autres types en terme du taux d'harmonique, et ce qui permet de l'imergence de ce type dans la construction des machines asynchrones dans le futur.

Bibliographie

Référence Bibliographique

Listes des références

- [1] GUY SEGUIER «électrotechnique industrielle».
- [2] Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtenir du diplôme : Diplôme d'ingénieur d'état, « Bobinage d'un moteur asynchrone triphasé : Etude théorique et pratique ».
- [3] **D. Zakaria, M.brahime**, « Modélisation et simulation d'une génératrice asynchrone on saturation », thèse de doctorat, Université kasdimerbah Ouargla.
- [4] **Radouane BOUSSEKSOU** (Modélisation analytique des machines Asynchrone application au diagnostic) Mémoire Présenté vue de l'obtention du diplôme de magister En Electrotechnique Université Mentouri Constantine 2007.
- [5] **Jacques SAINT-MICHEL**, Directeur Scientifique Moteurs Leroy Somer« Bobinage des machines tournante à courant alternative ».
- [6] **Mr. MOKHTARI BRAHIM** « MODELISATION ET SIMULATION D'UNE GENERATRICE ASYNCHRONE EN SATURATION » PROJET DE FIN CYCLE Université Kasdi Merbah–Ouargla.
- [7] **Gilles Desbiens**. MACHINES À INDUCTION BOBINÉES SUR DENTS. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2003. Français. <tel-00381904>.
- [8] <http://physique.vije.net/TSTI/index.php?page=mas4> visited this page on 5/27/18.
- [9]http://franck.fresnel.free.fr/doc/TGET/moteur_asynchrone_complet_prof.pdf « CONSTITUTI NET PRINCIPE D'UN MOTEUR ASYNCHRONE » visit: 5/27/18.
- [10] **Mr OUAJJI Hassan** Enseignant Chercheur « **MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASÉ** » <https://www.slideshare.net/ouajji/mas3-ph> visit: 5/27/18.
- [11] Publié par **hicham** « électronique et technologie MACHINES ELECTRIQUES» jeudi 17 mars 2011 <http://electronique1.blogspot.com/2011/03/les-avantages-et-les-inconvenients-du.html>
- [12] **Abdessemed R, Tomachevitch V. F**, « Enroulements des machines électriques », Livre, Université Batna, 2012.

Référence Bibliographique

- [13] **ABDESSEMED VERA**, « CONTRIBUTION A L'ANALYSE ET L'AMELIORATION DE LA FIABILITE DES MACHINES ELECTRIQUES », thèse de doctorat, Université Batna, 2012.
- [14] **G. SEGUIER, F. NOTTELET**, «Electrotechnique industrielle », Livre, Technique & Documentation (1996).
- [15] **S. Patel, R. G. Hoft**, « Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thristor inverters », IEEE Trans., vol IA-9, pp 310-317, 1973
- [16] Official website of company Kinle&Spiess www.kienle-spiess.com.
- [17] **jafarKhalilpour**, « INVESTIGATION THE EFFECTS OF DIFFERENT TYPES OF WINDING AND DIFFERENT PATTERNS ON EFFICIENCY AND REMOVING HARMONICS AND TORQUES IN INDUCTION MACHINE »,article, Faculty of Electrical Engineering, Aeronautical University of Science and Technology, 7, APRIL 2016.
- [18] **HERRACHE SAID et KHALFAOUI KHALED** « étude et analyse des procédés de démarrage des moteurs asynchrones triphasés» mémoire d'ingénieur-université M'SILA.2006
- [19] Cours machines asynchrones «département de génie électrique- université Mohamed Khider -Biskra –professeur Golea.2013
- [20] Guy Chateigner, Michel Boës, Daniel Bouix Jacques Vaillant, Daniel Verkindère«Manuel de génie électrique(*livre*) » DUNOD 2005
- [21] **L. ALGER**, « The nature of induction machine », Gordon & Breach Science Publisher Inc., 1965
- [22] **A. ABOU AKAR**, « Modélisation des moteurs asynchrones triphasés à cage »,Thèse de doctorat, Université Claude Bernard- Lyon I, 1991
- [23] **E. BOURGOIN**, « Relations entre les composantes symétriques des courants induits d'une machine à induction et les harmoniques d'espace dans l'entrefer, études théorique et expérimentale », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1993
- [24] **CHEVALIER**, «Modélisation et mesure des pertes fer dans les machines électriques, application à la machine asynchrone », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999

Référence Bibliographique

[25] **A. GENON, W. LEGROS**, «Machines électriques », HERMES ScienceEurope, 2000

[26] **S. HARMIN**, «Etude analytique des machines synchrones à aimants permanents », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble,1993

[27] **M. KOSTENKO, L. PIOTROVSKI**, « Machines électriques » tome II, Editions Mir, 1969