



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



UNIVERSITE D'EL-OUED

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Génie mécanique

Option : Électromécanique industriels

Thème

Etude et réalisation de bobinage
d'un moteur asynchrone

Devant le jury composé de : Présenté par :

.....	Président	- Djeghal Imad
.....	Examineur	- Bahdi Abdelkader
.....	Examineur	- Ben Ali Abdelhamid
M. Chenoufi hakim	Encadreur	

2013-2014

Dédicace

À nos parents,

À nos familles,

À nos amis

Tableau des matière

<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
<i>Chapitre I Analyse des propriétés des bobinages</i>	<i>2</i>
I.1 Introduction.....	2
I.2 Force magnétomotrice produite par les bobinages.....	3
I.3 Décomposition harmonique de l'onde de FMM.....	5
I.3.1 FMM d'une spire à pas diamétral.....	5
I.3.2 FMM pour la phase considérée.....	19
I.3.3 Contribution des deux autres phases à la FMM.....	10
I.3.4 FMM produite par l'ensemble des trois phases.....	11
I.4 Coefficients de bobinage globaux.....	12
I.5 Conclusion.....	13
<i>Chapitre III Etude bobinage dans le moteur asynchrone</i>	<i>14</i>
II. Introduction générales sur les moteurs asynchrones.....	14
II.2 Plaque d'un moteur asynchrone.....	15
II.3 Les différentes sortes de moteurs asynchrones.....	16
II.4 La plaque à bornes d'un moteur asynchrone.....	17
II.5 Surveillance thermique.....	18
II.6 Les angles électriques et l'angle géométrique.....	19
II.6.1 L'angle géométrique.....	19
II.6.2 Les angles électrique.....	19
II.7 Tests et démontage d'un moteur brule.....	20
II.7.1 Le démontage.....	20
II.7.2 Démontage d'un moteur.....	20

III.1 Introduction	21
III.2 Repérage d'un bobinage d'origine	22
III.3 différents positionnements de bobines	23
III.4 Retrait des têtes de bobines	24
III.5 Retrait du cuivre dans les encoches	25
III.6 Confection et montage de l'isolation d'encoche	26
III.7 comptage du nombre de fils par encoches	27
III.8 Mesure et choix des fils	28
III.9 Tablette des fils à bobiner les plus courants	29
III.10 Calculs pour le rebobinage	30
III.11 Calcul d'un bobinage pour une nouvelle tension	31
III.12 Les sortes de bobinages en série	32
III.13 Confection des bobines sur le tour	33
III.14 Montage des bobines dans les encoches	34
III.15 Moteur asynchrone 2 pôles à 36 encoches 3000 RPM	35
III.16 Méthode brobose	36
III.16.1 Enroulements des machines à courant alternatif	36
III.16.1.1 Bobines concentriques reliées en série	36
III.16.1.2 Bobines identiques ou "section" reliées en série	37
III.16.2 Enroulement à 1 couche pôle coséquent (ondulé)	37
III.17 conclusion	38

L'existence des harmoniques d'espace dans l'entrefer nuit considérablement au travail efficace des machines électriques alternatives. Cependant, on a vu apparaître des machines synchrones dont le bobinage est inhabituel. En effet, certains moteurs à aimants présentent la particularité de posséder un bobinage dit « sur dents » : une bobine est enroulée autour de chaque dent statorique. Ce type de bobinage possède des avantages tels que la facilité de mise en œuvre, une nette séparation des phases dans les têtes de bobines et surtout des chignons beaucoup plus courts, d'où un gain de place considérable. Par contre, le défaut majeur provient de la richesse en harmoniques d'espace de l'induction dans l'entrefer

Le premier chapitre traite des différentes structures possibles de bobinage sur dents. On y calcule la force magnétomotrice (fmm) triphasée résultante. Les meilleures structures du point de vue du fondamental de cette fmm sont également optimisées suivant quelques paramètres du stator.

Le second chapitre rappelle brièvement comment fonctionne une machine à induction. Par ailleurs, on s'est attardé plus longuement à décrire et expliquer le bobinage traditionnel des machines alternatives.

Enfin au troisième chapitre, nous allons montrer comment le processus de désarmement est peaufiné du moteur, et réinstallation de la nouvelle et de la coordination entre les caractéristiques du moteur et les mesures nécessaires pour cela.

Chapitre I : Analyse des propriétés des bobinages

I.1 Introduction

Cet article traite des bobinages polyphasés des machines tournantes à courant alternatif. Dans un but de simplification, on s'est limité au cas des enroulements triphasés qui sont de loin les plus répandus. Les développements théoriques, largement détaillés, pourront cependant être facilement généralisés par les lecteurs qui le souhaitent à tout autre nombre de phases.

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

Le chapitre I traite de la réduction des harmoniques d'espaces de fmm. Il est possible d'éliminer certains harmoniques d'espace en modifiant l'allure de la fmm par phase ou en imbriquant un bobinage multipolaire. Cependant, dans tous les cas, le fondamental de fmm est alors très réduit.

Ne réussissant pas à éliminer les harmoniques d'espace sans atténuer fortement la fmm d'entrefer, on a cherché à étudier différents stators sans négliger les ouvertures d'encoques en se fixant le bobinage plot de base. Il s'agit de déterminer la forme optimale des encoches stator et son rayon d'entrefer en vue de maximiser le fondamental de l'induction dans l'entrefer. On a utilisé des simulations numériques par éléments finis car le modèle mathématique développé ne prend pas en compte l'encoche du stator.

I.2 Force magnétomotrice produite par les bobinages

À chaque passage au droit d'une encoche, la FMM est donc augmentée algébriquement de la valeur du courant total présent dans ladite encoche. C'est évidemment une fonction périodique. L'intérêt de la notion de FMM est d'être gouvernée par les courants qui sont bien entendu les sources de champ magnétique. Si le circuit n'est pas saturé, l'induction lui sera directement proportionnelle. Dans le cas contraire, qui est le cas général, il faudra la multiplier par la perméance du circuit complet (entrefer et fer) pour obtenir l'induction. En définitive la FMM est le moyen rigoureux d'étude des machines.

Pour fixer les idées, considérons un bobinage triphasé bipolaire le plus simple possible, c'est-à-dire comportant une seule encoche par pôle et par phase et représenté sur la figure 9.

En $\theta = 0$, la FMM, pour l'instant indéterminée, a une valeur désignée par F_0 , valeur constante jusqu'à $\theta = 30^\circ$. Les valeurs suivantes s'en déduisent aisément (avec I_1, I_1'', I_1' les courants dans les encoches) :

0°	$\theta \leq 30^\circ$	$FMM = F_0$
30°	$\theta \leq 90^\circ$	$FMM = F_0 + I_1$
90°	$\theta \leq 150^\circ$	$FMM = F_0 + I_1 - I_1''$
150°	$\theta \leq 210^\circ$	$FMM = F_0 + I_1 - I_1'' + I_1'$
210°	$\theta \leq 270^\circ$	$FMM = F_0 + I_1' - I_1'$
270°	$\theta \leq 330^\circ$	$FMM = F_0 + I_1'$
330°	$\theta \leq 360^\circ$	$FMM = F_0$

Par raison de symétrie, la FMM est anticyclique sur un intervalle polaire:

$$FMM(\theta + 180^\circ) = -FMM(\theta) \quad \forall \theta$$

et donc par exemple:

$$FMM(180^\circ) = -FMM(0^\circ) = -F_0$$

$$\text{soit encore: } F_0 + I_1 - I_1'' + I_1' = -F_0$$

ce qui détermine entièrement F_0 .



Figure I.9 Bobinage triphasé bipolaire : répartition spatiale des courants

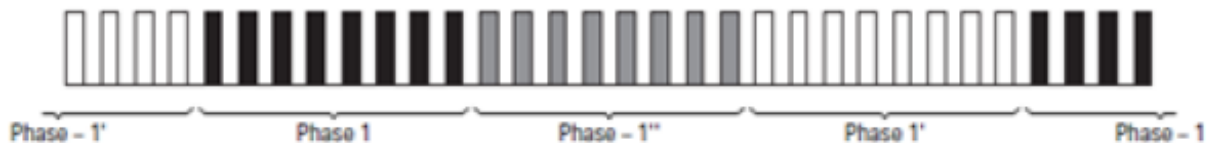


Figure I.10 Bobinage concentrique à un étage : répartition des phases

Le même type de raisonnement peut, bien entendu, être appliqué à n'importe quel type de bobinage. Pour illustrer cela plus précisément, nous traitons ci-après deux cas de bobinages différents pour un stator de 48 encoches et 2 pôles.

1^{er} cas : bobinage concentrique à un étage :

L'arrangement des phases dans les encoches se présente suivant le schéma de la **figure I.10**. On trouvera, sur les courbes de la **figure I.11**, l'évolution de la FMM le long de l'entrefer lorsque la phase des courants triphasés varie de 60° , par pas de 10° , par rapport à la valeur initiale. On notera que l'onde de FMM tourne en se déformant notablement, en raison des harmoniques d'espace (§ 2.3) relativement importants pour ce type de bobinage. L'onde a une périodicité de 60° comme on peut le démontrer aisément.

2^e cas : bobinage à pas 5/6 :

Ce bobinage est réalisable en concentrique 2 plans ou, plus communément, en imbriqué 2 étages. La répartition des conducteurs dans les encoches est moins simple que dans le cas précédent et, par conséquent, l'opération de bobinage en est plus complexe. Le schéma de répartition est présenté sur la **figure I.12**.

On voit que les phases sont cette fois partiellement imbriquées, certaines encoches contenant des conducteurs appartenant à deux phases différentes. Cela oblige d'ailleurs, et c'est un facteur important en termes de fabrication, de prévoir, dans ces encoches, une isolation entre faisceaux qui réduit la place disponible pour le cuivre et augmente significativement les temps de bobinage. L'examen du schéma montre que tout se passe

comme si on était en présence de deux bobinages identiques au précédent, mais décalés entre eux de 4 encoches, soit ici 30° .

Les courbes de la **figure I.13** montrent le résultat obtenu.

On constate sans ambiguïté que ces ondes sont plus proches d'une sinusoïde que celles obtenues avec le bobinage plein pas, montrant ainsi une diminution notable de l'amplitude des harmoniques d'espace. On montrera dans le paragraphe 4.2 que le pas $5/6$ minimise les harmoniques 5 et 7. On remarquera également que l'amplitude maximale de la FMM est plus faible, en raison de l'étalement plus grand des conducteurs. Ainsi, la minimisation des harmoniques se paie par une complexité accrue de fabrication, à laquelle s'ajoute une diminution de l'efficacité du bobinage en ce qui concerne l'onde fondamentale.

Le paragraphe **I.2** permet de quantifier tous ces phénomènes qui revêtent une grande importance dans le dimensionnement des machines électriques.

I.3 Décomposition harmonique de l'onde de FMM

On pourrait bien sûr entreprendre au cas par cas la décomposition en série de Fourier de l'onde déterminée comme au paragraphe 2.3, mais toutefois, ce travail laborieux ne permettrait pas d'extraire les paramètres généraux. Il est donc préférable de revenir aux sources, c'est-à-dire de :

- déterminer la décomposition harmonique de la FMM d'une spire quelconque;
- sommer les contributions individuelles des spires d'une phase;
- combiner les contributions des autres phases.

Quel que soit le bobinage considéré, on peut toujours, comme nous l'avons souligné au paragraphe 3.1, le faire apparaître comme une combinaison de spires à pas diamétral occupant suivant les cas une ou plusieurs couches. Il est donc inutile de s'intéresser à des spires à pas raccourci, contrairement à ce que pratiquent la plupart des auteurs.

I.3.1 FMM d'une spire à pas diamétral

La spire est parcourue par un courant i pour l'instant arbitraire. Par définition même de la FMM, celle-ci est évidemment rectangulaire et d'amplitude $\frac{i}{2}$ (**figure I.14**).

La décomposition de cette onde en série ne fournit que des termes impairs, d'amplitude:

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \frac{i}{2} \sin(n\theta) d\theta$$

soit:

$$a_{2p+1} = \frac{2}{\pi} \frac{i}{2p+1}$$

et finalement :

$$FMM = \frac{2i}{\pi} \sum_0^\infty \frac{\sin[(2p+1)\theta]}{2p+1}$$

Appliquons-lui un courant sinusoïdal. L'onde se décompose alors en deux ondes tournantes sinusoïdales, l'une directe et l'autre inverse, de même amplitude en vertu de l'identité:

$$\sin a \sin b = \frac{1}{2} [\cos (a - b) - \cos (a + b)]$$

Et donc s'il y a S conducteurs par encoche:

$$FMM = \frac{SY \sqrt{2}}{\pi} \sum \left(\frac{\cos[\omega t - (2p+1)\theta]}{2p+1} - \frac{\cos[\omega t + (2p+1)\theta]}{2p+1} \right) \dots\dots\dots(8)$$

I.3.2 FMM pour la phase considérée

Le bobinage est constitué par la juxtaposition de N encoches qui, dans le cas de bobinages réguliers par exemple, sont régulièrement espacées d'un angle électrique a donné par:

$$a = \frac{2 \pi p}{N (ES)} \dots\dots\dots(9)$$

Où p désigne le nombre de paires de pôles et N_{ES} le nombre total d'encoches au stator.

On doit donc sommer les contributions de ces N encoches pour chaque harmonique, en prenant en compte le fait que, pour un harmonique quelconque de rang 2n + 1, le décalage électrique entre deux encoches consécutives est cette fois (2n + 1)a.

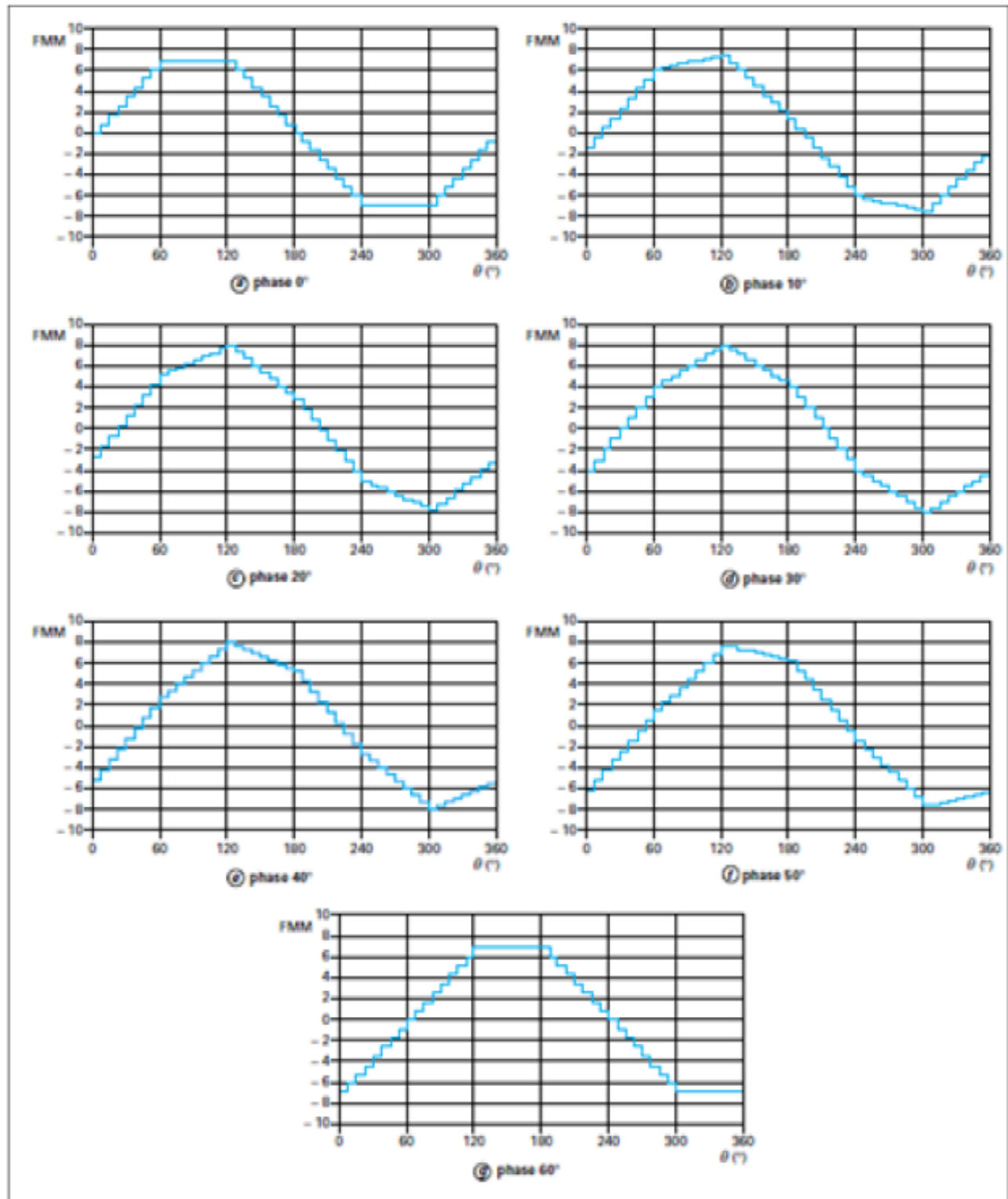


Figure 11 - Bobinage concentrique à un étage : onde de force magnétomotrice

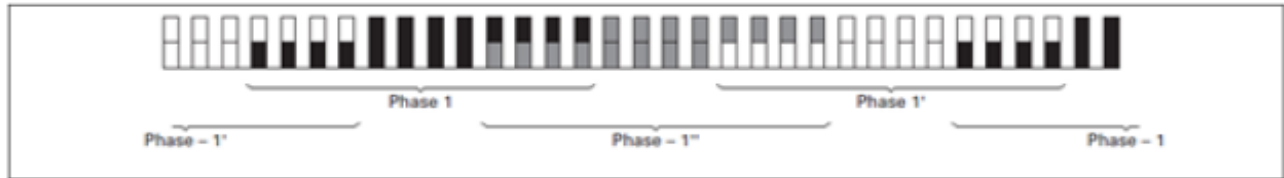


Figure 12 - Bobinage à pas 5/6 : répartition des conducteurs

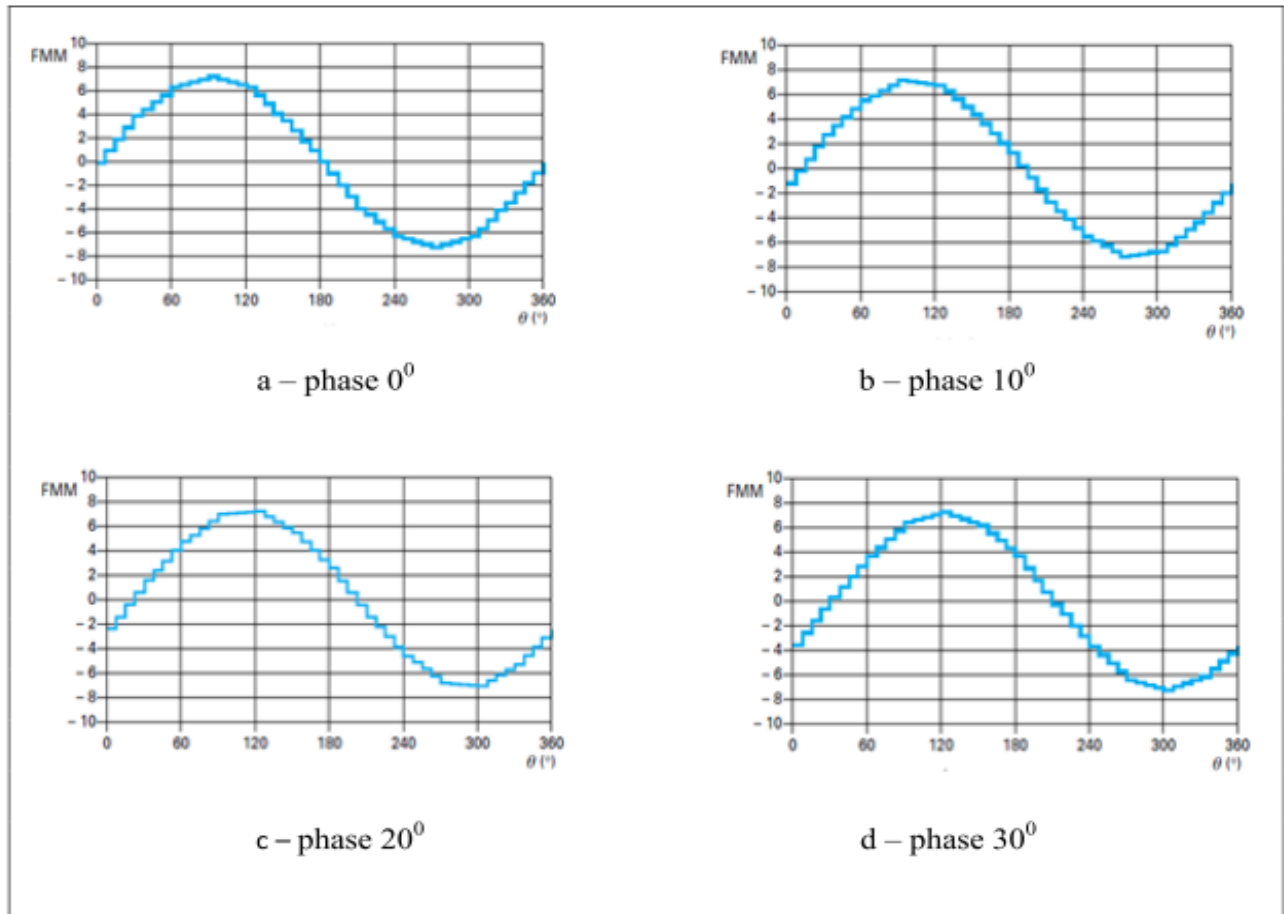


Figure 13 - Bobinage à pas 5/6 : onde de force magnétomotrice

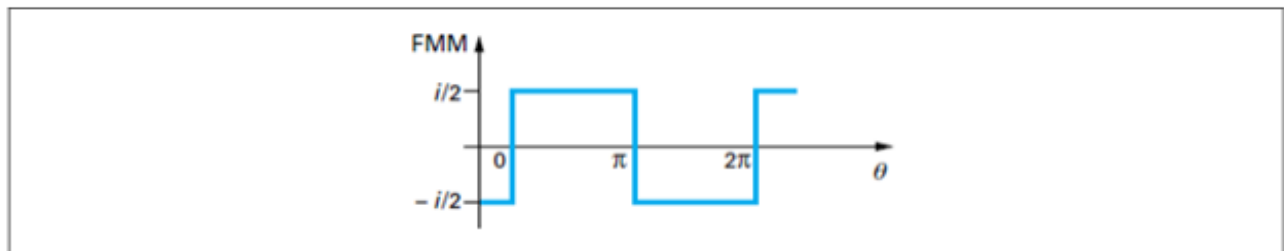


Figure 14 - Onde FMM d'une spire à pas diamétral

$2n + 1$. Il suffit alors de mettre bout à bout les N vecteurs identiques, décalés entre eux d'un angle $(2n+1)a$. La somme vectorielle de ces N vecteurs élémentaires n'est autre que la contribution totale de la couche de conducteurs (figure 15).

On voit que:

$$\psi = N (2n + 1) \alpha$$

$$e_{2n+1} = 2 R \sin[(2n + 1) \alpha/2]$$

Et la longueur totale :

$$E_{2n+1} = 2 R \sin[N(2n + 1)\alpha/2]$$

Il suffit d'éliminer l'inconnue R pour obtenir finalement : $E_{2n+1} = e_{2n+1} \frac{\sin[N (2n + 1) \alpha/2]}{\sin[(2n + 1) \alpha/2]}$

Que l'on écrira sous une forme équivalente: $E_{2n+1} = N e_{2n+1} \frac{\sin[N (2n + 1) \alpha/2]}{\sin[(2n + 1) \alpha/2]}$

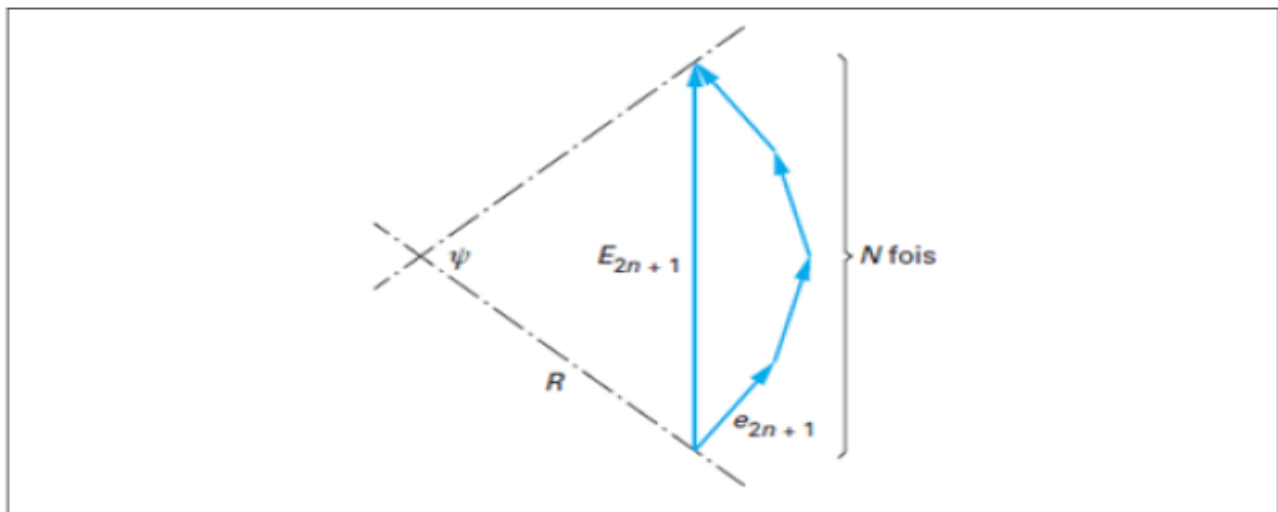


Figure 15 - Représentation vectorielle pour la sommation des N encoches

Le coefficient à droite du terme $N e_{2n+1}$ rend donc compte de la distribution du bobinage dans N encoches voisines, puisqu'à l'évidence on aurait obtenu :

$$E_{2n+1} = N e_{2n+1}$$

si les N encoches étaient confondues. Ce terme, k_{bdm} , est appelé coefficient de distribution de bobinage pour l'harmonique de rang m (avec $m = 2n + 1$).

Dans le cas de bobinages triphasés réguliers, on a de plus: $N = \frac{N(ES)}{2p}$

Nombre d'encoches par pôle et phase et la relation (9) : $a = \frac{p2\pi}{N(ES)}$

Donc:
$$k_{bdm} = \frac{\sin m \frac{\pi}{6}}{\left(\frac{N(ES)}{6p}\right) \sin\left(\frac{mp\pi}{N(ES)}\right)} \dots\dots\dots(10)$$

Dans le cas d'un bobinage à pas raccourci, qui comprend en général deux couches de conducteurs, il faut enfin sommer la contribution de ces deux couches, décalées entre elles d'un angle δ_m pour l'harmonique m. On obtient ainsi la **figure 16** avec : $F_m = 2 E_m \cos\left(\frac{\delta(m)}{2}\right)$

En introduisant le coefficient de raccourcissement b défini par: $\beta = \frac{\text{pas de bobinage}}{\text{pas diamétral}}$

On peut écrire:
$$\delta_m = (1 - \beta) m \pi$$

Et donc:
$$F_m = 2 E_m \sin\left(\frac{\beta m \pi}{2}\right)$$

puisque l'on sait que m est impair. Le terme à droite de 2Em, qui rend compte du décalage entre les deux couches, est le coefficient de raccourcissement k_{brm} , défini par:

$$k_{brm} = \sin\left(\frac{\beta m \pi}{2}\right) \dots\dots\dots(11)$$

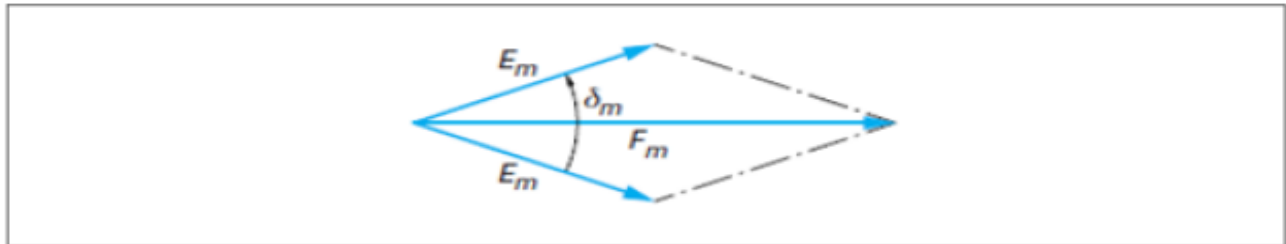


Figure 16 - Représentation vectorielle du raccourcissement

** On est désormais en mesure d'écrire la décomposition de la

FMM d'une phase complète

$$FMM\varphi = \frac{SY\sqrt{2}}{\pi} \frac{N(ES)}{6p} k_{bdm} k_{brm} \sum \frac{[\cos(\omega t - m\theta) - \cos(\omega t + m\theta)]}{m} \dots\dots\dots(12)$$

où m est impair.

I.3.3 Contribution des deux autres phases à la FMM

Les phases étant identiques, il suffit de conduire le même calcul en remplaçant simplement:

—pour la phase 1' :

$$\cos(\omega t - \theta) \quad \text{par} \quad \cos[\omega t - \frac{2\pi}{3} - m(\theta - \frac{2\pi}{3})]$$

Chapitre I : Analyse des propriétés des bobinages

— pour la phase 1", par des expressions analogues avec $\frac{4\pi}{3}$ au lieu de $\frac{2\pi}{3}$.

Par une procédure identique à celle suivie au paragraphe 2.3, on constate que:

- les harmoniques de rang multiple de 3 s'éliminent;
- les harmoniques de rang $6k - 1$ s'ajoutent pour le champ inverse et s'éliminent pour le champ direct;
- les harmoniques de rang $6k + 1$ s'ajoutent pour le champ direct et s'éliminent pour le champ inverse.

I.3.4 FMM produite par l'ensemble des trois phases

Elle a finalement pour expression:

$$FMM\varphi = \frac{3SY\sqrt{2}}{\pi} - \frac{N(ES)}{6p} \sum k_{bd(6k \pm 1)} k_{br(6k \pm 1)} \frac{[\cos(\omega t - m\theta) - \cos(\omega t + m\theta)]}{m} \dots\dots\dots(13)$$

On peut maintenant revenir aux grandeurs électriques traditionnelles. Si le bobinage

comporte c circuits en parallèle: $Y = \frac{I}{c}$

I étant le courant efficace par phase ; on a donc: $\frac{3YS\sqrt{2}}{\pi} \frac{N(ES)}{6p} = \frac{3\sqrt{2}I}{p\pi} \frac{N(ES)S}{6c}$

Or le nombre de spires en série par phase N_s a pour expression: $N_s = \frac{N(ES)S}{6c}$

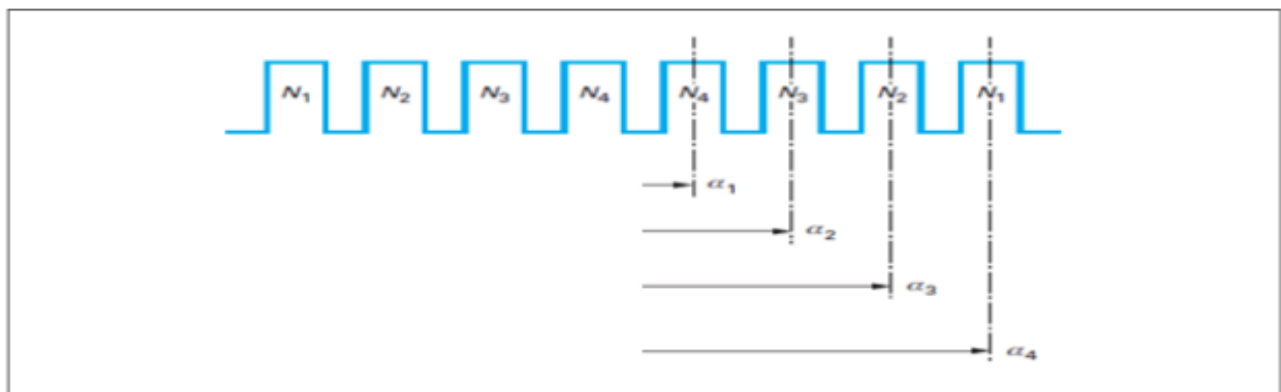


Figure 17 - Répartition symétrique des conducteurs : exemple

la force magnétomotrice:
$$FMM_m = \frac{3\sqrt{2} N(S)k(bdm)k(brm) I}{m p \pi} \dots\dots\dots(14)$$

I .4 Coefficients de bobinage globaux

On désigne le coefficient de bobinage global pour l’harmonique de rang m, par:

$$k_{bm} = k_{bdm} k_{brm} \dots\dots\dots(15)$$

Nous avons établi au cours du paragraphe 3.2 les formules [relations (10) et (11)] qui permettent son calcul dans le cas de bobinages réguliers. Si tel n’est pas le cas (par exemple, lorsque toutes les encoches ne comportent pas le même nombre de conducteurs ou dans le cas de bobinages à trous, etc.), elles ne peuvent pas être appliquées et on devra avoir recours à la construction vectorielle particulière correspondant à la répartition réelle des conducteurs dans les encoches.

Il est souvent possible d’identifier un axe de symétrie pour la répartition des conducteurs d’une phase dans les encoches correspondantes. Or la formulation de k_{bm} d’une phase s’applique sous la même forme pour l’ensemble du bobinage triphasé et on peut donc se limiter à une seule phase pour le calculer.

Exemple : considérons le cas de la **figure 17** où le bobinage de chaque phase est regroupé dans 8 encoches en 4 paires d’encoches comportant respectivement chacune N_1 , N_2 , N_3 et N_4 conducteurs, avec des angles électriques par rapport à l’axe de symétrie a_1 , a_2 , a_3 et a_4 .

Il est quasi évident que l’on peut directement écrire:

$$k_{bm} = \frac{N1 \cos(m a1) + N2 \cos(m a2) + N3 \cos(m a3) + N4 \cos(m a4)}{N1 + N2 + N3 + N4} \dots\dots\dots (16)$$

comme on peut le vérifier aisément en traçant la composition vectorielle
 Cette formulation, en définitive plus générale, plus didactique et souvent plus commode d’utilisation, impose comme seule contrainte la présence d’un axe de symétrie.

II .4. Conclusions :

Ce chapitre a permis de recenser les différents bobinages sur dents qui répondent à la condition de non croisement de phase, en ayant jusqu'à 4 bobines par phase. On a également développé un modèle de calcul de la fmm triphasée résultante qui a permis de classer les différentes structures. Ce modèle est applicable à n'importe quel type de bobinage possédant jusqu'à 4 bobines par phase.

On a essayé dans un premier temps de ranger au mieux les spires des bobines de chaque phase et dans un second de jouer sur l'ouverture des bobines et la répartition de spires entre elle en fin de trouver les meilleures structures. Ceci a conduit à deux structures particulièrement intéressantes. La première structure permet de maximiser le fondamental de fmm mais en contrepartie, on subit H5 et H7. De plus, cette structure crée une fmm dont le contenu harmonique est identique mais deux fois plus petite en amplitude que le stator bipolaire à pas diamétral à une encoche par pôle et par phase à volume de conducteurs identique. L'intérêt de la seconde structure est d'éliminer l'harmonique 7 de fmm mais au détriment du fondamental (13% de moins) et d'une augmentation de H5 (presque doublé) par rapport à la première structure.

Dans le chapitre suivant, on cherche à réduire le contenu harmonique de la fmm, spécialement les harmoniques 5 et 7 par différentes astuces plus complexes que la simple modification de paramètres géométriques ou électriques comme ce qui a été fait dans le paragraphe 4 de ce chapitre.

Chapitres II : Etude bobinage dans le moteur asynchrone

II.1 Introduction générales sur les moteurs asynchrones :

Les moteurs asynchrones fonctionnent en courant alternatif triphasé. Ils peuvent être modifié pour fonctionner en monophasé (avec un condensateur). La vitesse de rotation dépend du nombre de pôles du moteur mais aussi de la fréquence du réseau : nombre de cycles par seconde. 50 HZ par exemple.

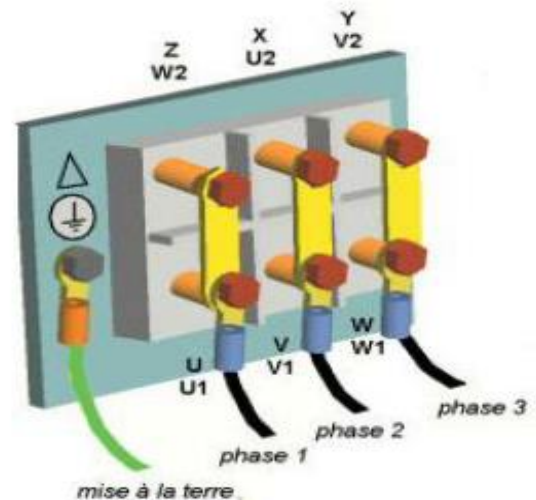
Les moteurs asynchrones brûlent s'il manque une phase. Plaque à bornes

Les moteurs asynchrones n'ont pas de charbons et leur rotor n'est pas bobiné. Il ne demande donc pratiquement pas d'entretien.

Pour change le sens de rotation d'un moteur asynchrone il faut croiser deux des fils d'alimentation.

Les moteur asynchrones ont besoin d'un courant pouvant être jusqu'à 5 à 7 fois supérieur à leur courant nominal (exemple : courant nominal, noté sur la plaquette = 10A courant de démarrage direct jusqu'à 70A)

Il est possible de faire un démarrage étoile / triangle pour diminuer le courant de démarrage. Manuel ou automatique, ce genre de démarrage est obtenu par un câblage extérieur au moteur.



II.2 Plaquette d'un moteur asynchrone

A câblages possibles

étoile
 double étoile (Dahlander) & PAM
 triangle

B tension d'utilisation ($U_{nominale}$)
 notre exemple:
 a) 220V en triangle
 b) 380V en étoile
 c) démarrage 220V étoile puis travail 220V en triangle

C courant en charge
 notre exemple: 7.7A sous 380V
 13.5A sous 220V

D fabricant
 notre exemple: maison Unitec

E numéro du moteur
 propre au moteur

F nombre de phases
 notre exemple: moteur triphasé triphasé = 3 phases

G température du moteur
 température admissible sur l'ext. du moteur (notre exemple: 40 °C)

H type de moteur
 propre au fabricant

I Norme
 numéro de la norme à laquelle le moteur répond (DIN = normes allemandes)

J qualité d'isolation
 L'isolation tropicale est adaptée aux climats chauds et humides

plaquette factice

Unitec AG Kloten Switzerland

UNITE

U 380V I = 7.7A no 05496
 U 220V I = 13.5A phases 3

η 0,91 3,7 kW 5 HP S 40% U temp 40°

1415 Upm / RPM TYP SKG 100 LP4

cos φ 0,8 50Hz DIN 400 50 BL 2

33kg EX classe F ISO. tropicale

A S R Q P O N M L K J

K classe du moteur
 température max. admissible à l'intérieur du moteur (au niveau des bobines)

Y	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	>180°C

L service

service continu = 24/24
 service continu = S1
 service continu = 100%

S1 = 100%
 S2 = 80%
 S3 = 60%
 S4 = 40%

M spécialité
 EX = anti-explosion

Le moteur est utilisable où il y a un risque d'explosion (benzine, gaz, etc.)

N fréquence d'utilisation
 notre exemple : 50 Hertz
 remarque: un moteur prévu pour 50Hz peut tourner à 60 Hz mais sa vitesse de rotation et sa puissance augmenteront d'environ 20 %

O masse du moteur
 notre exemple : 33 kg

P facteur de puissance
 Le φ est toujours plus petit que 1
 lettre grecque: phi = $\cos \varphi = \varphi$

Q vitesse de rotation
 (à 50Hz et en charge)

3000 t/min	= 2pôles
1500 t/min	= 4pôles
750 t/min	= 8pôles

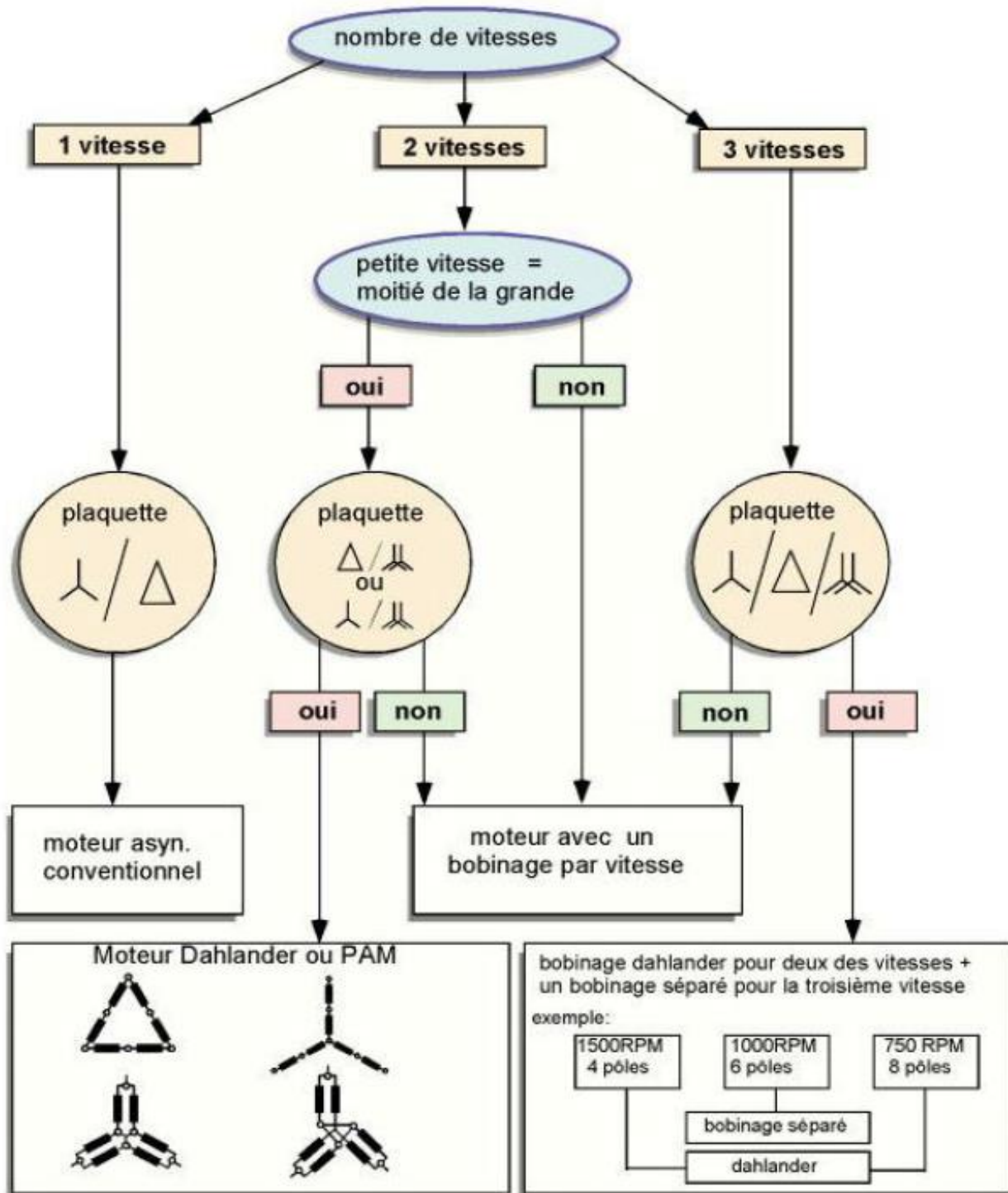
t/min. = RPM = UPM = tours par minute

R puissance utile du moteur (puissance sur l'arbre du moteur)
 1HP = 1 cheval = 0.736 kW
 1 kW = 1,35 chevaux = 1,35 HP

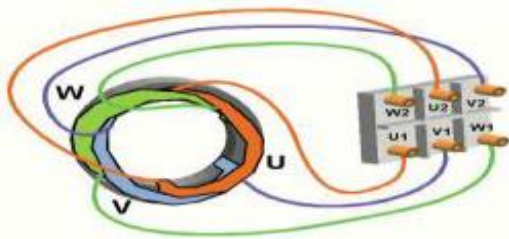
S rendement du moteur
 notre exemple: $\eta = 0,91 = 91\%$
 le rendement est toujours plus petit que 1 respectivement plus petit que 100%
 lettre grecque: $\eta = \text{éta}$

II.3 Les différentes sortes de moteurs asynchrones

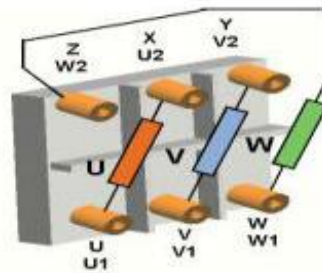
Il existe plusieurs sortes de moteurs asynchrones. Il est possible de les reconnaître en observant leur plaque.



II.4 La plaque à bornes d'un moteur asynchrone




Raccordement simplifié d'un moteur deux pôles



représentation schématisée du raccordement de la plaque à bornes

Câblage du moteur : étoile

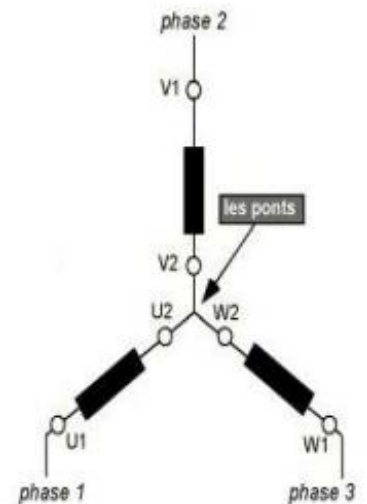
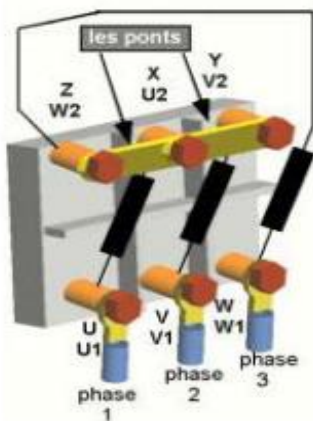
Symbole : 

Spécificité :


Le courant qui entre dans une Phase passe par deux bobines en série avant de ressortir du moteur.

Utilisation : pour la tension la plus grande admissible du moteur (exemple 380V si le

moteur est noté 220V/380V)



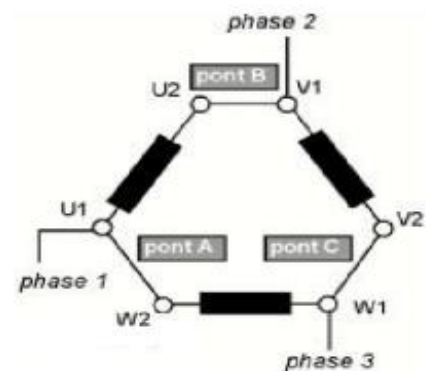
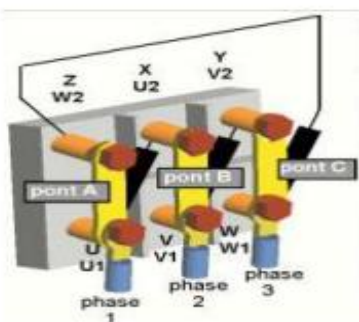
Câblage du moteur : triangle

Symbole : 

Spécificité : Le courant qui entre dans une phase passe par une bobine avant de ressortir du moteur

Utilisation : pour la tension la plus petit admissible du moteur

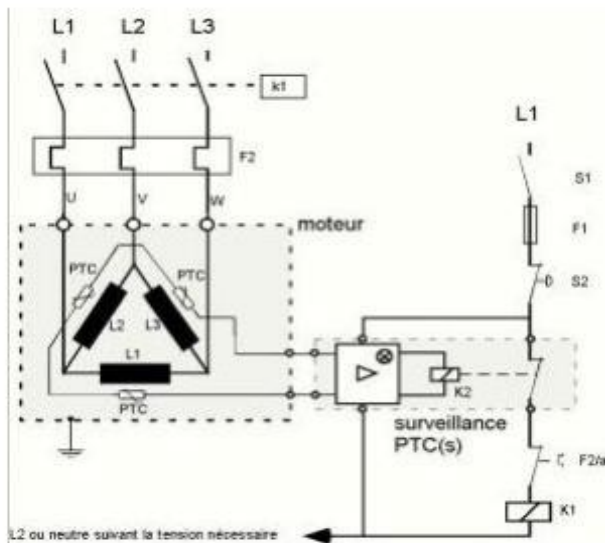
(exemple 220V si le moteur est note 220V / 380V)



II.5 Surveillance thermique

Il peut y avoir un circuit de PTCs* à l'intérieur des bobines. Dans ce cas, une PTC est placée à l'intérieur de chaque groupe de bobines et surveille la température (une PTC par phase respectivement trois PTCs par moteur triphasé).

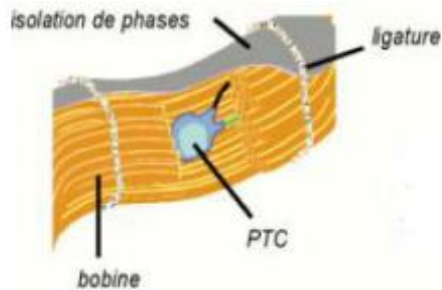
Fonctionnement : A basse température, définie par le choix des PTCs (voir tableau ci-après) celle-ci augmente sa résistance et interrompt la ligne de surveillance électromécanique qui arrête le moteur.



fil 1	fil 2	température °C
blanc	gris	60
blanc	brun	70
blanc	blanc	80
vert	vert	90
rouge	rouge	100
brun	brun	110
bleu	vert	115
gris	gris	120
bleu	bleu	130
blanc	bleu	140
blanc	noir	145
noir	noir	150
bleu	noir	155
bleu	rouge	160
blanc	vert	170
blanc	rouge	180

Le schéma ci-dessus montre une des possibilités

De câblage des surveillances avec PTCs



Les PTC s seront placées parallèlement aux bobinage, A l'intérieur des bobines et de préférence du cote de la sortie d'air du moteur .(endroit qui chauffe

le plus dans les têtes de bobines)

- **Resistance à coefficient de température positif**

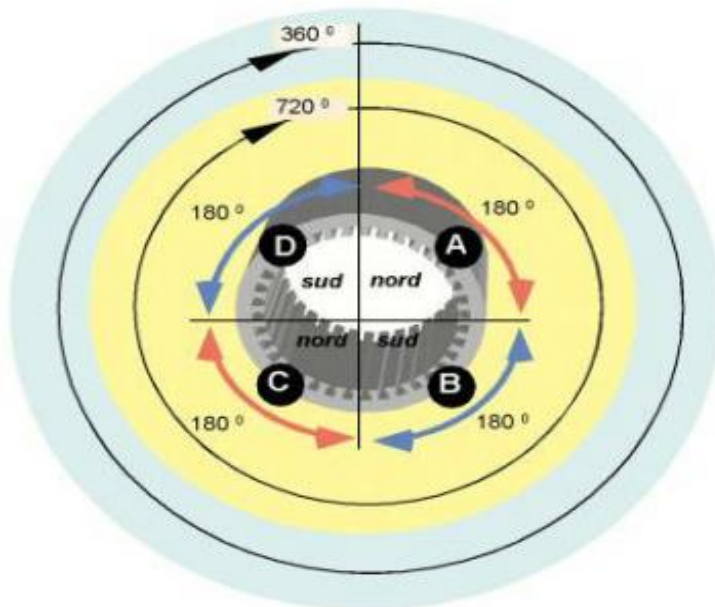
Elément électrique dont la résistance augmente lorsque la température environnante augmente

II.6 Les angles électriques et l'angle géométrique

L'exemple est fait avec un moteur 4 pôles (1500 tours/mini) dans une culasse de 36 encoches.

II.6.1 L'angle géométrique :

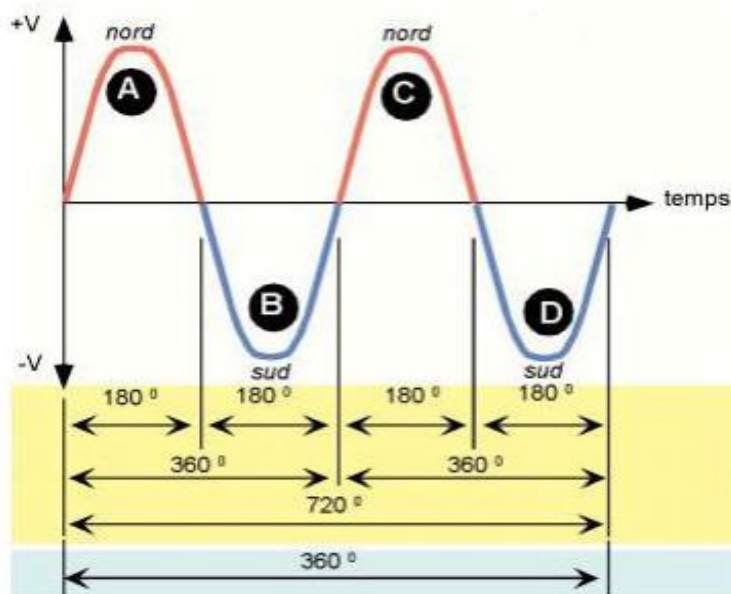
Une culasse est constituée d'un cercle de 360°



II.6.2 Les angles électrique :

Ils dépendent du nombre de pôles du moteur.

(un moteur 4 pôles à 720°)



Pour obtenir 4 pôles il faut deux alternances de 360 degrés chacune par 360 degrés géométriques

$$\text{décalage entre phases} = \frac{120^{\circ} \times \text{nombre d'encoches}}{\text{angle électrique}} = \frac{120^{\circ} \times 36}{720^{\circ}} = 6 \text{ encoches}$$

II.7 Tests et démontage d'un moteur brulé

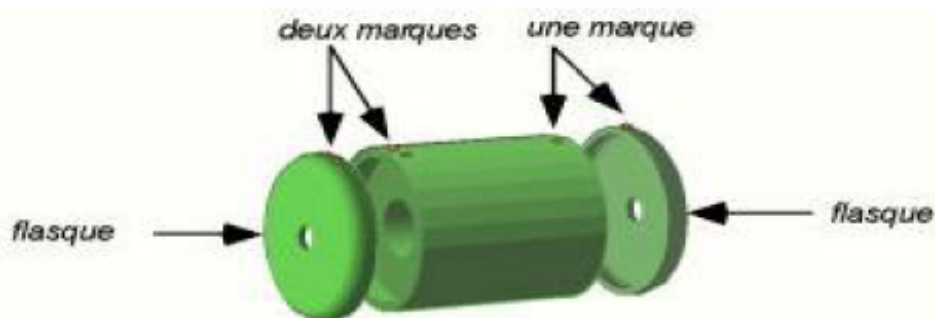
II.7.1 Le démontage

- 1 généralement, le moteur sent le brûlé ;
- 2 lorsqu'il fonctionne, une fumée sort du moteur ;
- 3 avec un ampèremètres, on mesure des courants différents entre phases (spires en court-circuit) ;
- 4 il chauffe anormalement ;
- 5 les sécurités du moteur se coupent a sa mise sous tension (court-circuit) ;
- 6 lorsqu'on mesure avec un ohmmètre chaque série de bobines, on constate qu'elles n'ont pas la même valeur ;
- 7 lorsqu'on mesure avec un ohmmètre entre chaque série de bobines, on constate une résistance anormalement faible (court-circuit entre les phases). ATTENTION : ce teste n'est pas possible si un câblage étoile ou triangle est fait à l'intérieur du moteur (3 fils sortant de la plaque à bornes pour aller dans le moteur) ;
- 8 lorsqu'on mesure à l'aide d'un ohmmètre entre la terre et une série de bobines, on constate une résistance anormalement faible (court-circuit entre terre et phase)

II.7.2 Démontage d'un moteur

Avant de commencer le démontage, il est recommande de pointer les flasques de manière à pouvoir les repérer lors du remontage (certains moteurs n'ont pas des flasques réversibles).

Durant le démontage, il faut bien observer comment le moteur est assemblé.



Repérage des flasques

Chapitre III : Réalisation de bobinage dans le machine

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous calculer la tout nombre sur le bobinage nombre de paire de pôles avec diamètre et section des fils utilise et nombre de encoche par phase nombre d'encoche par pas et nombre de bobine en série par phase et nombre d'encoches vides entre les entrée de phases et applique le bobinage sur le moteur asynchrone (triphase 36 encoches, 4 pôles et vitesse de rotation 1500 RPM).

III.2 Repérage d'un bobinage d'origine

Avant de couper une tête de bobinage, il est nécessaire de bien l'observer et de prendre des notes utiles au repérage du câblage d'origine.

Figure: photo d'une tête de bobines dans moteur 36 encoches

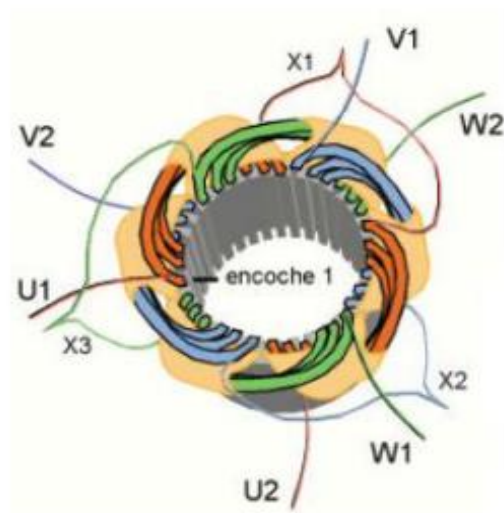


Pour le repérage, il faut identifier :

- les fils d'entrées et de sorties
- les connexions entre les bobines
- le nombre de bobines en série
- le nombre de pôles du moteur (également sur la plaquette du moteur)
- s'il y a une ou plusieurs bobines / encoches
- la présence d'une surveillance thermique

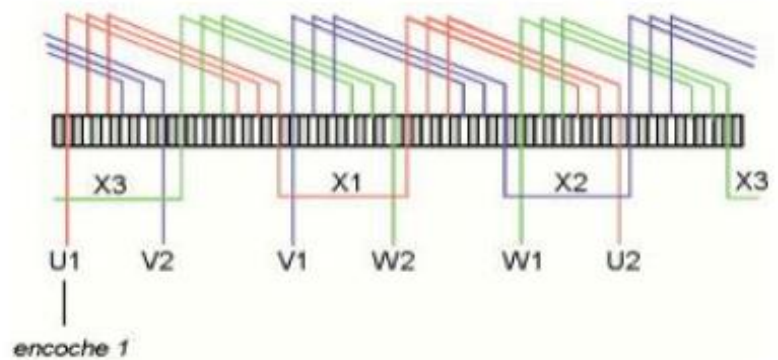
U1-U2 ; V1-V2 ; W1-W2
X1 ; X2 ; X3
2 tois 3 bobines par phase
4 pôles (1500 t/min.)

1 bobine par encoche
Non



recommandation :

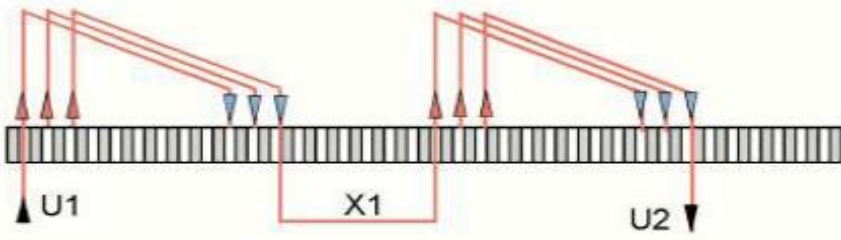
conserver les têtes de bobines jusqu'à la fin du rebobinage pour pouvoir les observer.



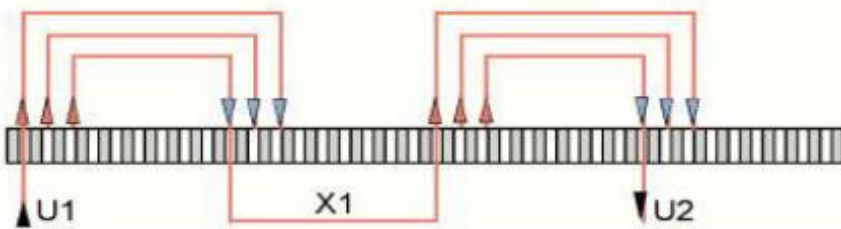
III.3 différents positionnements de bobines

Pour un même moteur, il y a plusieurs possibilités de positions des bobines.

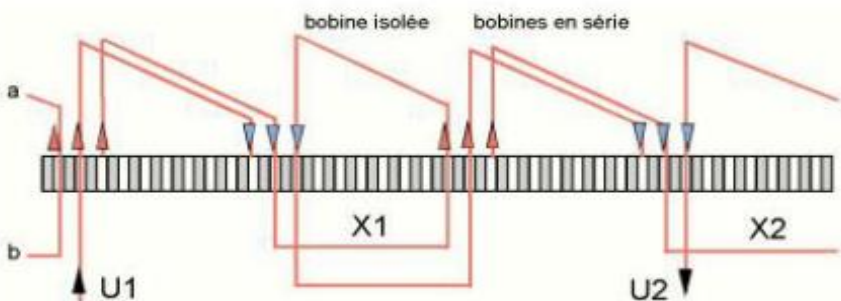
Ci-dessous, 4 exemples présentés sur une phase.



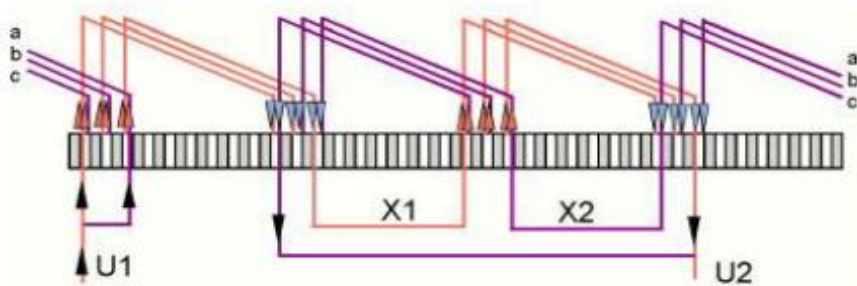
bobines décalées (très courant)



bobines étagées



deux bobines en série et une isolée



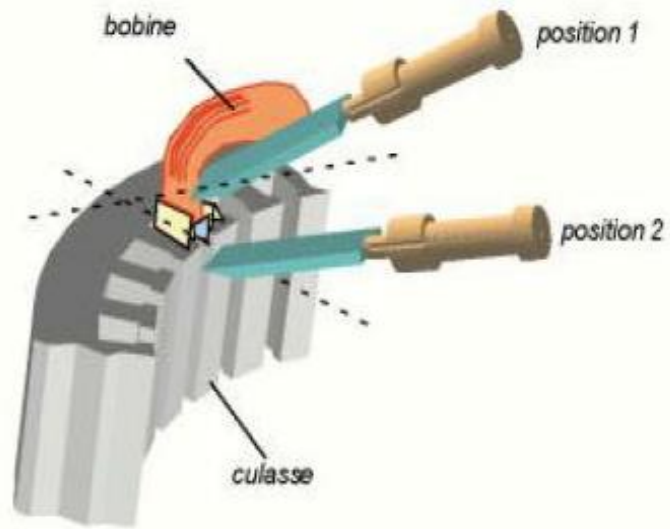
bobinage en demi encoche

III.4 Retrait des têtes de bobines

Une fois que les repérages du bobinage d'origine sont fait couper les têtes de bobines à l'aide d'un ciseau de menuisier et d'un marteau.

La première découpe servira à dégrossir le travail dans le but de retirer la tête de bobines (si possible entière) : il faut faire une première découpe bien au-dessous des encoches (voir position 1).

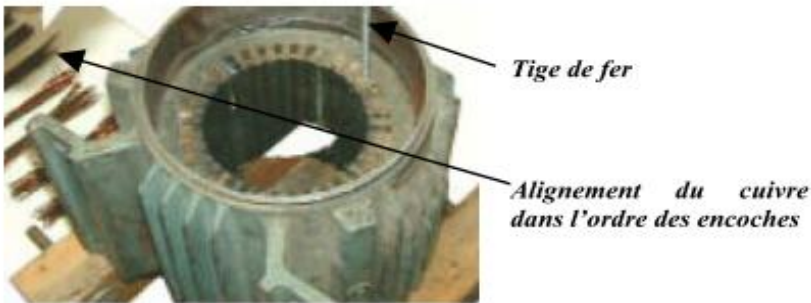
Une fois la tête de bobines retirée,
on coupe les fils à la limite
des encoches sans
abimer la (voir position 2).



Après avoir retiré la première tête de bobines il est recommandé d'essayer de chasser le cuivre au marteau avant de couper la seconde tête de bobines. Si cette opération est difficile il faut brûler l'imprégnation et retirer le cuivre à la pince.

III.5 Retrait du cuivre dans les encoches

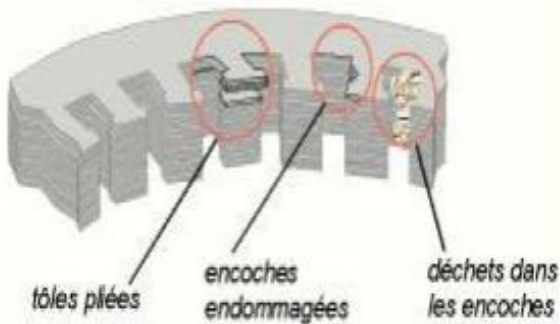
Pour retirer le cuivre qui se trouve dans les encoches, il faut le frapper à l'aide d'une tige et d'un marteau. Si l'imprégnation empêche le retrait, il peut être nécessaire de brûler le contenu des encoches à l'aide d'un chalumeau.



Au fur et à mesure que le cuivre est retiré de l'encoche, il sera aligné, dans l'ordre des encoches afin de pouvoir compter le nombre de brins de cuivre que contenait chaque encoche, car il existe parfois de différences entre les d'encoches.

Si l'on retire le cuivre avec une pince, il faut veiller à ne pas endommager les guides des flasques.

Pour terminer, il faut nettoyer toutes les encoches en retirant tous les déchets puis remettre en place les Tôtes pliées et limer les encoches endommagées par le ciseau lors de découpe du cuivre.

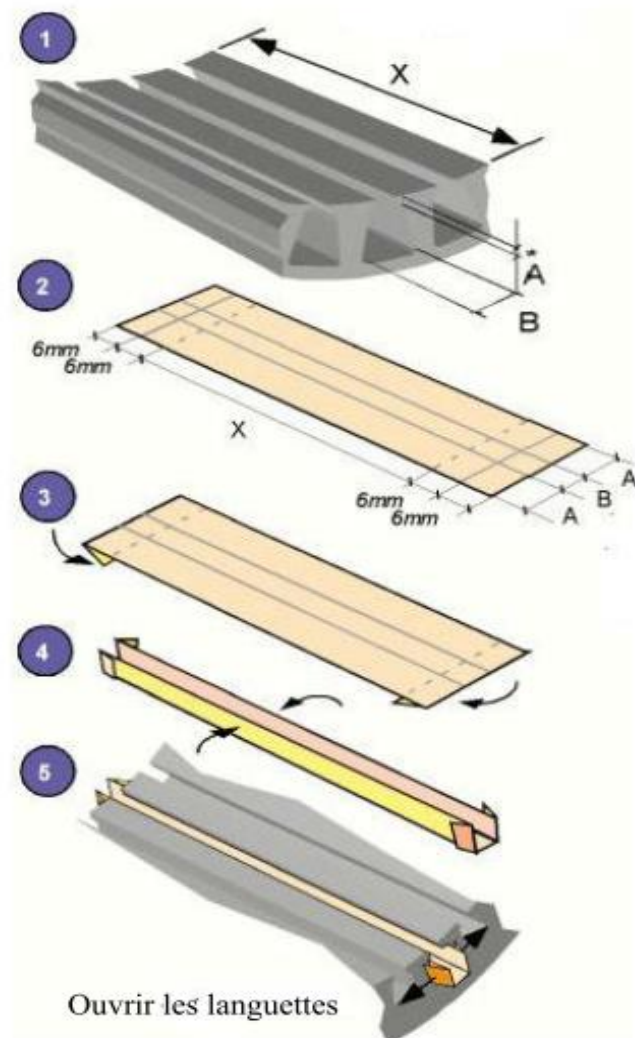


III.6 Confection et montage de l'isolation d'encoche

Pour isoler électriqulement la culasse des bobines qui seront traversées par le courant, nous devons monter des isolations d'encoche.

Il existe plusieurs qualités d'isolants. Chaque qualité correspond à une classe que l'on retrouve sur la plaquette du isolants sont vendus préformés (exemple : milar), il n'est donc pas nécessaire de faire les opérations de pliage montrées ci-dessous mais simplement de les couper de longueur ($x + 12\text{mm}$).

*l'isolation d'encoche ne doit pas être aussi haute que l'encoche.



montage d'une isolation d'encoche

Avertissement : Certains isolants à base de cellulose (carton) absorbent l'humidité et peuvent être attaqués par de petits animaux.



Moteur équipé de ses isolations d'encoche

III.7 comptage du nombre de fils par encoches

Lorsqu'on compte le nombre de fils qui se trouvent dans chaque encoches, il ne faut par perdre de vue que :

1) Toute les encoches n'ont pas forcément le même nombre de fils;

2) Il est possible qu'il y aie plusieurs sections de fils dans une même encoches;

3) La section du fil peut avoir été obtenue en mettant plusieurs fils en parallèle.

Exemple : en lieu et place d'un fil de 0.7 mm, on a place deux fils de 0.5 mm en parallèle.

Ce que donne environ la même section totale.

III.7.1 Comment reconnaître cette situation : observer combien de fils sont brases ensemble

un fil provenant d'une bobine



diamètre (d)
0.7mm
section (A)
 0.3849mm^2

Deux fils provenant d'une même bobine



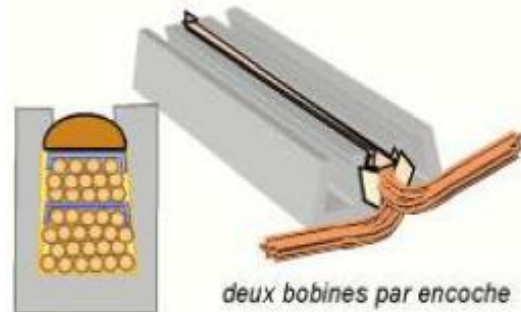
Diamètre(d)
 $2 * 0.5 \text{ mm}$
Section (A)
 0.3849mm^2

4) il peut y avoir plus d'une bobine par encoche :

III.7.2 Comment reconnaître cette situation : Observer les deux têtes de bobines du moteur



Plusieurs bobines par encoche peut dire :



- a) bobinage standard adapté à la place disponible
- b) moteurs spéciaux ou à plusieurs vitesses

III.8 Mesure et choix des fils

La mesure du diamètre se fera à l'aide d'un micromètre ou d'un calibre la précision est au minimum du 1/10 de millimètre.



L'épaisseur de la laque isolante pouvant varier suivant les fournisseurs de fils, Il est nécessaire de la retirer pour mesurer le diamètre effectif du cuivre (Cu).

On retire la laque en la brûlant au chalumeau, éventuellement en la grattant avec un cutter (couteau).



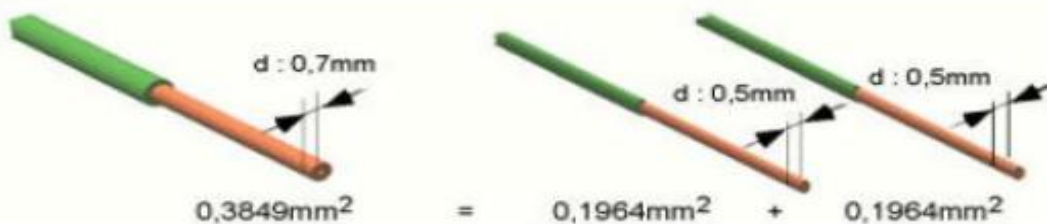
Formule : $A = \pi * (d / 2)^2$

Exemple : $A = 3.14159 * (0,7 / 2)^2$
$A = 3.14159 * 0.35^2$
$0,3849 \text{ mm}^2 = 3.14159 * 0.125$

Recherche de la section du fil a l'aide d'une tabelle :

Il existe des tabelles qui donnent la section des fils en fonction de leur diamètre.

Si l'on n'a pas la bonne section de fil ou que l'on a des difficultés a placer un fil gros dans les encoches, il est possible de placer plusieurs fils en parallèle dont la section totale correspond a la section du fil d'origine.



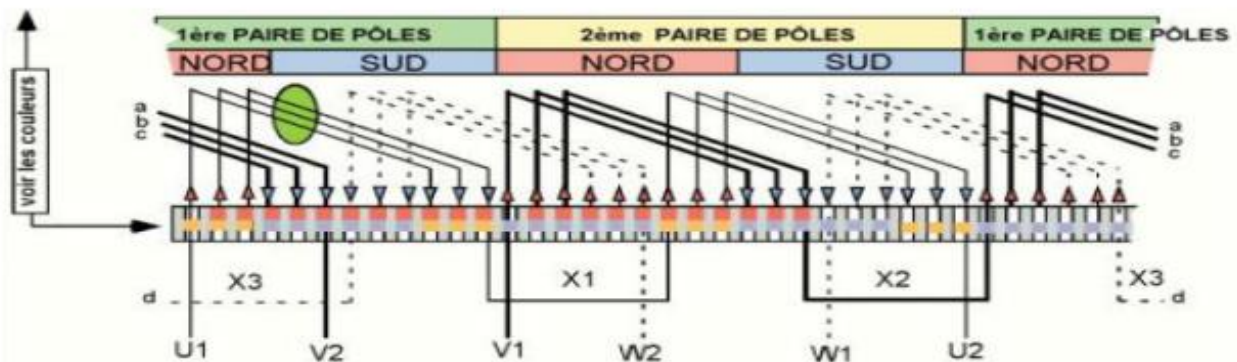
III.9 Tabelle des fils à bobiner les plus courants

Fil					
européen		américain			
diamètre d (mm)	section indicative (mm ²)	appellation AWG	diamètre d (mm)	section indicative (mm ²)	diamètre du fil en pouce (inch)
0,125	0,01226				
		36	0,127	0,01266	0,0050
0,140	0,01539	35	0,14	0,01539	0,0056
0,160	0,02011	34	0,16	0,02011	0,0063
0,180	0,02545	33	0,18	0,02545	0,0071
0,200	0,03142	32	0,2	0,03142	0,0080
0,224	0,03946				
		31	0,226	0,04010	0,0089
0,250	0,04909				
		30	0,254	0,05060	0,0100
0,280	0,06158	29	0,28	0,06158	0,0113
0,315	0,07803				
		28	0,32	0,08030	0,0126
0,355	0,09911				
		27	0,36	0,10170	0,0142
0,400	0,12570	26	0,4	0,12570	0,0159
0,450	0,15900	25	0,45	0,15890	0,0179
0,500	0,19640				
		24	0,51	0,20410	0,0201
0,560	0,24663				
		23	0,57	0,25500	0,0226
0,630	0,31215				
		22	0,64	0,32150	0,0253
0,710	0,39646				
		21	0,72	0,40690	0,0285
0,750	0,44180				
0,800	0,50270				
		20	0,81	0,51000	0,0320
0,850	0,56750				
0,900	0,63620				
		19	0,91	0,65000	0,0359
1	0,78540				
		18	1,02	0,81670	0,0403
1,060	0,88368				
1,120	0,98655				
		17	1,15	1,03800	0,0453
1,180	0,98303				
1,250	1,22886				
		16	1,29	1,30000	0,0508

III.10 Calculs pour le rebobinage

Données de base

Vitesse de rotation : 1500 RPM	=	nombre de pôles	: 4
Nombre tot. D'encoches : 36		nombre de phases	: 3
A) nombre de pôles 4 :	2	=	2 nombre de paires de pôles
B) nombre de d'encoches paires de phase :			
nombre d'encoches	: 36	:	nombre de phases 3 : nombre d'encoches par phase 12
C) Nombre d'encoches vides par pas :			
Nombre d'encoches par phase :	nombre paire de pôles	=	nombre d'encoches vides par pas
12	:	4	= 3 nombre d'encoches vides par pas
D) Nombre de bobines en série par phase :			
Nombre d'encoches par phase :	nombre de pôles	=	nombre de bobines en série par phase
12	:	4	= 3 nombre bobines en série par phase
B) nombre d'encoches vides entre les entrées de phases :			
(nombre bobines en série * 4) - 1 = nombre d'encoches vides entre entrées de phases			
(3 * 4) - 1 = 11			
Pour note exemple : entre l'entrée U1 et l'entrée V1 nous avons 11 encoches vides			
: entre l'entrée V1 et l'entrée U1 nous avons 11 encoches vides			



Le repérage avec les couleurs a été fait pour la phase U1 – U2 seulement, il va de soi qu'il peut être fait pour les autres phases.

Pour déterminer les pôles, nous avons pris une situation instantanée (le courant entre U1 , V1 et W1) car il y a toujours deux phases entrantes et une sortante. Dans la réalité, il y a une succession d'instantanées durant lesquels les entrées et sorties de courant changent continuellement (fréquence du réseau ex : 50 Hz)

III.11 Calcul d'un bobinage pour une nouvelle tension

Tension d'origine : 220V nouvelle tension : 400V
nombre de spires d'origine par encoche : 46 diamètres du fil d'origine : 0.85mm

A) Recherche de la section du fil d'origine :

a l'aide de la table (voir page : table des fils a bobinage les plus courants) :

diamètre = 0.85 mm section correspondante = 0.5675 mm²

$$A = 3.1416 * (d/2)^2$$

$$A = 3.1416 * (0.85 \text{ mm} / 2)^2 = 0.5675 \text{ mm}^2$$

B) Nouveau nombre de spires pour la nouvelle tension :

Nouvelle nombre de spires = $\frac{\text{nombre de spires d'origine} \times \text{nouvelle tension}}{\text{tension d'origine}}$

$$83.63 \text{ spires} = \frac{46 \text{ spires} \times 400 \text{ V}}{220 \text{ V}}$$

C) Section du fil pour la nouvelle tension :

$\text{section fil nouvelle tension} = \frac{\text{section fil d'origine} \times \text{tension d'origine}}{\text{nouvelle tension}}$

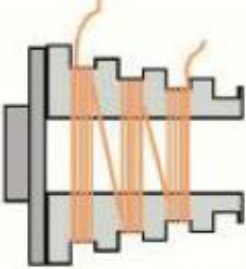
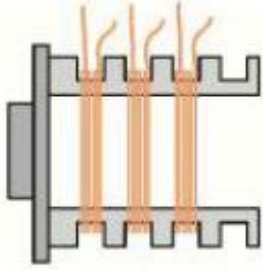
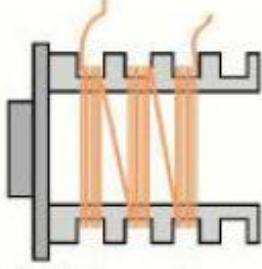
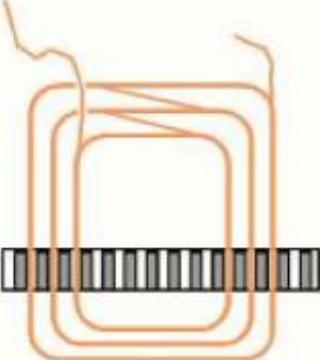

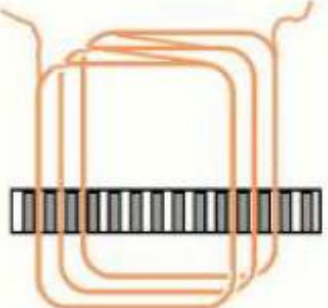
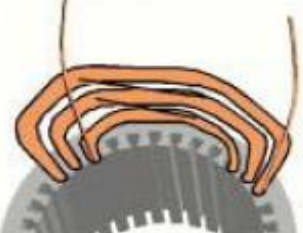


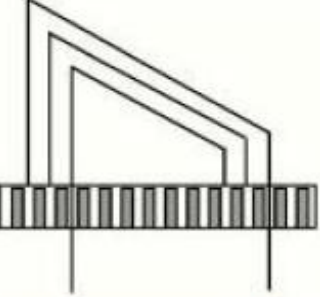
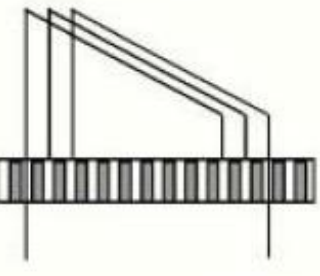
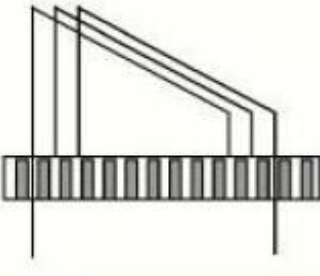
$$0.3121 = \frac{0.5675 \times 220}{400}$$

D) Choix du fil :

Nouvelle section : 0.3121 mm² Sur la table, la section la plus proche de 0.3121 mm² est : 0.31215 mm² pour le fil européen (diamètre : 0.630 mm)

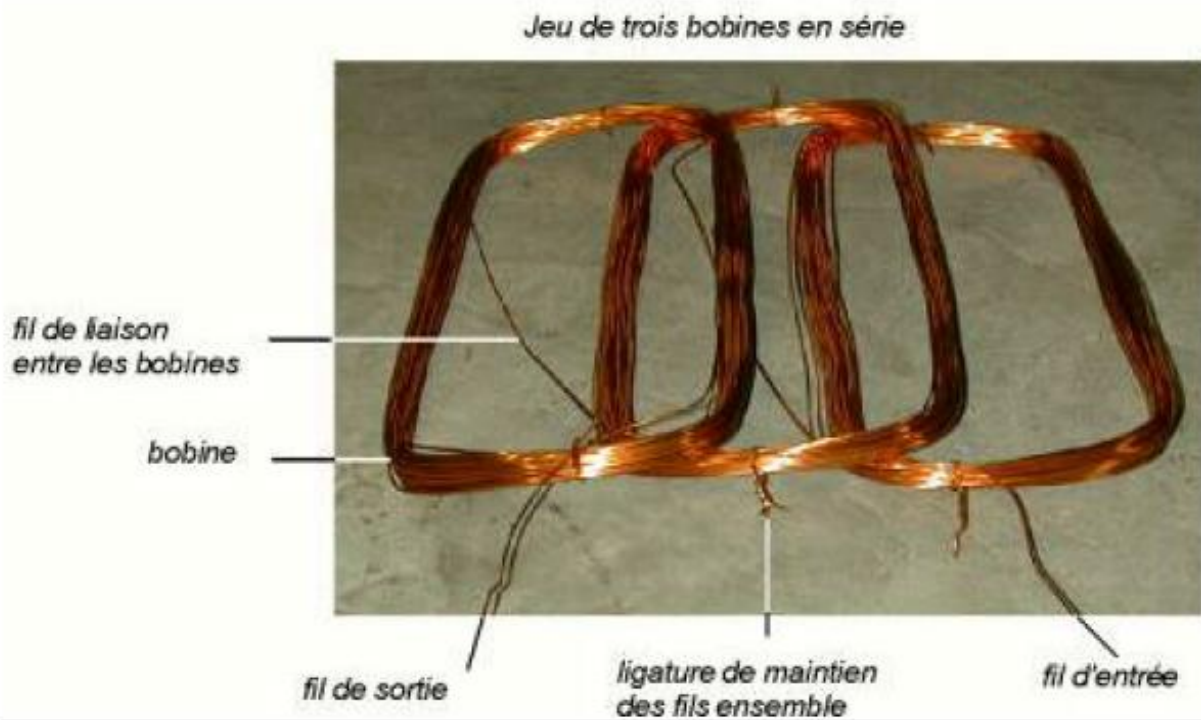
Remarque : au cas où la section se trouve entre deux valeurs standards de fils, il est préférable de prendre la section standard de valeur inférieure (moins de courant et moins de place dans les encoches).

III.12 Les sortes de bobinages en série

remarques	<p>trois bobines de hauteur différente et en série</p> <p>soin dans le montage attention au sens pendant le montage dans les encoches</p> <p>tête de bobines haute</p>	<p>trois bobines séparées</p> <p>beaucoup de brasage attention aux combinaisons de fils pendant le brasage</p> <p>tête de bobines large</p>	<p>trois bobines identiques en série</p> <p>soin pendant le montage dans les encoches attention au sens de montage</p> <p>tête de bobines large</p>
bobines terminées sur le gabarit de bobinage	 <p>gabarit étagé</p>	 <p>gabarit à un niveau</p>	 <p>gabarit à un niveau</p>
bobines à la sortie du gabarit de bobinage			
position dans les encoches			
représentation schématique			

III.3 Confection des bobines sur le tour

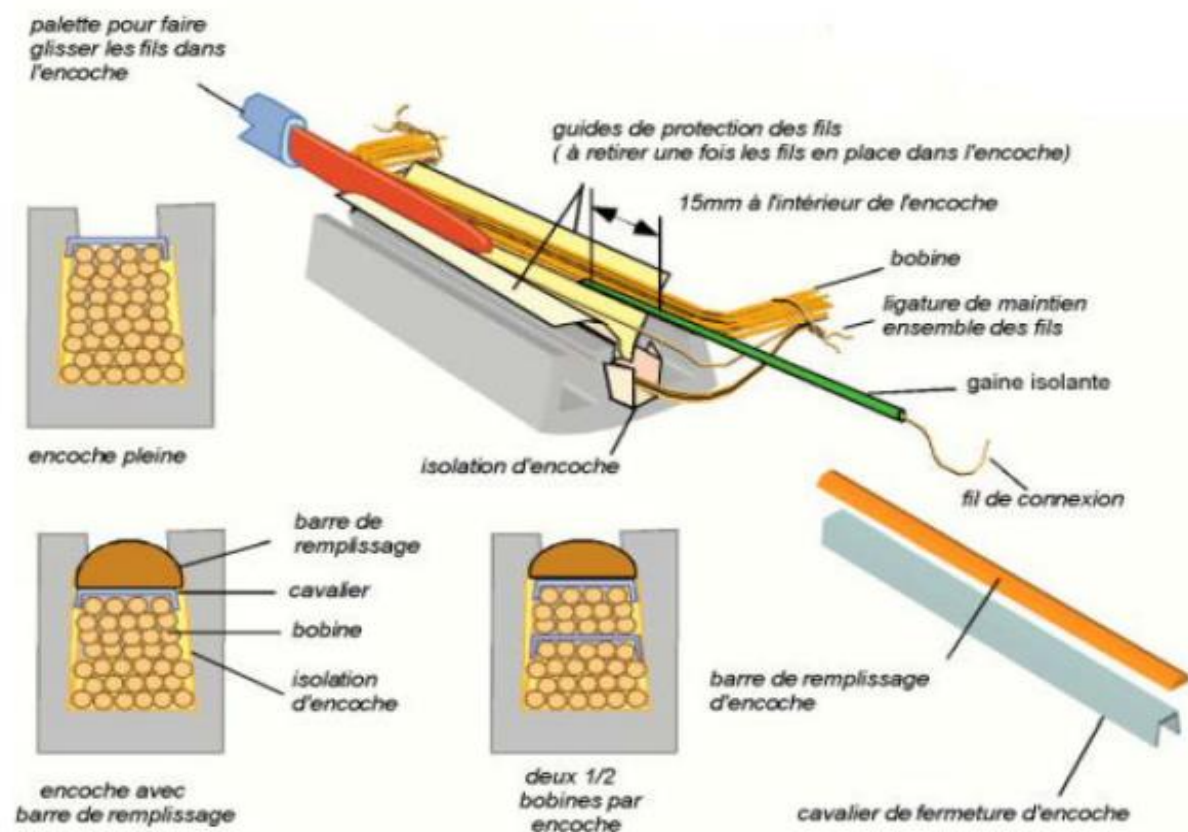
1. le nombre de spires par bobine.
2. la section du fil.
3. la position ou les fils de liaison changent de bobine.
4. une réserve de longueur pour les fils d'entrée e de sorte.
5. essayer d'aligner au mieux les fils dans le gabarit (facilite le montage ultérieur des bobines dans les encoches).
6. mettre des ligatures pour maintenir les fils ensemble.



III.14 Montage des bobines dans les encoches

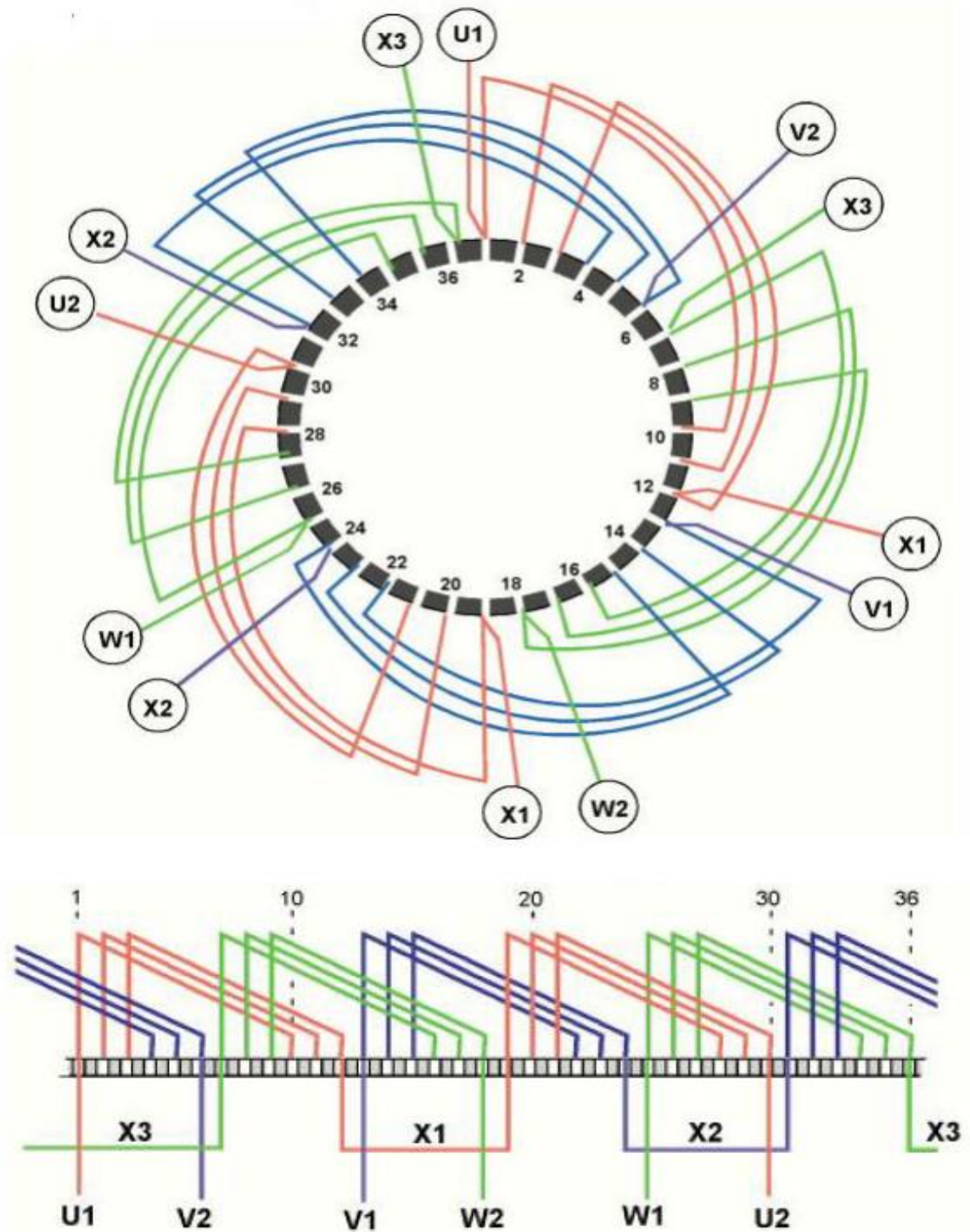
Pour placer les bobines dans les encoches, il faut être très attentif et tenir compte des points suivants :

- 1 ne pas endommager le fil pendant le montage.
- 2 veiller à ce que les fils de connexion soient placés du côté où se trouve la plaque à bornes.
- 3 être attentif au nombre d'encoches à laisser vides entre l'entrée et la sortie d'une bobine.
- 4 lorsqu'il y a plusieurs bobines en série, veiller à les monter dans le bon sens.
- 5 penser à appliquer la méthode de montage qui assure une symétrie dans la position des bobines.



III.15 Moteur asynchrone 2 pôles à 36 encoches 3000 RPM

La vitesse : 3000 RPM à 50 Hz



III.16 Methode brobose

III.16.1 Enroulements des machines à courant alternatif :

I : paramètres de tout enroulement électrique

Z : n^{bre} déncoches

2P : n^{bre} de poles (2P : nombre de groupe pas phase)

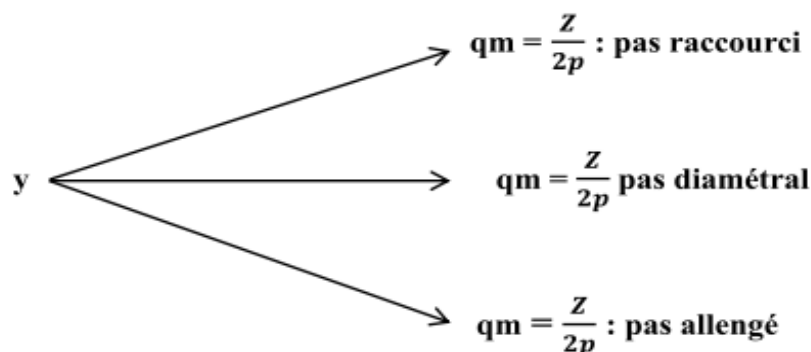
P : nombre de paires de poles

m : nombre de poles de phases

q : nombre d'encouches par pole et par phase $q = \frac{Z}{2qm}$

τ : le pas polaire ou le pas d'une section la distance entre 2 lignes neutres consécutif

y : le pas dénroulement nombre déncouches par section



β : le pas relatif $\beta = \frac{y}{\tau}$ il est recommande d'avoir les valeurs suivantes pour : $2p = 2 \quad \beta = 0.67$

$2P \geq 4 \quad \beta = 0.83$

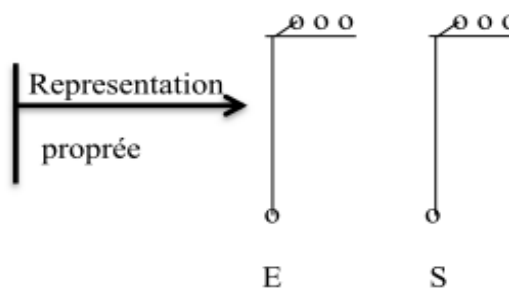
.16.1 nombre de branche barallele (pour diminues les chutes de tension)

le groupe peut être compose de :

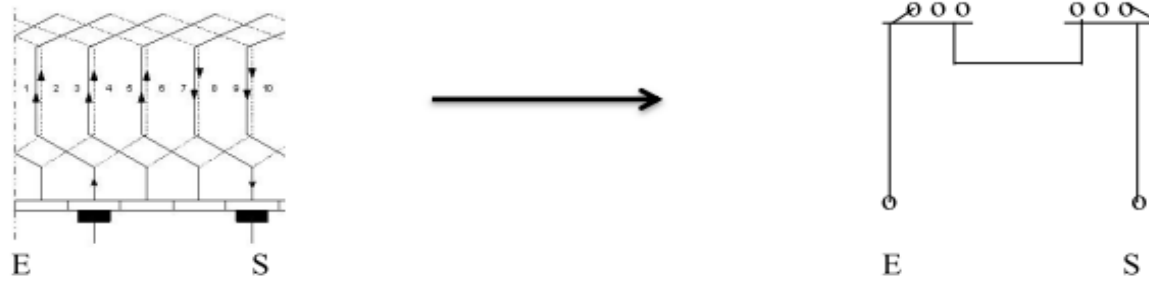
III.16.1.1 Bobines concentriques reliées en série



Représntation
classique

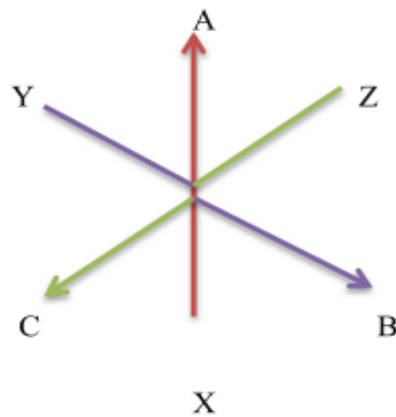


III.16.1.2 Bobines identiques ou "section" reliées en série

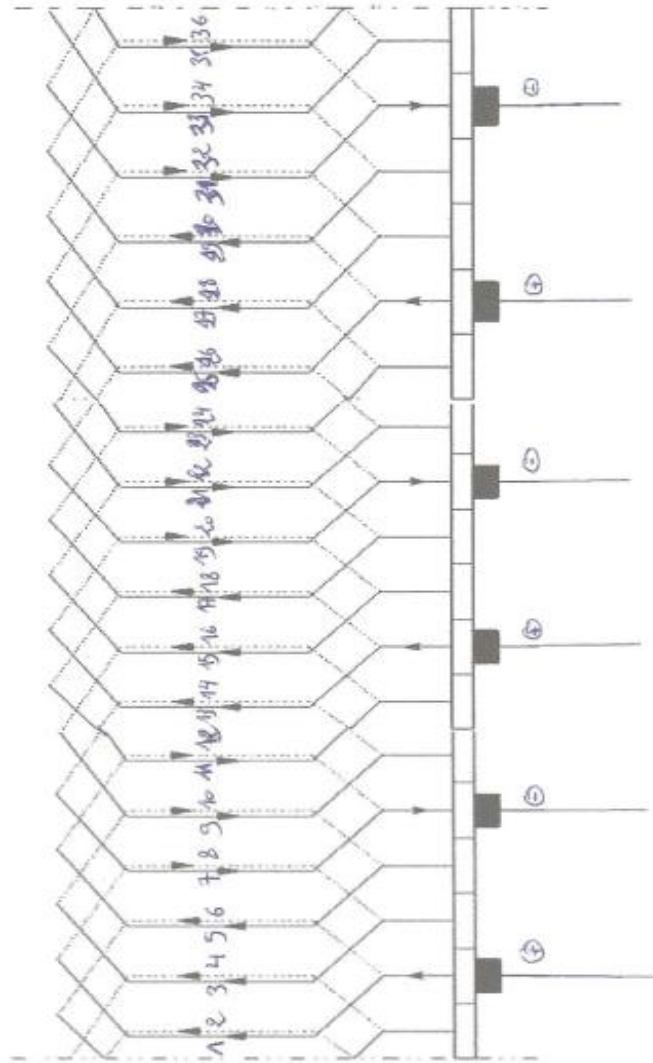


III.16.2 Enroulement à 1 couche pôle coséquent (ondulé)

l'étoile de phase : étoile de phase détermine une paire de pôles ($p = 1$), pour $p = k$ il faut répéter K fois



- 1- Ce type déroulement possède toujours 1 pas déroulement le pas laire $y = \tau$
- 2- le groupe constitué de bobines identiques.



III.16 Conclusion

Les machines traditionnelles à courant alternatif, qu'elles soient asynchrones ou synchrones, sont toutes constituées d'un bobinage statorique comme décrit dans ce qui précède. L'étude de ces enroulements montre qu'un bobinage réparti avec ou sans raccourcissement de pas permet d'obtenir des ondes très sinusoïdales dans l'entrefer.

Le calcul analytique des performances des machines traditionnelles est rendu assez simple. On ne prend alors en compte que les ondes fondamentales se trouvant dans l'entrefer en négligeant les effets des harmoniques d'espace : c'est l'hypothèse du premier harmonique.

Même si la majeure partie des machines alternatives utilise un bobinage traditionnel, il existe d'autres types de bobinages :

- bobinage radial par rapport au moteur pour les machines à flux transverse
- bobinage sur encoches pour les moteurs à reluctance variable

Conclusion générale

Dans cette étude, on a recensé toutes les structures de bobinage sur dents respectant la condition de non croisement de phase, tout en ayant au maximum 4 bobines par phase. On a également développé un modèle de calcul de la force magnétomotrice (fmm) triphasée résultante qui peut s'appliquer à un bobinage.

L'étude des différents bobinages sur dents a mis en avant une structure maximisant le fondamental de fmm : c'est la solution de base. Cette structure crée une fmm dont le contenu harmonique est identique mais deux fois plus petite en amplitude que le stator bipolaire à pas diamétral à une encoche par pôle et par phase à volume de conducteurs identique.

En bon traité avec l'application de ce que nous avons étudié dans ce travail sur l'enroulement du moteur en fonction des caractéristiques et des exigences de la vitesse et de puissance.

Références

- [1] A. ABOU AKAR, « Modélisation des moteurs asynchrones triphasés à cage », Thèse de doctorat, Université Claude Bernard- Lyon I, 1991
- [2] P-L. ALGER, « The nature of induction machine », Gordon & Breach Science Publisher Inc., 1965
- [3] Albert FOGGIA et Christian CHILLET «MACHINES À INDUCTION BOBINÉE SUR DENTS » THESE pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'INPG
- [4] <http://www.codeart.org/>
- [5] www.notices-pdf.com/cours-gratuit-de-rebobinage-des-moteurs-asynchron/