



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machines Electriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Gobbi Bader

Le : lundi 8 juillet 2019

Etude comparative des enroulements des machines à courant continu

Jury :

| | | | |
|--------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Mme. Rahoua Naima | MAA | Université de biskra | Présidente |
| M. Titaouine Abd Ennacer | Pr | Université de biskra | Encadreur |
| Mme. Guergazi Aicha | MCA | Université de biskra | Examinatrice |



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machines Electriques

Présenté et soutenu par :
Gobbi Bader

Le : lundi 8 juillet 2019

Etude comparative des enroulements des machines à courant continu

Présenté par :
Gobbi Bader.

Avis favorable de l'encadreur :
Pr Titaouine Abd Ennacer

Avis favorable du Président du Jury

Mme.Rahoua Naima

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث 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 : Machines électriques

Thème :

Etude comparative des enroulements des machines à courant continu

Proposé et dirigé par :

Pr Titaouine Abd Ennacer

RESUME

Dans ce travail, nous avons présenté l'étude de la machine à courant continu par la modélisation et la simulation ainsi qu' une étude comparative des deux types d'enroulement des induits (imbriqué et ondulé).

REMERCIEMENTS

*Dieu merci de m'avoir permis d'atteindre ce stade
de connaissance et de réussir dans les études*

*Je tiens à remercier ma famille d'abord pour leur
soutien durant tous mon cursus d'étude*

*Je remercie mes enseignants Mr Titaouine et Mr
Ben Meddour pour ce mémoire et son aide et ça
compréhension*

*Je remercie mes enseignants chacun dans sa
spécialité pour le savoir précieux qui mon transmet*

Je remercie mes amis intimes qui m'ont soutenu

*Je remercie également toute la famille de
l'électrotechnique de l'université de Biskra.*

Gobbi bader

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail en guise d'amour, de respect et de reconnaissance :

Aux deux être les plus chers au monde, ma mère et le défunt mon père,

Ma femme baya et mes enfants rodina et yahia

pour leurs soutien, sacrifice, patience, ainsi pour leurs conseils dont ils ont fait preuves pour m'avoir à la première réussite dans ma vie, que dieu les protèges et les entoure de sa bénédiction.

A mes très chers frères et sœur

votre soutien réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuves.

A tous mes proches et mes amis sans exception

A ce que j'aime et qui m'aiment et qui me sont très chers.

GobbiBadd

Resume

RESUME

Le travail présenté dans ce mémoire traite une mise en œuvre l'étude comparative des enroulements des machines à courant continu avec un cas pratique est la maintenance d'une machine à courant continu à excitation compound.

Ce travail est consacré à l'étude du choix du bobinage d'induit. Il représente l'un des points essentiels de la construction d'une machine. À travers une étude bibliographique, nous rassemblons l'ensemble des différentes topologies de bobinage possible (les enroulements imbriqués et ondulés) pour la machine à courant continu avec des exemples. De plus, nous soulignons la similitude et les différences entre ces deux types de bobinages.

(Mots clés) –machine à courant continu-enroulements imbriqués enroulement ondulé-modèle électrique de machine à courant continu.

ABSTRACT

The work presented in this thesis deals with a comparative study of the windings of DC machines with a practical case is the maintenance of a DC machine with compound excitation.

This work is devoted to the study of the choice of the armature winding.

It represents one of the essential points of the construction of a machine. Through a bibliographic study, we gather all the different topologies of possible winding (nested and corrugated windings) for the DC machine with examples. In addition, we emphasize the similarity and differences between these two types of windings.

(Keywords) - DC machine-windings nested wavy winding-DC machine electric model.

ملخص

تناول العمل المقدم في هذه المذكرة دراسة مقارنة لفائف آلة التيار المستمر مع نمذجة لآلة التيار المستمر. هذا العمل مكرس لدراسة اختيار لف حديد التسليح. إنها تمثل واحدة من النقاط الأساسية لبناء الآلة. من خلال دراسة بيليوغرافية ، نجمع جميع طوبولوجيا اللف المختلفة (اللفات المتداخلة والمموجة) لجهاز التيار المستمر مع أمثلة ، وعلاوة على ذلك ، نؤكد التشابه والاختلاف بين هذين النوعين من اللفات .

كلمات المفتاحية اللفات ذات التيار المتناوب - اللف المموج - اللفائف الكهربائية لآلة التيار المستمر.

NOMENCLATURE

Nomenclature

$2p$: Nombre de pôles.

B : L'induction magnétique en (weber).

P : Nombre de pair de pôles.

a : Nombre de paires de voies d'enroulement.

N : Nombre total d'encoches.

F : Nombre de faisceaux utilisés.

y_1 : Symbole du pas partiel, ou pas de la section.

y_2 : Symbole du pas partiel, ou pas dans le champ.

Y_c : Désigne le pas au collecteur dans un enroulement ondulé.

K : Nombre de lames au collecteur.

U : Nombre d'enroulements en parallèle dans un bobinage.

$d\vec{F}$: C'est l'effort élémentaire appliqué au conducteur.

I : Le courant en (A).

\vec{F} : Une force mécanique (force de la PLACE).

Φ : Le flux magnétique en (weber)

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste notations et symboles

Table des matières

Liste des figures

| | |
|--|---|
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre 1 : Généralités sur la machine à courant continu | |
| Introduction | 1 |
| I.1. Définition des composants de la machine à courant continu | 3 |
| I.1.1.Inducteur de la machine à courant continu : | 3 |
| a. L'ensemble inducteur | 3 |
| b. La culasse de l'inducteur..... | 3 |
| c. Les noyaux polaires..... | 4 |
| d. description organique et fonctionnel..... | 4 |
| e. Les bobines inductrices | 4 |
| f. L'isolement | 5 |
| g. Liaison entre les différentes bobines inductrices | 5 |
| h. pôles auxiliaires | 6 |
| i. rôle des pôles auxiliaires | 6 |
| j. Enroulement de compensation magnétique d'induit | 6 |
| I.1.2.Induit de la machine à courant continu | 7 |
| I.1.2.1. Le tambour d'induit | 7 |
| a. Constitution | 7 |
| b. Le collecteur | 7 |
| c. Les balais | 8 |

| | |
|--|----|
| I.2. Principe de fonctionnement des machines à courant continu..... | 9 |
| I.2.1. Principe de fonctionnement des générateurs à courant continu..... | 9 |
| I.2.2. Principe de fonctionnement des moteurs à courant continu | 11 |
| I.3. Problème particuliers des machines à courant continu..... | 12 |
| I.3.1. Problème de commutation..... | 12 |
| I.3.2. Phénomène de réaction magnétique d'induit | 12 |
| I.4. Modes d'excitation..... | 12 |
| I.4.1. Excitation séparée..... | 12 |
| I.4.2. Excitation shunt ou parallèle..... | 13 |
| I.4.3. Excitation série..... | 13 |
| I.4.4. Excitation composé ou compound..... | 14 |
| Conclusion..... | 15 |

Chapitre 2 : Etude des enroulements imbriqués et ondulés

| | |
|---|----|
| Introduction | 17 |
| II.1. Bobinages des machines à courant continu..... | 17 |
| II.2. Etude des enroulements imbriqués..... | 18 |
| II.2.1. Conditions nécessaires pour obtenir un enroulement rationnel..... | 18 |
| II.2.2. Section de bobinage..... | 18 |
| II.2.3. Caractéristiques des enroulements imbriqués | 19 |
| II.2.4. Calcul le pas d' enroulement..... | 21 |
| II.2.5. Calcul des pas d'un enroulement imbriqué..... | 22 |
| II.2.5.1. Cas de $(F/2p)$ fractionnaire ou impair..... | 23 |
| II.2.5.2. Exemple d'application d'un enroulement imbriqué..... | 24 |
| II.2.6 Exécution d'un schéma panoramique..... | 24 |
| II.2.7. Les enroulements imbriqué multiples..... | 25 |
| II.2.7.1. Principe..... | 25 |
| II.2.7.2. Bobinage parallèle double..... | 25 |
| II.2.7.3. Caractéristiques d'un enroulement parallèle double..... | 26 |
| II.3. Étude des enroulements ondulés..... | 26 |
| II.3.1. Caractéristiques des enroulements ondulés..... | 26 |

| | | |
|---|---|----|
| II.3.2 | Calcul des pas d'un enroulement ondulé..... | 27 |
| II.3.3. | Différents types d'enroulements ondulés..... | 28 |
| II.3.3.1. | Enroulement ondulé série simple..... | 28 |
| a. | Exemple d'enroulement ondulés, série simple..... | 28 |
| b. | Calcul des pas..... | 28 |
| c. | Choix des coposants..... | 28 |
| II.3.3.2. | Enroulement ondulé série – parallèle : avec $2a < 2p$ | 29 |
| a. | Exemple d'application d'un enroulement ondulé série-parallèle $2a < 2p$ | 29 |
| b. | Calcul des pas..... | 30 |
| c. | Calcul du pas collecteur..... | 30 |
| | Conclusion..... | 31 |
| Chapitre(3): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique) | | |
| | Introduction..... | 32 |
| III.1. | Les différents types de maintenance..... | 32 |
| III.1.1. | Maintenance curative..... | 32 |
| III.1.2. | Maintenance palliative..... | 32 |
| III.1.3. | Maintenance préventive..... | 32 |
| a. | Maintenance prévisionnelle..... | 32 |
| b. | Maintenance systématique..... | 32 |
| c. | Maintenance conditionnelle..... | 33 |
| III.2 | .Définition GMAO..... | 33 |
| III.3. | Procédure de maintenance d'un moteur à courant continu à excitation compound..... | 33 |
| III.3.1. | Réception du moteur..... | 33 |
| III.3.2. | Contrôle technique du moteur..... | 33 |
| III.3.2.1. | Contrôle électrique..... | 33 |
| III.3.2.2. | Contrôle mécanique..... | 33 |
| III.3.2.3. | Etablissement un bon sortie matériel..... | 34 |
| III.3.2.4. | Etablissement du rapport finale..... | 34 |

Table des Matières

| | |
|--|----|
| III.4.Définition du rapport d'absorption diélectrique (DAR)..... | 34 |
| III.5.Travaux pratiques..... | 34 |
| Conclusion..... | 39 |
| Conclusion générale..... | 41 |
| Références bibliographies..... | |

Liste des figures

LISTE DES FIGURES

Figure.I.1. Détail du circuit magnétique d'un moteur bipolaire à courant continu avec pôles auxiliaires.

Figure.I.2. Vue d'un pôle inducteur.

Figure.I.3. Bobine inductrice à fil rond.

Figure.I.4. Différents pôles et enroulements d'une MCC.

Figure.I.5. Constitution de tambour d'induit.

Figure.I.6. Schéma de principe de fonctionnement du système balais collecteur.

Figure.I.7. Balais et porte balais.

Figure.I.8. Recherche du sens du courant dans les conducteurs d'induit au moyen de règle des trois doigts de la main gauche pour la marche en génératrice.

Figure.I.9. Barre en translation dans le champ.

Figure.I.10. Recherche du sens de la force appliquée aux conducteurs par la règle de la main droite.

Figure.I.11. Machine à excitation séparée.

Figure.I.12. Machine à excitation shunt.

Figure.I.13. Machine à excitation série.

Figure.I.14. Machine à excitation composé.

Figure.II.1. Section de bobinage imbriqué.

Figure.II.2. Pas normale et pas allongé.

Figure.II.3. Représentation schématique des pas partiels.

Figure.II.4. Induit comportant 24 faisceaux, 12 lames au collecteur, pas arrière 7, pas avant 5, pas résultant 2

Figure.II.5. Enroulement imbriqué parallèle double (fermé simple) d'un induit de moteur à 4 pôles, 15 sections, 15 lames au collecteur.

Figure.II.6. Représentation de deux sections pour un bobinage ondulé.

Figure.II.7. Schéma d'enroulement ondulé série simple.

Figure.II.8. Enroulement ondulé série parallèle.

Figure.III.1. Collecteur et balais du moteur à excitation compound.

Figure.III.2. Fil chauffé du bobine du pôle inducteur.

Figure.III.3. Inducteur du moteur à excitation compound.

Figure.III.4. Rapport finale.

Introduction générale

Introduction Générale

On appelle "machine à courant continu" des convertisseurs d'énergie électromécanique caractérisés par le fait que l'énergie électrique qu'ils échangent avec leur environnement (alimentation ou charge) se présente sous la forme de tension et de courant continu. Ceci est rendu possible par le système balais collecteur qui joue un rôle de "redresseur mécanique" et qui confie à ces machines l'appellation de "machine à collecteur". Comme toutes les machines tournante, les machines à courant continu sont réversibles et peuvent fonctionner en moteur ou en génératrice (elles sont parfois appelés "dynamo").

Ce travail est constitué de trois chapitres :
Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les machines à courant continu. Seront décrit leurs constitutions, leurs principes de fonctionnement (moteur, générateur) ainsi que leurs différents types d'excitation.
Le deuxième chapitre concerne, Etude comparative des enroulements imbriqués et ondulés.
Le troisième chapitre est consacré a connaitre les différents type des maintenance et le système de gestion de la maintenance assister par ordinateur GMAO et de la réalisation de la maintenance préventive d'un moteurs à courant continu à excitation compound.

Chapitre un
Généralité sur la machine à courant
continu

Introduction :

La machine à courant continu comme n'importe quelle machine électrique est réversible, elle peut fonctionner comme générateur et moteur. En outre les moteurs sont les plus utilisés, elle est constituée d'une partie fixe appelée stator et d'autre mobile appelée rotor. L'espace qui sépare les deux parties est l'entrefer, en défère la machine par le type d'excitation séparée, série, shunt et compound et par deux principe de fonctionnement en moteur et en génératrice.

I.1. Définition de composant de la machine à courant continu :

I.1.1. Inducteur de la machine à courant continu :

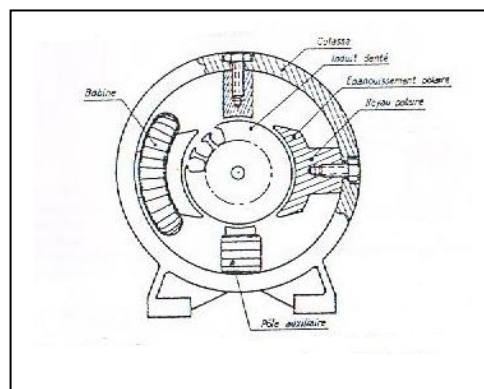
a. L'ensemble inducteur [1]:

Description : Un ensemble inducteur comprend :

- Une culasse en acier coulé.
- Des noyaux polaires.
- Des bobines inductrices.

b. La culasse de l'inducteur :

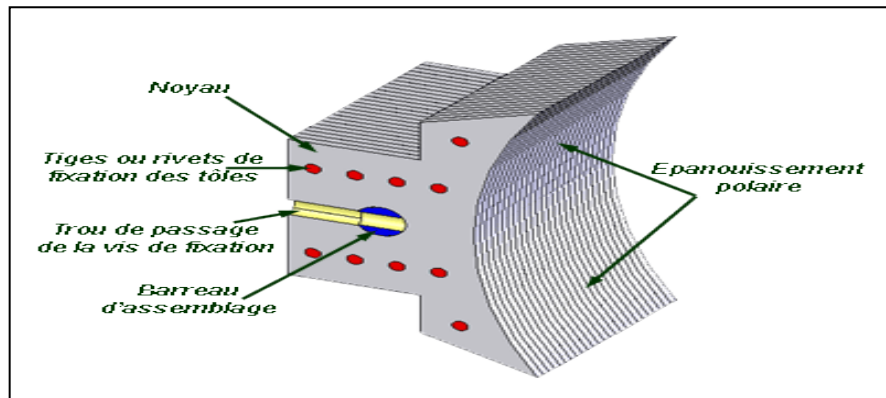
C'est elle qui ferme le circuit magnétique composé des noyaux polaires et de l'induit. la culasse sert également de support aux noyaux polaires et aux flasques qui se vissent de part et d'autre du culasse.



Figure(I.1) :Détail du circuit magnétique d'un moteur bipolaire à courant continu avec pôles auxiliaires [1].

c. Les noyaux polaires :

Ils peuvent être coulés solidairement avec la culasse, ou rapportés. Ce dernier procédé est le plus employé.



Figure(I.2) :vue d'un pôle inducteur.[1]

d. Description organique et fonctionnelle :

Les noyaux polaires rapportés sont fixés à l'intérieur de la culasse au moyen d'une ou plusieurs vis.

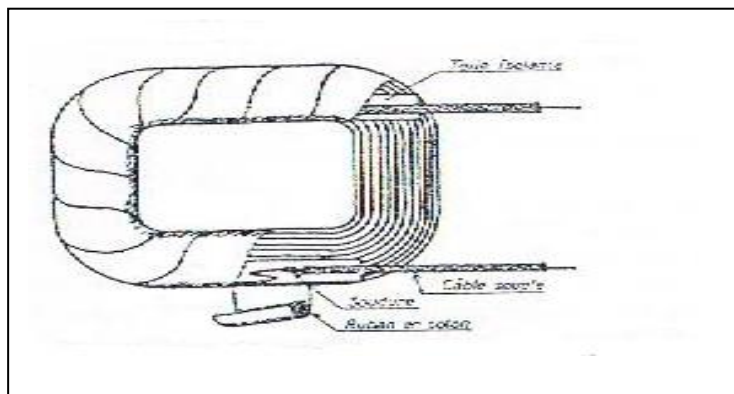
Les noyaux polaires peuvent être massifs ou feuilletés. S'ils sont massifs, les épanouissements polaires sont rapportés et vissés sur les noyaux. S'ils sont feuilletés, les épanouissements polaires font corps avec le noyau. L'ensemble est constitué par des tôles laminées 1 à 2mm d'épaisseur, assemblées et rivées. Les épanouissements polaires sont destinés à augmenter la section de passage du flux de l'inducteur à l'induit. Leur longueur d'arc correspond sensiblement aux deux tiers du pas polaires, qui est égal à 180° dans une machine bipolaire et à 90° dans une machine à quatre pôles.[1]

e. Les bobines inductrices :

Elles sont constituées par des spires de fil de cuivre destinées à produire le flux magnétique nécessaire au fonctionnement de la dynamo. L'enroulement se fait sur un gabarit, sous la forme d'une couronne, que l'on place sur le noyau polaire. Un isolement préalable de la couronne, renforcé parfois par un isolant disposé sur le noyau, doit offrir une résistance électrique suffisante contre une mise à la masse de la culasse. La section du fil et le nombre de spires enroulées varient avec l'importance de la machine et son type d'excitation, série ou dérivé.[1].

f. L'isolement

Les fils utilisés sont ronds quelquefois méplats avec arrondis aux angles pour diminuer les possibilités d'amorçage entre conducteurs et réduire les risques de coupure de l'isolant. Dans une ou la tension entre spires voisines est très faible. On peut utiliser du fil avec un seul guipage de coton, cet isolement réduit l'encombrement d'une part et l'échauffement d'autre part, du fait qu'une seule couche de coton recouvre le fil. D'une façon générale, l'isolement est constitué par deux couches de coton enroulées en sens inverse (culasse A). Pour réduire le volume des bobines, on utilise surtout du fil émaillé. Pour les machines de la culasse b, l'isolement du fil est constitué soit par deux couches de silionne (soie de verre) soit par deux couches d'amiante. Pour renforcer l'isolement entre deux couches successives, on interpose une feuille de papier, ou de T.M.P, ou de S.M.S, suivant la culasse de fonctionnement de la machine, ce renforcement d'isolement peut être mis toutes les deux ou trois couches seulement.[1].



Figure(I.3) :bobine inductrice à fil rond[1].

g. Liaison entre les différentes bobines inductrices

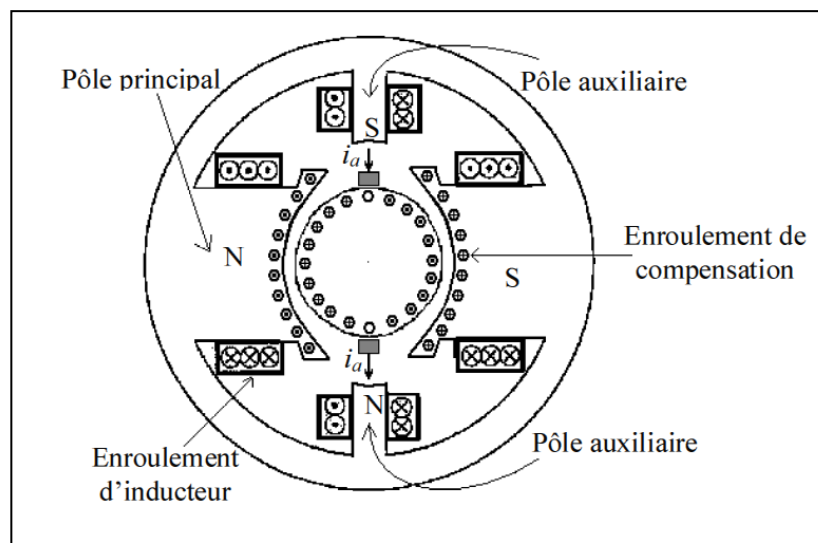
Les bobines inductrices sont généralement reliées en série. Le courant qui les parcourt doit produire des pôles magnétiques alternativement « Nord » et « Sud ».lors de la construction, les bobines sont enroulées toutes dans le même sens ; c'est au montage qu'on les relie entre elles en croisant les sorties de câbles toutes les deux bobines. Dans les machines compound, l'enroulement série est souvent placé sur la bobine excitée en dérivation, mais les bobinages sont séparés par un isolement renforcé en presspahn ou en astéroïde, puis le tout est enrubanné, passé au et étuvé.[1].

h. Pôles auxiliaires :

Dès que la machine atteint quelque importance, on installe, entre les pôles principaux, des pièces polaires étroites appelées pôles auxiliaires ou pôles de commutation. Ces pôles, placés sur la ligne neutre, comportent un enroulement de grosse section alimentée en série avec le courant d'induit, ils précèdent dans le sens de rotation du moteur, un pôle de même polarité.[1]

i. Rôle des pôles auxiliaires

Ils réduisent les étincelles aux balais, ces étincelles étant produites par le renversement du sens de courant dans les sections court-circuitées par les balais. [2]



Figure(I.4) :Différents pôles et enroulements d'une MCC [2]

j. Enroulement de compensation magnétique d'induit :

Le passage du courant dans les enroulements d'induit provoque l'apparition d'un champ magnétique transversal ayant pour conséquence de déformer les lignes de champs principales dans la machine. Ceci entraîne généralement une diminution du flux total. Pour réduire ce phénomène, on place pour de très grosses machines, dans les pôles inducteurs, des enroulements parcourus par le courant d'induit, ayant pour rôle de créer un champ antagoniste au champ transversal d'induit. Cet enroulement est disposé dans de petites encoches pratiquées à la surface des pôles principaux. On peut ainsi créer une f.é.m. exactement opposée à celle de l'induit. L'enroulement de compensation est mis en série avec l'induit. Sa résistance s'ajoute donc à la résistance d'induit.[2].

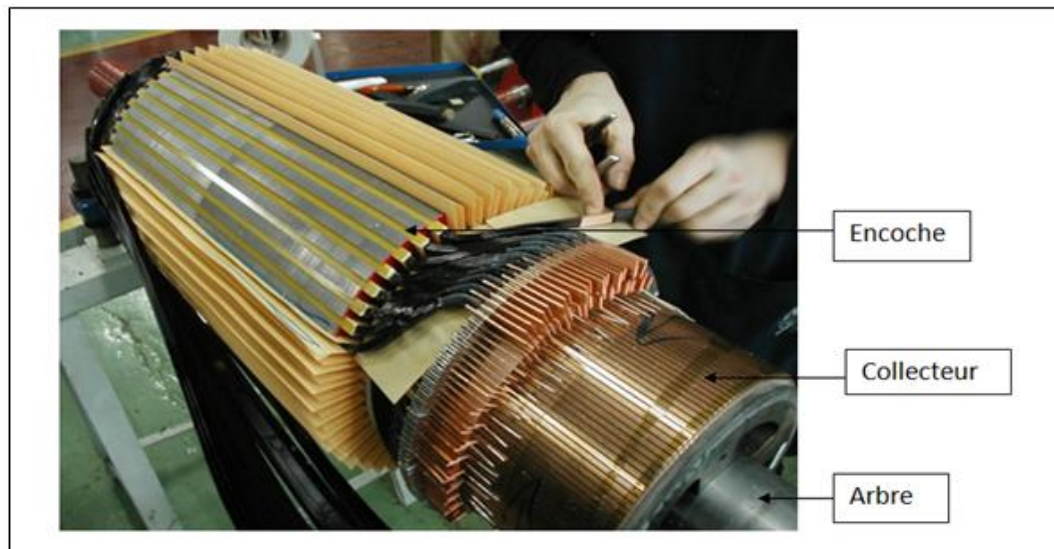
I.1.2. Induit de la machine à courant continu :

I.1.2.1. Le tambour d'induit :

a. Constitution :

Il se présente sous la forme d'un cylindre appelé **tambour d'induit**.

Le tambour est constitué par empilage de disques dentés, en tôle de (0.5) mm d'épaisseur, isolés par du vernis. La tôle de fer doux utilisée pour les disques contient (2 à 4)% de silicium, qui limite les pertes par courant de Foucault aux environs de 3 W par kilogramme de tôle.[1].

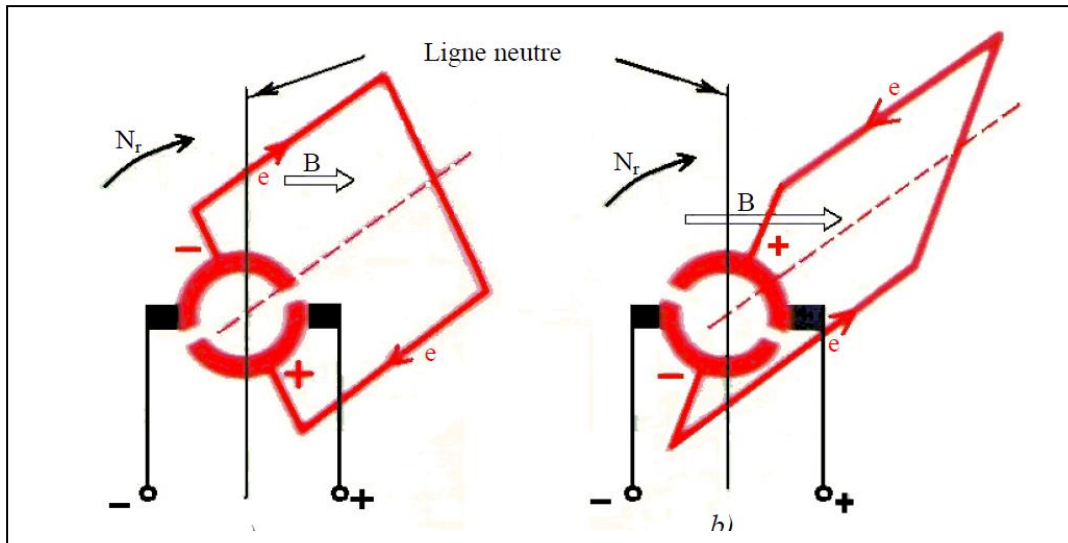


Figure(I.5) : Constitution de tambour d'induit.

b. Le collecteur : Le collecteur assure la liaison entre les conducteurs tournants et le circuit extérieur fixe. Il transforme le courant alternatif induit dans les bobinages en courant continu (fonctionnement génératrice) et le courant continu d'alimentation en courant alternatif (fonctionnement moteur).

Chapitre (01): Généralité sur la machine à courant continu

En traversant la ligne neutre, la polarité des conducteurs change ; mais, en même polarité. Lorsque la spire est sur la ligne neutre, les f.e.m. induites dans les conducteurs sont nulles et la spire est en court-circuit par les balais. [2]

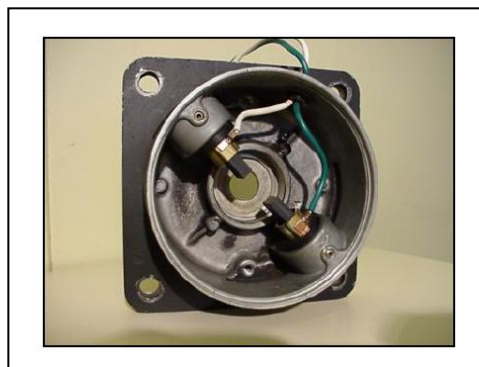


Figure(I.6) :Schéma de principe de fonctionnement du système balais collecteur.

Le collecteur est le constituant critique des machines à courant continu car ses lames sont soumises aux efforts centrifuges et assemblées manuellement. Son usure due au frottement avec les balais nécessite un démontage et un ré-usinage périodiques. De plus, il accroît de 20 à 30% la longueur totale de la machine.

c. Les balais :

Les balais sont fixes et isolés électriquement du bâti de la machine. Ils assurent la liaison électrique (contact glissant) entre la partie fixe et la partie tournante. Pour des machines de forte puissance, la mise en parallèle des balais est alors nécessaire.

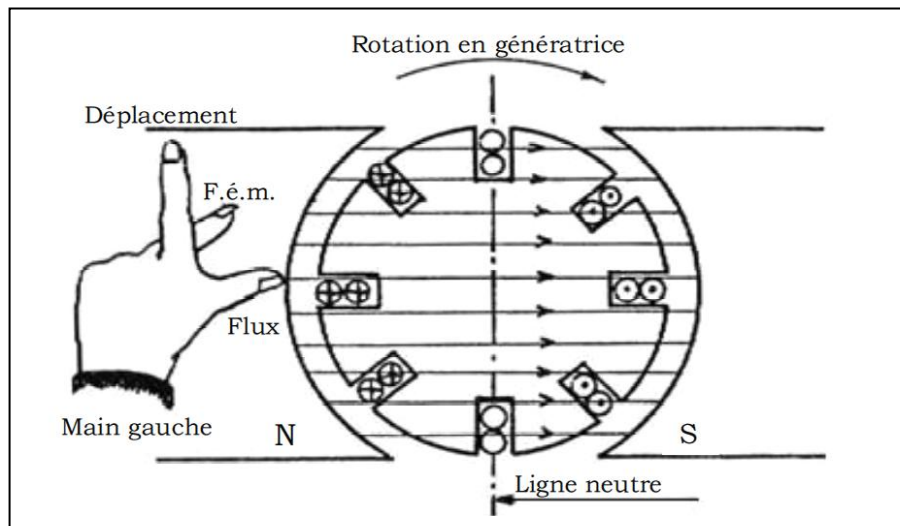


Figure(I.7) : Balais et porte balais

I.2.Principe de fonctionnement des machines à courant continu:

I.2.1.Principe de fonctionnement des générateurs à courant continu :

Lorsque un conducteur se déplace dans un champ magnétique, en coupant les lignes de ce champ, il devient le siège d'une force électromotrice induite. C'est sur ce principe que l'on a construit les générateurs à courant continu, qui comprennent un système inducteur fixe et un induit mobile. Si l'on fait tourner le cylindre, les conducteurs qu'il supporte coupent les lignes du champ magnétique produit par les inducteurs. Ces conducteurs sont le siège d'une force électromotrice induite dirigée en sens inverse de part et d'autre de la ligne neutre, comme l'indique la figure(I.8).[2]



Figure(I.8):Recherche du sens du courant dans les conducteurs d'induit au moyen de règle des trois doigts de la main gauche pour la marche en génératrice.[2]

Les forces électromotrices ainsi obtenues s'ajoutent dans les conducteurs judicieusement reliés entre eux.

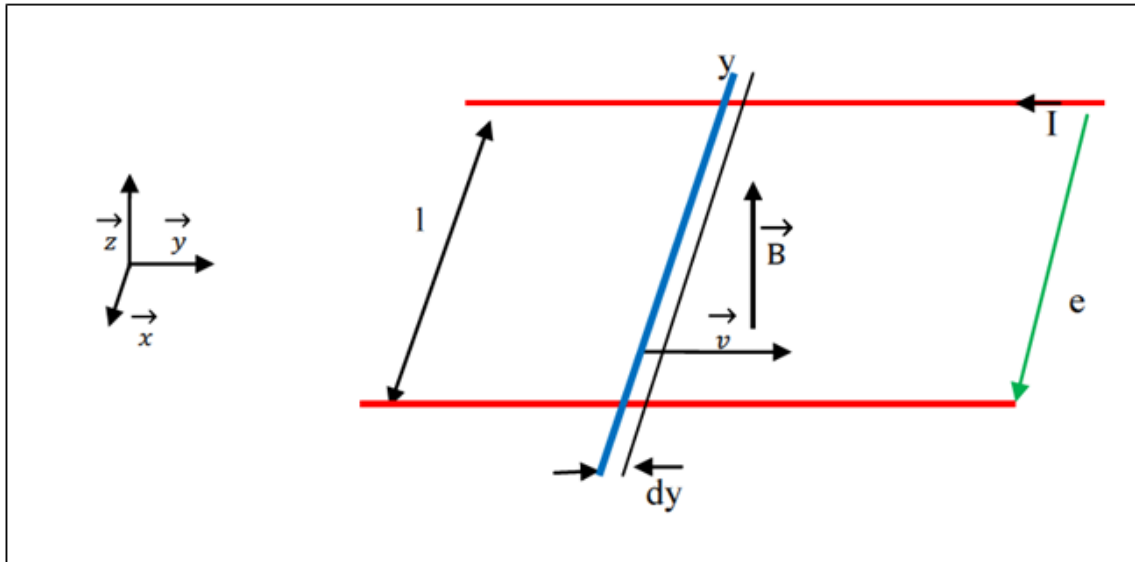
Sur la ligne neutre, les conducteurs qui s'y trouvent momentanément ne coupent plus les lignes du champ. C'est à cet endroit que le courant change de sens dans le bobinage et qu'on le recueille par l'intermédiaire du collecteur et des balais.

Pour déterminer le sens du courant dans les conducteurs d'un induit en tambour, on applique la règle dite « des trois doigts de la main gauche ».le pouce se place dans la direction du champ magnétique, l'index dans le sens de rotation de l'induit et le majeur donne le sens du courant qui circule dans les conducteurs.

Chapitre (01): Généralité sur la machine à courant continu

Voyons comment il est possible de produire de l'énergie électrique par déplacement de conducteur dans un champ magnétique :

Considérons dans un repère (i,j,k) un conducteur de longueur l , est en mouvement à vitesse constante \vec{V} dans un champ magnétique uniforme et orthogonale au plan du mouvement du conducteur (voir figure) [2].



Figure(I.9) :Barre en translation dans le champ B [2]

Entre t et $t + dt$, la barre parcourt la distance élémentaire $dy = V \cdot dt$, le flux coupé par le conducteur est alors :

$$d\Phi = B \cdot ds = B \cdot L \cdot dy \quad (1.1)$$

En appliquant (en module) la loi de Faraday, on obtient l'expression de la (f.e.m) induite :

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{B \cdot L \cdot dy}{dt} = B \cdot L \cdot V \quad (1.2)$$

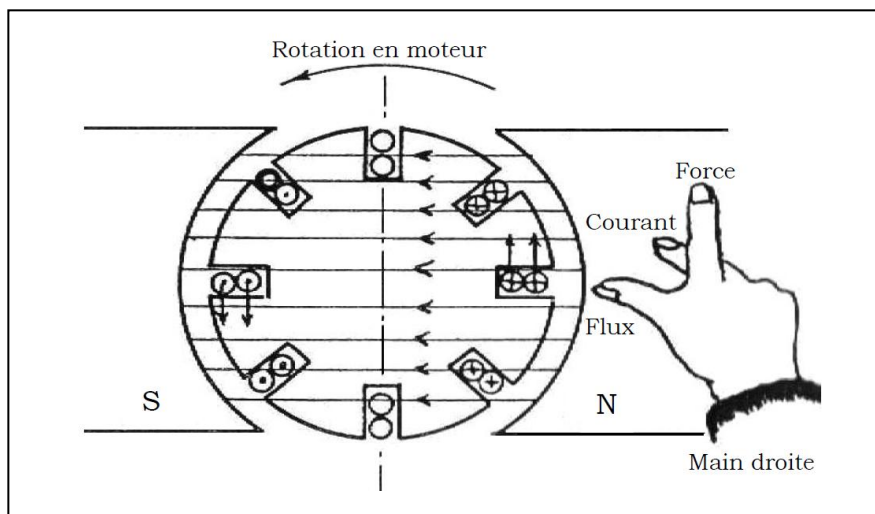
On remarque que la (f.e.m) est principalement en fonction de l'induction magnétique \vec{B} créé par l'excitatrice et la vitesse du conducteur \vec{V} .

Si l'induction \vec{B} ou la vitesse \vec{V} changent de sens, le sens de flux change et la f.e.m change de sens.

I.2.2.Principe de fonctionnement des moteurs à courant continu :

Un conducteur placé dans un champ magnétique et parcouru par un courant est soumis à une force mécanique \vec{F} dite « force de la place » dont le sens est déterminé par la direction du champ et celle du courant. C'est sur ce principe que sont basés les moteurs électriques.

En tenant compte de ce qui est écrit au début et en se rapportant à la figure.I.9, il suffit d'appliquer la règle des trois doigts de la main droite pour trouver le sens de la force qui agit sur les conducteurs et donner de ce fait le sens de rotation du moteur.[2]



Figure(I.10) :Recherche du sens de la force appliquée aux conducteurs par la règle de la main droite [2]

Voyons comment il est possible de créer une force mécanique sur un conducteur parcouru par un courant électrique et logé dans un champ magnétique :

Soit le même schéma de la figure.I.9

Si le conducteur est maintenant parcouru par un courant I , la loi de Laplace nous donne :

$$d\vec{F} = I. d\vec{x} \otimes \vec{B} \quad (1.3)$$

$$d\vec{F} = B. I. dx. \vec{x} \otimes \vec{z} = B. I. dx(-\vec{y}) \quad (1.4)$$

$$d\vec{F} = -B. I. dx. \vec{y} \quad (1.5)$$

On remarque que le mouvement a lieu dans le sens contraire au précédent $(-\vec{y})$. C'est ce que l'on traduit souvent par l'expression de f.e.m « s'opposant » au déplacement du conducteur.

I.3.Problèmes particuliers des machines à courant continu :

I.3.1.Problèmes de commutation :

L'induit est constitué d'un enroulement placé autour d'un matériau magnétique, il se comporte comme une self inductance. Lorsque le bobinage passe sur la ligne neutre le courant n'est pas nul, il faut attendre que la self ait libéré son énergie. Le courant est en retard par rapport aux commutations des balais et des lames de collecteur situés sur la ligne neutre. Ce problème se résout par un calage judicieux des balais (dans le sens de rotation de l'induit) en fonction du courant débité, ou par la mise en place de pôles auxiliaires de commutation. Les pôles de commutation ont pour effet de décaler automatiquement la ligne neutre, en fonction du courant de la machine.[1]

I.3.2.Phénomène de réaction magnétique de l'induit :

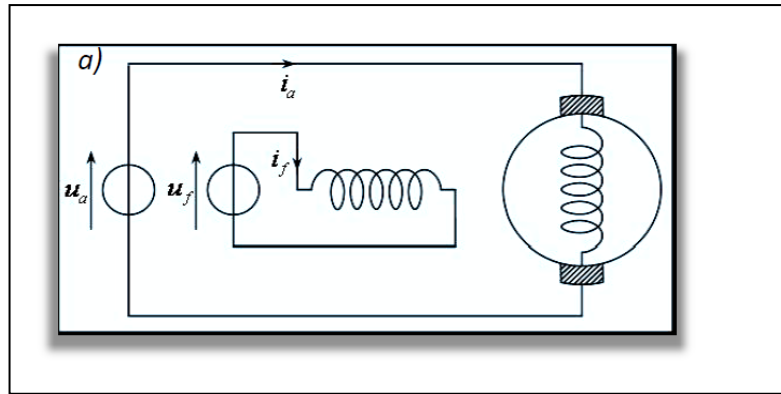
Au champ magnétique produit par l'inducteur, s'ajoute un champ magnétique produit par le courant d'induit. Le champ magnétique de l'induit est égal à la résultante des deux champs. Quand la machine est saturée l'excès de champ sur une partie du pôle ne compense pas le défaut de champ sur l'autre partie ! Il en résulte une perte de flux. Ce problème est souvent résolu dans les génératrices, par la mise en place sur l'inducteur d'un enroulement compensateur. Il est traversé par le courant d'induit de sens contraire. Autre solution on écorne les pôles inducteurs, ce qui augmente l'entrefer et évite la saturation.[1]

I.4.Modes d'excitation :

Les circuits de l'induit et de l'inducteur peuvent être connectés à la source électrique selon 4 modes différents. Ce sont :

I.4.1.L'excitation séparée :

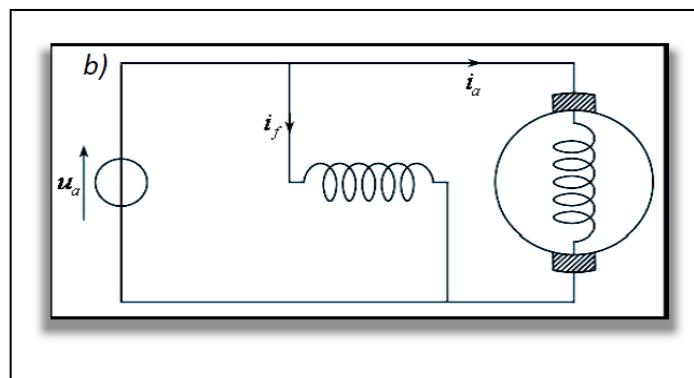
est la solution qui donne la plus grande souplesse au niveau du réglage et ce mode permet en effet de contrôler de façon complètement séparée I et Φ , mais elle suppose qu'on dispose de deux sources de tension réglables séparément pour les circuits induit et inducteur.



Figure(I.11) :Machine à excitation séparée[2]

I.4.2.L'excitation shunt ou parallèle :

Est utilisée précisément lorsque le réglage séparé des tensions induit et inducteur n'est pas possible.

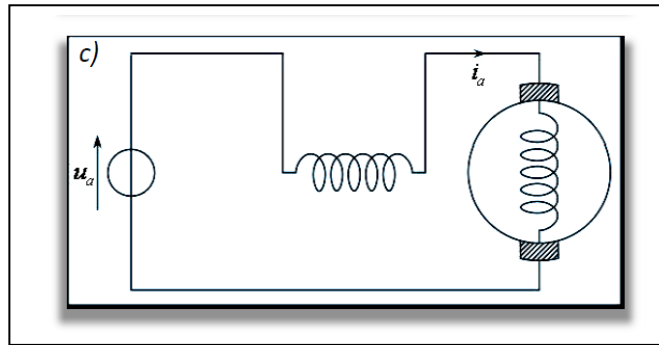


Figure(I.12) : Machine à excitation shunt [2]

I.4.3.L'excitation série:

Les machines à excitation série sont équipées d'un enroulement à faible nombre de spires de forte section connecté en série avec l'induit et parcouru par un courant d'excitation égal au courant d'induit. Elle a deux intérêts :

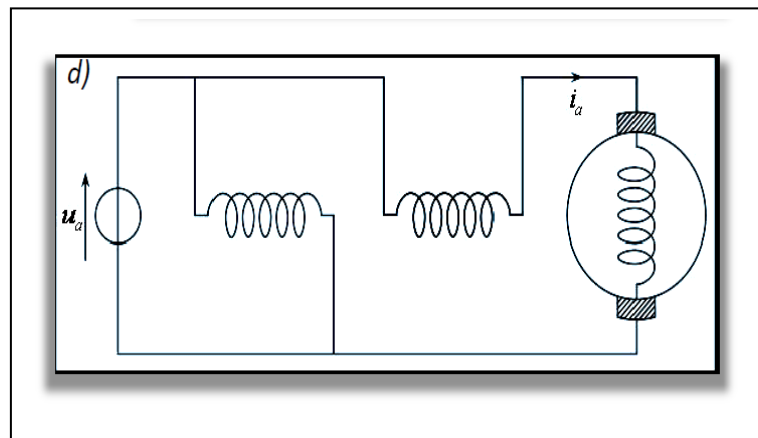
- Elle confère à la machine un comportement particulièrement bien adapté aux problèmes de la traction : lorsque la machine est à l'arrêt, la f.c.e.m est nulle, le courant induit et le flux sont donc maximaux, d'où un démarrage facilité.



Figure(I.13) :machine à excitation série [2]

I.4.4.L'excitation composée ou compound :

Constitue une recherche de compromis entre les propriétés de l'excitation shunt et de l'excitation série. De plus, la composition peut être mise en œuvre soit de façon additive soit de façon soustractive, ce qui permet en particulier de corriger l'effet de la réaction d'induit. Cette machine est plus complexe, elle nécessite deux enroulements d'excitation.



Figure(I.14) : Machine à excitation composé [2]

Chapitre (01): Généralité sur la machine à courant continu

Conclusion :

Nous avons étudié dans ce chapitre la constitution physique élémentaire de l'induit, puis de l'inducteur des moteurs à courant continu. Les différents organes constructifs ont été abordés au fil de l'exposé, on a abordé les différents problèmes particuliers tels que la commutation et la réaction magnétique d'induit, ainsi les principes de fonctionnement de la machine en moteur et en générateur aussi les types d'excitation existants séparée, série, shunt et composé.

Chapitre deux
Etude des enroulements imbriqués et
ondulés

Introduction:

Afin de placer correctement l'enroulement sur l'induit et de loger les conducteurs dans les encoches il faut relier le nombre d'encoches avec le nombre de sections et connaître les pas d'enroulement.

La réalisation d'un bobinage de type imbriqué conduit à connecter un faisceau aller d'une section avec un faisceau retour d'une section qui a une surface en commun avec la première.

Le bobinage ondulé est la solution la plus fréquente. De plus, pour avoir les mêmes performances.

Les enroulements ondulés sont employés couramment pour les moteurs de petite puissance.

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord présenté étude des enroulements ondulé et imbriqué de machines à courant continu.

II.1. Bobinages des machines à courant continu :

Les bobinages sont conçus afin d'utiliser au mieux les ampères-tours de l'induit. L'enroulement d'induit est l'élément le plus important de la machine. Il est l'objet de diverses exigences :

- L'enroulement doit être réalisé en minimisant le matériau du point de vue du poids et de l'enroulement tout en limitant les pertes.
- La commutation à courant continu doit être satisfaisante (absence d'étincelles nuisibles au collecteur).
- Les principaux types d'enroulements sont les suivants :
- Enroulement imbriqué.
- Enroulement ondulé.

II.2. Etude des enroulements imbriqués:

II.2.1. Conditions nécessaires pour obtenir un enroulement rationnel :

- L'ensemble du bobinage doit être parfaitement symétrique, afin d'équilibrer l'induit au point de vue mécanique.
- L'enroulement doit constituer un ou plusieurs circuits fermés permettant de parcourir tous les conducteurs du bobinage.
- Ces circuits doivent se composer à chaque instant, entre balais de polarités contraires, de $2a$ parties de (F.E.M) égales et en opposition. Ces $(2a)$ parties portent le nom de voies d'enroulement.

On appelle voie d'enroulement l'ensemble des sections d'un induit à collecteur qui, à un instant donné se trouvent en série entre deux balais consécutifs du signe contraire.

- Dans un induit, le nombre de voies d'enroulement correspond au nombre de circuit dérivé, dont les courants s'ajoutent pour fournir le courant extérieur.

* Dans une dynamo bipolaire, on a $:2a =$ deux voies d'enroulement.

Ces six voies se répartissent en trois groupes parallèles de deux voies chacun (montage en parallèle, pour un débit fort).

- Le nombre de section actives doit être égale au nombre de lames de collecteur, chacune de ces dernières étant reliée à une sortie de deux sections voisines.
- Chaque rainure ou encoche peut recevoir un ou plusieurs faisceaux, constitués eux même par un ou plusieurs conducteurs.[1]

II.2.2. Section de bobinage :

On appelle section un ensemble de spires dont l'entrée et la sortie sont reliées à deux lames du collecteur.

- Chaque section a deux faisceaux, comprenant un ou plusieurs conducteurs.
- Plusieurs sections peuvent être assemblées sous un enrubannage. On a alors une bobine.

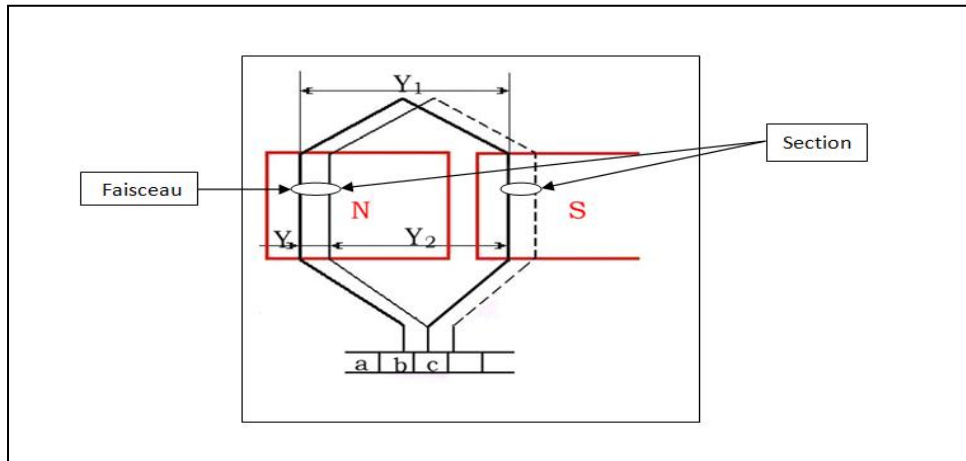


Figure.II.1-Section de bobinage imbriqué.[2]

II.3.Caractéristiques des enroulements imbriqués :

- Un bobinage imbriqué se compose d'un certain nombre de sections disposées en parallèle sur un tambour d'induit. Les sections sont ensuite reliées entre elles par l'intermédiaire des lames du collecteur et des sections à employer. Avec un enroulement à quatre faisceaux par encoche, le nombre de sections et de lames au collecteur est double du nombre d'encoche.
- Si l'enroulement comprend deux faisceaux par encoche, le nombre des encoches est égal au nombre des lames du collecteur et des sections à employer. Avec un enroulement à quatre faisceaux par encoche, le nombre de sections et de lames au collecteur est double du nombre d'encoche.
- Pour un type déterminé de tambour d'induit de dynamo multipolaire, l'enroulement imbriqué donne à équivalence de conducteur, la plus grande intensité possible et minimum de tension.
- Il y a autant de lignes de balais qu'il y a de pôles. Les balais de même polarité sont reliés entre eux au moyen d'une connexion de forte section et débitent en parallèle, s'il s'agit d'une dynamo multipolaire.
- Dans un enroulement imbriqué simple, on a : $2a = 2p$. On obtient ainsi un enroulement fermé sur lui-même qui comprend autant de voies d'enroulements ($2a$) qu'il y a de pôles ($2p$).
- Un bobinage imbriqué peut se concevoir également avec des enroulements parallèles simples ou multiples symétriques.
- Les sections peuvent être à pas diamétral raccourci ou allongé.

- **Le pas diamétral :**

On n'appelle pas diamétral un pas égal au pas polaire (nombre d'encoches logées sous l'influence d'un pôle). Dans ce cas la section a un pas égal à la distance séparant deux lignes neutres consécutives. Pour que la section puisse être exactement au pas diamétral, il faut nécessairement que le nombre des rainures soit pair. Si le nombre d'encoche est impair, le pas ne peut être diamétral, il diffère d'un demi-pas dentaire. Le pas diamétral est également appelé pas entier, ou pas normal.

- **Le pas raccourci :**

Quand le pas est raccourci, l'embracement de la section est réduit d'une ou plusieurs encoches. Le raccourcissement du pas diminue la longueur des connexions frontales, ce qui réduit le poids le poids du cuivre utilisé, et par conséquent les pertes par effet joule. Par contre, la pas raccourci diminue le flux embrassé par la section, et par la suite la F.E.M de la machine.

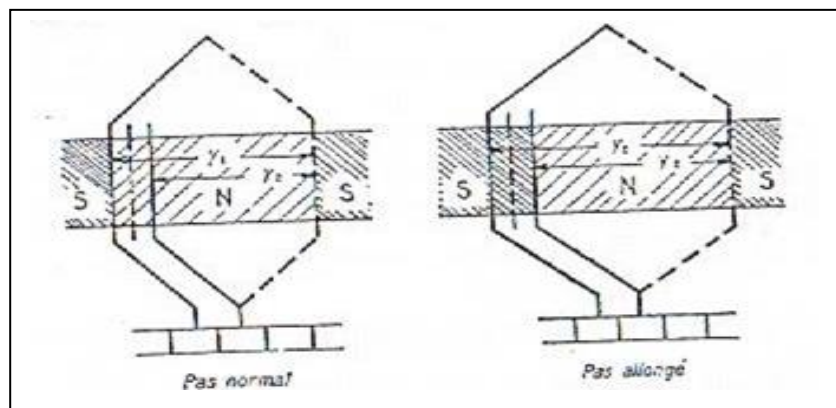


Figure.II.2-Pas normale et pas allongé. [1]

- **Le pas allongé :**

Le pas allongé augmente la longueur des connexions frontales et par conséquent le poids du cuivre des sections par rapport aux deux autres procédés pour un résultat électrique identique à celui obtenu avec un pas raccourci. Le pas diamétral est conseillé chaque fois qu'il est réalisable.

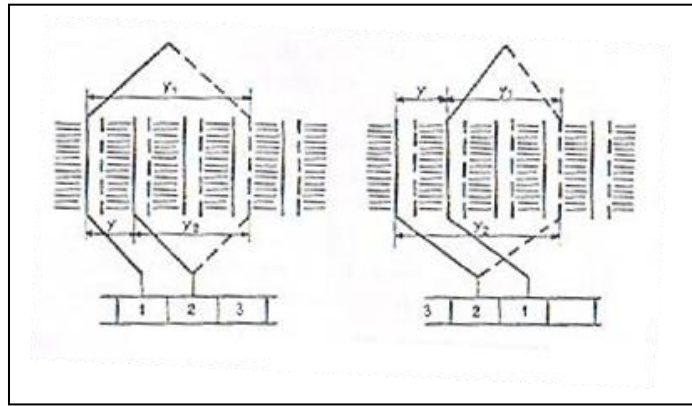


Figure.II.3-Représentation schématique des pas partiels.

Dans la figure de gauche, on remarque que le pas (y_2) est inférieur à (y_1). La section est dite « ouverte », l'enroulement est progressif, c'est la disposition employée couramment.[1]

On a :

$$y = y_1 - y_2. \quad (2.1)$$

Dans la figure de droite, la section est dite « croisée ». (y_2) Est supérieur à (y_1)

D'où
$$y = y_2 - y_1. \quad (2.2)$$

La progression se fait de droite à gauche, l'enroulement est rétrograde. Cette disposition est adoptée par certains constructeurs afin de faciliter la réparation des induits. En effet, la mise au collecteur à sections ouvertes nécessite moins de longueur, ce qui permet, dans le cas d'une avarie au collecteur, de réutiliser les anciennes sections employées sous la forme croisée. Le pas de la section ne change pas dans ce cas.

Cette modification de la mise au collecteur provoque un changement de polarité aux bornes de la machine.

II.4.Calcul le pas d'enroulement:

$$y = y_1 - y_2 \quad (2.3) \quad \text{Enimbriqué.}$$

Et

$$y = y_1 + y_2 \quad (2.4) \quad \text{En ondulé.}$$

y et y_2 sont les pas partiels et y le pas résultant.

y_1 : **indique le pas de la section sur l'induit**. Dans un schéma de bobinage imbriqué, on le désigne sous le nom de « pas avant », il donne le nombre de faisceaux compris entre les deux cotés d'une section et ne peut être raccourci s'il est égal au pas polaire ou diamétral.

y_2 : **donne le pas dans le champ**, on le nomme « pas arrière » dans un enroulement imbriqué. Il indique sur un schéma le nombre d'intervalles compris entre les côtés non correspondants de deux sections réunies à une même lame du collecteur. y_2 Est généralement inférieur ou égal au pas polaire.

y : **est le pas résultant**. Il donne la progression de l'enroulement, qui est égal à deux faisceaux dans un enroulement imbriqué simple.

Le nombre des sections d'un enroulement est toujours égal au nombre des lames du collecteur, quel que soit le nombre de faisceaux placés dans l'encoche.

Les enroulements imbriqués peuvent s'exécuter :

* Avec des sections ouvertes, qui donnent un enroulement progressif ou avançant, généralement employé.

* Avec des sections croisées, qui donne un enroulement rétrograde ou retardant «rarement utilisé ».

Selon que l'on utilise le bobinage à sections ouvertes croisées, on a une polarité différente aux bornes de la dynamo si celle-ci fonctionne en génératrice, et un sens de rotation inversé si celle est utilisée en moteur. [1]

II.4.1. Calcul des pas d'un enroulement imbriqué :

Pour calcul des pas représentés sur un schéma, il y a lieu de tenir compte du nombre de faisceaux à utiliser et du nombre de pôles. Le nombre d'encoches et de lames n'intervient pas à priori dans la formule.

Pour le calcul d'un pas normal bipolaire, on écrit les formules générales :

$$y_1 = \frac{F}{2p} + 1 \quad (2.5) \quad (\text{Pas avant}), \text{ nombre entier et impair ;}$$

$$y_2 = \frac{F}{2p} - 1 \quad (2.6) \quad (\text{pas arrière}), \text{ nombre entier et impair ;}$$

Chapitre (02) : Etude des enroulements imbriqués et ondulés

$$y = y_1 - y_2 \quad (2.7) \quad (\text{Pas résultant}), \text{ nombre pair ;}$$

y_1 et y_2 doivent être des nombres entiers et impairs.

En effet, (y_1) et (y_2) ne peuvent être composés de fractions de faisceaux d'une part et, d'autre part, ces nombres ne peuvent être pairs du fait que l'on compte zéro (0) en partant du premier faisceau. , pour ($y_1 = 11$), on compte 0 sur le faisceau (1), ce qui fait (11) sur le faisceau (12).

Pour ($y = 9$), on part du faisceau (12) en comptant (0) et on rétrograde de (9), pour arriver au faisceau (3).

(+1) et (-1) donnent le pas résultant y , soit 2, dans un enroulement imbriqué simple, de sorte que l'on peut remplacer la formule

$$y_2 = \frac{F}{2p} - 1 \quad (2.8)$$

a. Cas de ($F/2p$) fractionnaire ou impair :

Lorsque le quotient de ($F/2p$) n'est pas un nombre entier ou qu'il est un nombre impair, ce qui donne avec (+1) ou (-1) un nombre pair, on emploie les formules suivantes :

$$y_1 = \frac{F+b}{2p} + 1 = (\text{Nombre entier et impair}). \quad (2.9)$$

$$y_2 = \frac{F+b}{2p} - 1 \text{ est } = (\text{Nombre entier et impair}). \quad (2.10)$$

b est un nombre pair arbitraire aussi faible que possible, destiné à donner pour quotient un nombre entier et pair. On commence par prendre $b = 2$, puis, si le résultat ne correspond pas à une solution satisfaisante, le pas est dit « allongé », soit :

$$y_1 = \frac{F+b}{2p} + 1 \quad (2.11)$$

$$y_2 = \frac{F+b}{2p} - 1 \quad (2.12)$$

Le pas est dit « raccourci » si on prend (-b), soit :

$$y_1 = \frac{F-b}{2p} - 1 \quad (2.13)$$

$$y_2 = \frac{F-b}{2p} - 1 \quad (2.14)$$

$$y_1 = \frac{F-b}{2p} + 1 \quad (2.15)$$

Et

$$y_2 = \frac{F-b}{2p} - 1 \quad (2.16)$$

Le résultat est le même quant au fonctionnement de la machine, mais les sections nécessitent davantage de cuivre avec le pas allongé. La section ayant ses deux faisceaux plus écartés, les demi-connexions sont plus longues.

II.5. Exemple d'application d'un enroulement imbriqué :

L'induit d'un moteur a (24) encoches, (12) lames au collecteur, (12) sections.

Calcul des pas :

On a (12) sections = (24) faisceaux, d'où :

$$y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{24}{4} + 1 = 7 \quad \text{Pas avant.} \quad (2.17)$$

$$y_2 = \frac{F}{2p} - 1 = \frac{24}{4} - 1 = 5 \quad \text{Pas arrière.} \quad (2.18)$$

$$y = y_1 - y_2 = 7 - 5 = 2 \quad \text{Pas résultant.} \quad (2.19)$$

(y_1) et (y_2) sont impairs et entiers et y est un nombre pair. L'enroulement est réalisable avec un pas y_1 diamétral.

II.5.1. Exécution d'un schéma panoramique :

- Les balais se placent dans l'axe des pôles.
- Le sens de rotation peut s'indiquer en utilisant la règle des trois doigts sous un pôle, pour que le dynamo fonctionne soit en moteur, soit en génératrice. On admette que le champ représenté par le pouce entre par les conducteurs du pôle et sort des conducteurs du pôle sud.

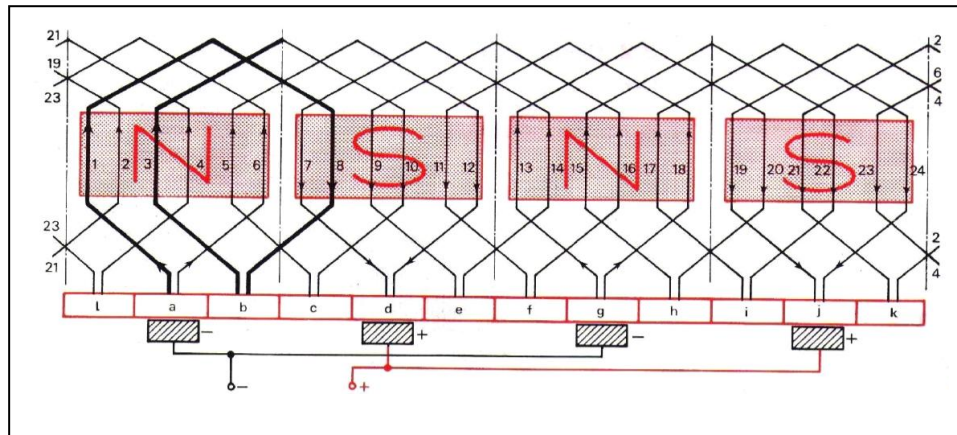


Figure.II.4-Induit comportant 24 faisceaux, 12 lames au collecteur, pas arrière 7, pas avant 5. Pas résultant : $y=2$

II.6.Les enroulements imbriqués multiples :

II.6.1.Principe :

Avec ce procédé de bobinage, on multiplie les voies d'enroulements, ce qui permet d'obtenir un grand débit en ampères et une réduction de la F.E.M, fournie par la machine. Cet enroulement peut être exécuté en parallèle double ou triple.

II.6.2.Bobinage parallèle double :

Avec un bobinage parallèle double, on a deux enroulements disposés en parallèle sur l'induit. Le calcul du pas partiel avant y_1 d'un tel bobinage se fait comme s'il s'agissait d'un enroulement normal ; ce sont les pas y et y_2 qui diffèrent.

- Dans un enroulement **imbriqué simple**, $y = 2$ faisceaux.
- Dans un enroulement imbriqué **parallèle double**, $y = 4$ faisceaux.
- Dans un enroulement imbriqué **parallèle triple**, $y = 6$ faisceaux.

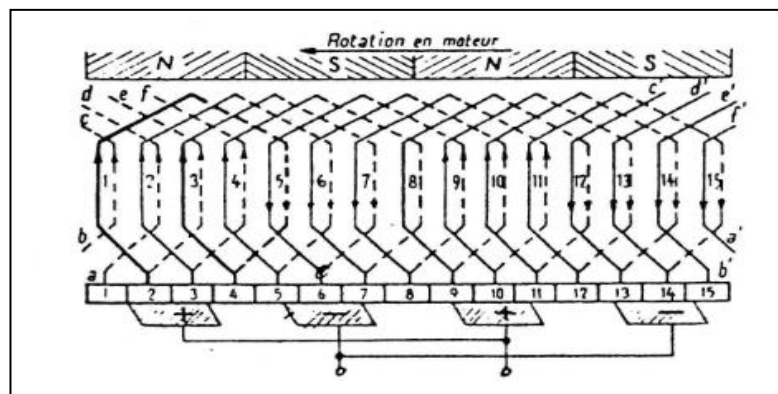


Figure.II.5-Enroulement imbriqué parallèle double (fermé simple) d'un induit de moteur à 4 pôles, 15 sections, 15 lames au collecteur

II.6.3. Caractéristiques d'un enroulement parallèle double :

L'enroulement parallèle double peut être fermé simple ou fermé double. Si le nombre de lames au collecteur est impair, l'enroulement se ferme sur lui-même en parcourant tous les faisceaux. [4]

C'est un enroulement fermé simple

Si le nombre de lames au collecteur est pair, l'enroulement se compose de deux bobinages distincts. Les sections des encoches à numéros impairs sont reliées entre elles et forment un premier circuit, tandis que les sections des encoches à numéros pairs constituent le deuxième bobinage.[1]

C'est enroulement fermé double

Dans un enroulement imbriqué multiple, les balais doivent couvrir autant de lames sur le collecteur qu'il y a de circuits en parallèle.

Un enroulement imbriqué multipolaire est normalement muni de connexions équipotentielles, le tambour d'induit doit, de ce fait, comporter un nombre entier d'encoches par paire de pôles, afin d'avoir des faisceaux disposés identiquement sous les pôles de même nom.

D'autre part on devra avoir un nombre entier avec $\frac{F}{2a}$. Quand l'intensité débitée est importante, on utilise deux collecteurs, ce qui permet de réaliser un enroulement **parallèle double**, à nombre pair de lames au collecteur par paire de pôles.

On obtient ainsi deux circuits indépendants, reliés entre eux par des interconnexions.[1]

II.7. Étude des enroulements ondulés :

II.7.1. Caractéristiques des enroulements ondulés :

Les enroulements ondulés sont employés couramment pour les moteurs de petites puissances. Ces bobinages progressent toujours dans le même sens de telle sorte que le pas résultant(y) est égal à la somme des pas (y1) et (y2) d'où :

$$y = y_1 + y_2 \quad (2.20)$$

Le pas résultant y est sensiblement égal au double du pas polaire. Chaque section devant se déplacer dans le champ par rapport à la précédente, cela conduit à avoir un pas y légèrement inférieur ou supérieur au double du pas polaire.

On n'appelle pas polaire la distance périphérique comprise entre deux lignes neutres consécutives. (y1) et (y2) doivent être des nombres entiers, impaire égaux ou inégaux. (y) doit être paire.

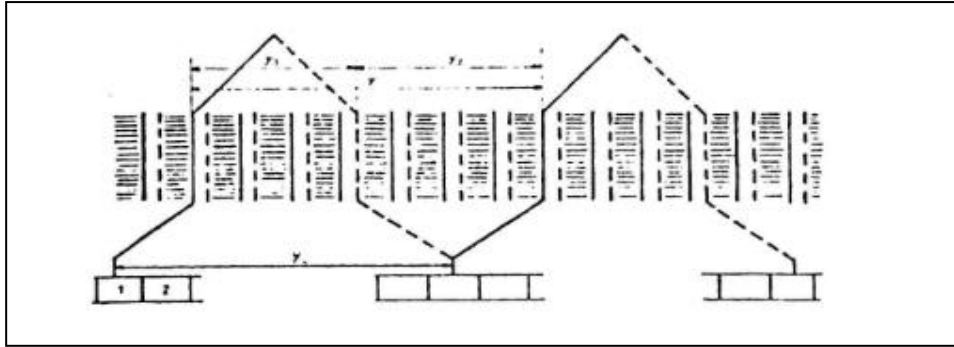


Figure.II.6- Représentation de deux sections disposées pour effectuer un bobinage ondulé.

L'enroulement ondulé n'est utilisé que pour des dynamos multipolaires, car le nombre des voies d'enroulement étant toujours égal à (2), les lignes de balais peuvent être réduites à deux également.

Un induit bipolaire enroulé en ondulé donne exactement le même résultat qu'un induit imbriqué.

Lorsqu'il s'agit d'un enroulement ondulé série simple, on parcourt tous les faisceaux en partant d'une lame du collecteur pour revenir à cette lame.

Après chaque tour de la périphérie de l'induit, on revient à la lame suivante (pas allongé) ou à la lame précédente (pas raccourci) jusqu'à ce que toutes les lames soient reliées pour revenir au point de départ.

II.7.2. Calcul des pas d'un enroulement ondulé :

Pour vérifier si un bobinage ondulé est réalisable, on écrira :

$$y = \frac{F \pm 2a}{p} \quad (2.21)$$

En utilisant le signe +, le pas y est dit «allongé», il est plus grand que le double pas polaire.

Avec le signe - le pas y est raccourci.

Le quotient obtenu devra être un nombre entier et pair.

Exemple :

$$y = \frac{40+2}{3} = 14 \text{ Nombre pair (pas allongé).}$$

D'où :

Les pas partiels sont égaux et impairs.

Dans certains cas, on a y_1 et y_2 pairs, quoique y Soit pair.

Exemple :

$$y = \frac{46 + 2}{3} = 16$$

D'où : $y_1 = 9$ et $y_2 = 7$ ou encore $y_1=7$ et $y_2 = 9$

Dans ces cas, on a des pas partiels inégaux.

En choisissant $y_1 = 7$ de préférence à $y_1=9$, on a des sections plus étroites, d'où économie de cuivre.

II.7.3. Différents types d'enroulements ondulés :

Les enroulements ondulés se réalisent sous deux formes :

- 1^{er} - Sous forme « ondulé série simple » avec : $2a=2$.
- 2^{eme} – Sous forme « ondulé série – parallèle » avec : $2a<2p$.

II.7.3.1. Enroulement ondulé série simple:

Un enroulement est dit « ondulé série simple » lorsque le nombre de voies d'enroulement est égal à deux, quel que soit le nombre de pôles, d'où : $2a = 2$.

C'est l'enroulement qui, pour un nombre de conducteurs bien défini, donne le maximum de tension pour un type déterminé d'induit. Quel que soit le nombre de pôles, on peut toujours réduire à deux les lignes de balais, l'enroulement ne comportant que deux voies. Dans la pratique, on place autant de lignes, de balais qu'il y a de pôles à la machine. Les moteurs de traction et de levage, dont l'accessibilité au collecteur est difficile, ne possèdent que deux lignes de balais. Avec ce type de bobinage, K et Y_c doivent être premiers entre eux.[1]

Exemple d'enroulements ondulés, série simple :

L'induit tétrapolaire comporte :

19 encoches, 19 sections, 19 lames au collecteur.

Calcul des pas :

$$y = y_1 + y_2, \text{ soity} = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{38 \pm 2}{2}$$

$$\text{Si } y = \frac{38+2}{2} = 20 \text{ on a } y_1 = 9, y_2 = 11$$

$$\text{Si } y = \frac{38-2}{2} = 18 \text{ on a } y_1=9, y_2=9$$

Choix des composants.

Avec $y=18$, on a y_1 et $y_2 = \frac{18}{2} = 9$ chacun. Ce nombre est impair et convient pour cette raison. Les pas partiels y_1 et y_2 sont égaux.

Le pas est dit « raccourci », il est inférieur au double pas polaire. IL est dit « allongé » dans la première formule, du fait que le signe + a été utilisé.

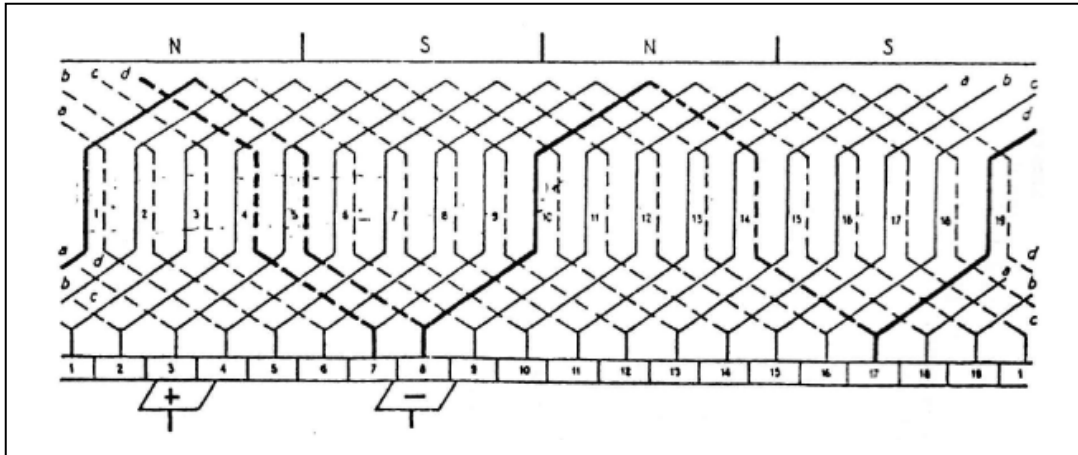


Figure.II.7-Schéma d'Enroulement ondulé série simple.

$$y = 18, y_1 = y_2 = 9, y_c = 9, \text{ soit } 1 \text{ à } 10[1]$$

L'enroulement est raccourci à pas égaux. Le pas raccourci est sur la visible sur la figure. En effet, en partant de la lame 8, on retombe sur la lame 7 après avoir fait un tour complet avec les encoches 10,14,19 et 4. Un pas allongé aboutirait à la lame 9.

II.7.3.2.Enroulement ondulé série – parallèle : avec $2a < 2p$:

Ces enroulements sont formés par le groupement en parallèle de plusieurs enroulements en série, ce qui permet de choisir un nombre de voies d'enroulement différent du nombre de pôles, tel que : $2a < 2p$.

Cette latitude dans le choix du nombre de voies par rapport au nombre de pôles a l'avantage de permettre l'utilisation d'un même type de tambour d'induit pour obtenir des F.E.M. et des intensités adaptées à des besoins industriels variés. Cette propriété facilite et simplifie l'outillage des constructeurs. L'utilisation des enroulements ondulés en série parallèle est peu fréquente dans l'industrie, et des connexions qui nécessitent une symétrie de l'enroulement, telle que : K/a et p/a soient des nombres entiers. D'autre part, le nombre d'encoches doit être divisible par le nombre de paires de voies d'enroulement en parallèle. y_1 et y_2 doivent être impairs. Ils peuvent être égaux ou inégaux.

a. Exemple d'application d'un enroulement ondulé série parallèle $2a < 2p$

L'induit d'un moteur à courant continu comporte :

Chapitre (02) : Etude des enroulements imbriqués et ondulés

6 pôles, 4 voies d'enroulement, 22 encoches, 22 sections, 22 lames au collecteur, 4 lignes de balais qui peuvent être réduites à deux, les balais ayant une largeur suffisante pour appuyer sur deux lames à la fois.

$$F = 22 \times 2 = 44$$

Calcul des pas : $y = y_1 + y_2 :$

$$y = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{44 \pm 4}{3}$$

Si $y = \frac{44+4}{3} = 16$ on a $y_1 = 7, y_2 = 9$

Si $y = \frac{44-4}{3} = 13.3$ (n'est pas réalisable).

Ce bobinage est réalisable avec $y=16$ en rendant y_1 et y_2 inégaux.

D'autre part, $\frac{K}{a} = \frac{22}{2} = 11$ est un nombre entier, mais $\frac{p}{a}$ n'étant pas un nombre entier, les connexions équipotentielles ne sont pas reliées à des points rigoureusement au même potentiel, ce qui rend ce bobinage peu recommandable.[1]

Calcul du pas au collecteur :

$$y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{22 \pm 2}{3} = 8$$

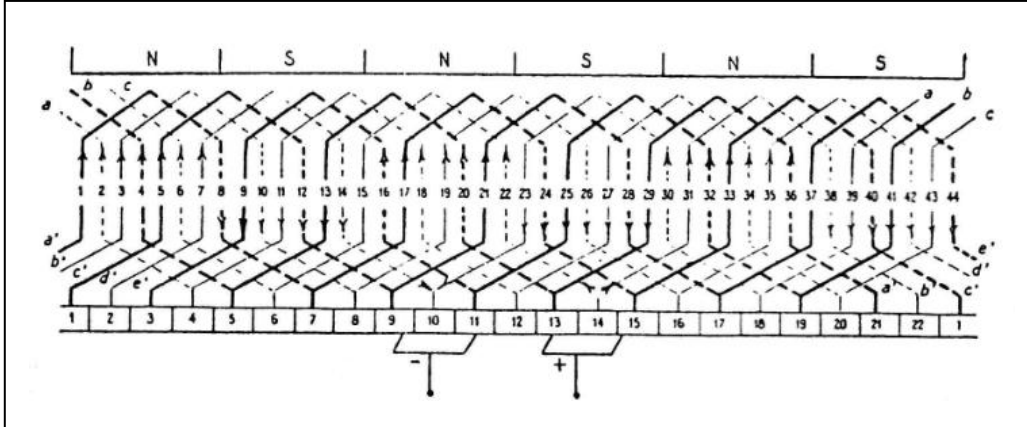


Figure.II.8-Enroulement ondulé série parallèle.[3]

avec $2a < 2p$, 6 pôles, 4 voies d'enroulement, 44 faisceaux, $y=16, y_1 = 7, y_2 = 9$ et $y_c = 8$.

$$y = \frac{44+4}{3} = 16, y_1 = 7, y_2 = 9, y_c = 8$$

En partant de la même lame, on a 14 faisceaux 40 et 33 étant sur la ligne neutre, il ne reste que 12 faisceaux actifs en arrivant à la lame 15, ce qui constitue la deuxième voie.

Les deux autres voies partent de la même, de telle sorte que 4 balais sont nécessaires pour recueillir les 4 voies en parallèle.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressé à l'étude des différents techniques des enroulements des machines à courant continu, l'imbriqué et l'ondulé et nous avons abordé les différents détaille techniques de chaque type tel que les calculs des pas, les procédé d'enroulement, les différents modèles, schéma panoramique.

Comme il a été noté ci- dessus concernant l'exemple, on a développé un induit en deux techniques imbriqué et ondulé.

En fin nous avons conclu que le bobinage ondulé est mieux adapté pour des applications à haute tension. La force électromotrice, étant inversement proportionnelle au nombre de voies en parallèle, est plus élevée que dans le cas imbriqué pour une machine ayant le même nombre de sections.

Le bobinage ondulé est la solution la plus fréquente. De plus, pour avoir les mêmes performances, le bobinage ondulé nécessite moins de nombres de tours par section que le bobinage imbriqué [4]. Un nombre de tours par section plus élevé induit une inductance d'enroulement plus importante, donc facilitation de création des arcs électriques. D'autre part, le diamètre de fil pour un bobinage ondulé est plus grand que celui du bobinage imbriqué [5]. Cependant, la consommation en cuivre des deux types de bobinage est la même pour une même machine délivrant la même puissance [6].

Chapitre trois
Maintenance moteur à cc à
excitation composé (cas pratique)

Introduction :

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à un cas pratique, la procédure de maintenance d'un moteur à courant continu à excitation compound ou composé arrivée à notre atelier électromécanique au sein de la direction maintenance Biskra appartient à la division maintenance branche transport par canalisation SONATRACH, avec quelques définitions des différents types de maintenance et du système appelé par abréviation GMAO (gestion maintenance assistée par ordinateur).

III.1. Les différents types de maintenance :

III.1.1. Maintenance curative :

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable. Les équipements réparés doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage.[7]

III.1.2. Maintenance palliative :

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises.[7]

III.1.3. Maintenance préventive :

Opération de maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'une entité, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement d'un service rendu.[7]

Elle est subdivisée en :

a. Maintenance prévisionnelle :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.[7]

b. Maintenance systématique :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un

nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.[7]

c. Maintenance conditionnelle :

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.[7]

Notons qu'il existe un système informatisé pour gérer maintenance au sein de notre direction s'appelle GMAO ou logiciels de gestion de maintenance assistée par ordinateur.

III.2.Définition GMAO :

Le GMAO est un logiciel de gestion de maintenance assistée par ordinateur, spécialement pour assister les services de maintenance dans leurs activités, y compris en matière de logiciels. Il s'agit de véritables outils d'accompagnement, très utiles, gère les opérations de maintenance et leur historique, le budget qui y est consacré, le planning et la préparation des interventions, la gestion du stock des pièces de rechange susceptibles de remplacer les pièces défectueuses, les fiches d'intervention et de suivi des machines, les modes opératoires... Ils définissent également l'aide au diagnostic, analysent les causes des pannes et des défaillances antérieurement décelées, et déterminent leurs risques de survenance afin de s'en prémunir... En résumé, ils renforcent l'efficacité de la maintenance, ou du moins la rendent efficace si elle ne l'est pas.[7]

III.3 procédure de maintenance d'un moteur à courant continu à excitation compound :

III.3.1.Réception du moteur:

Après l'arrivée du moteur avec un rapport fait par le client on a procédé de la réception par l'inscription de ses caractéristiques techniques et par la suite les services méthode procédé de création un bon travail sur le système GMAO.

III.3.2.Contrôle technique du moteur:

III.3.2.1.Contrôle électrique :

Ce fait par des mesures d'isolement et ohmique des bobinages suivant :

Auxiliaire, excitation, compensation, induit et inducteur

III.3.2.2. Contrôle mécanique :

Après le démontage et nettoyage de toutes les parties mécaniques, on a procédé de la vérification toutes les parties mécaniques y compris les roulements.

Chapitre (03): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique)

III.3.2.3.Etablissement un bon sortie matériel :

Après recensement des pièces défectueuses, établissement un bon sortie matériel sur le GMAO.

Après l'acquisition des pièces de rechange et le remontage du moteur, des essais et mesures électriques et mécaniques sont obligatoire tel que mesure de la vitesse de rotation, d'isolement, ohmique, essais de champ et équilibrage du rotor s'il faut....etc.

III.3.2.4.Etablissement du rapport finale :

L'établissement du rapport ce fait vu que le client soit informé pour toutes les opérations faites sur le moteur.

III.4.Définition du rapport d'absorption diélectrique (DAR) :

Pour des installations ou équipements comportant des isolants ou le courant d'absorption décroît rapidement, le relevé des résistances d'isolement à 30 secondes peut suffire pour qualifier l'isolement. Le DAR est définit comme suit :[8]

DAR = Risolement à 60 secondes / Risolement à 30 secondes

| Valeur DAR | Condition d'isolement |
|-------------------|------------------------------|
| < 1.25 | Insuffisante |
| < 1.6 | Bon |
| ➤ 1.6 | Excellente |

III.5.Travaux pratiques:

Caractéristique du moteur :

Type: C7L.N.CVE d B3B14

Puissance: 0.56 kW

Tension: 125 Vdc

Vitesse : 1750 tr/min

Intensité : 6.1 A

Excitation compound.

Chapitre (03): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique)

Après avoir réceptionné le rapport de diagnostic fait par le client, on a constaté que le problème est dû au sur échauffement dans le moteur, voir figure.III.2, avant le démontage du moteur on a effectuées les travaux suivant :

Mesures électriques :

➤ Résistance d'isolement :

U (essai)= 500V

Température d'essai= 20°C

R isol (inducteur/masse) = 1.02GΩ, DAR = 1.2

R isol (induit / masse) = 1.56 GΩ, DAR = 1.3

R isol (compensation / masse) = 1.4 GΩ, DAR = 1.1

Résistance ohmique :

Température d'essais

R ohm (inducteur) = 296 Ω.

R ohm (induit+auxiliaire) = 1869 mΩ.

R ohm (compensation) = 120.1 mΩ.

Mesure d'échauffement :

Température ambiante :20°C

Echauffement coté palier avant 45°C

Echauffement coté palier arrière 48°C

Essai à vide :

U (dc) = 123.5

I (dc) = 3.1A

N (tr/min) = 1750

Contrôle mécanique :

Après avoir démonté le moteur et nettoyage les partie mécaniques y compris le collecteur on constaté les deux roulements et les balais sont défectueux aussi une partie d'enroulement et chauffée, voir figure III.1

Etablissement un bon de sortie matériel du magasin :

Après le recensement des pièces a changé tel que les deux roulements, les deux balais on a procédé de la préparation d'un bon sortie matériel dans le système de gestion maintenance

Chapitre (03): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique)

assisté par ordinateur GMAO pour l'acquisition des pièces du magasin. En même temps on procédé du changement de la bobine au le fil est chauffé du pole principale

Essais finaux :

Mesures électriques :

➤ Résistance d'isolement :

U (essai)= 500V

Température d'essai= 20°C

R isol (inducteur/masse) = 3.49GΩ, DAR = 1.25

R isol (induit / masse) = 1.56 GΩ, DAR = 1.3

R isol (compensation / masse) = 2.51 GΩ, DAR = 1.4

Résistance ohmique :

Température d'essais

R ohm (inducteur) = 277 Ω.

R ohm (induit+auxiliaire) = 1869 mΩ.

R ohm (compensation) = 188.1 mΩ.

Mesure d'échauffement :

Température ambiante :20°C

Echauffement coté palier avant 34°C

Echauffement coté palier arrière 33°C

Essai à vide :

U (dc) = 123.5

I (dc) = 2.1A

N (tr/min) = 1750

Establishment du rapport final:

La dernière étape c'est l'établissement du rapport final pour mettre à disposition au client, voir figure III.4



Figure.III.1. Collecteur et balais du moteur à excitation compound

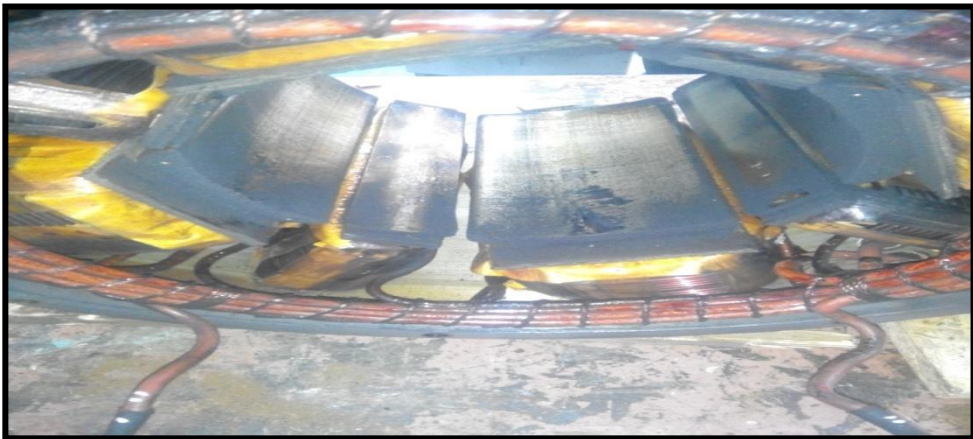


Figure.III.2. Fil chauffé du bobine du pole inducteur.

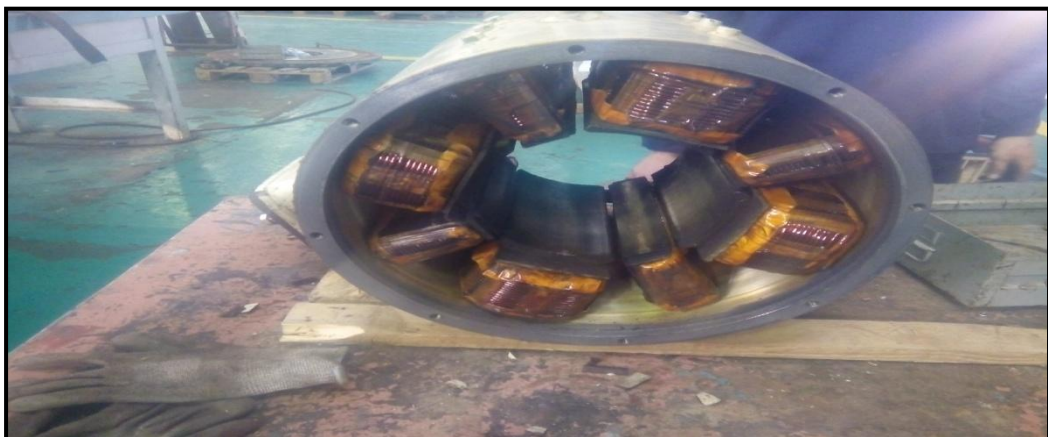


Figure.III.3.Inducteur du moteur à excitation compound

Chapitre (03): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique)



Copie de AMASQUE Fiche moteur.xls

BISKRA LE 18/03/2019
BT n°
Ref at n° 027/19

RAPPORT D'ESSAIS MOTEUR à courant continu

Nature des Travaux : **E n f r e t i e n**

ORIGINE : DP TFT

MARQUE : SICME MOTORORI
TYPE : C7LNCVEdB3B14
PUISSANCE : 0,56KW
TENSION : 125VDC

VITESSE : 1750 tr/min
INTENSITE : 6,1 A

N° 844/85/9

EXCITATION : COMPOUND
RouL. C A :
RouL. C O A :

1. ESSAIS :

Résistance d'isolement

U(essai) = 500 V
Tempé d'essai = 20°C

Risol(Inducteur/ masse) = 3,49 GΩ DAR = 1,25
Risol(Induit/ masse) = 1,56 GΩ DAR = 1,3
Risol(Induit+auxiliaire/masse) = 1,56 GΩ DAR = 1,4

Résistance ohmique

Tempé d'essai = 20°C

Rohm (Inducteur) = 277 Ω
Rohm (Inducteur/auxiliaire) = 1869 mΩ
Rohm (Compensation) = 188,1 mΩ

Rigidité diélectrique

U(essai) =
Durée = 1 MINUTES

Essai à vide

Uo(DC) = 123,5 No(tr/min) = 1750
Io(DC) = 2,1 A

Echauffement

Tempé (initiale) = 20°C

| | Temp(5 MIN) | Temp(15 MIN) | Temp(30 MIN) | Temp(45 MIN) | Temp(60 MIN) |
|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Stator | 34 | 35 | 34 | 33 | 33 |
| Palier avant | 32 | 33 | 34 | 34 | 34 |
| Palier arrière | 30 | 32 | 33 | 33 | 33 |

2. COMMENTAIRES

Essais concluants

Figure.III.4.Rapport finale

Chapitre (03): Maintenance moteur à courant à cc composé (cas pratique)

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu l'impact le système GMAO sur la maintenance du moteur aussi le changement des résultats des essais du moteur avant et après les contrôles électriques et mécaniques, en fin le moteur est en fonction dans les caractéristiques nominale sans échauffement.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés à l'étude de la machine à courant continu et leur composition ainsi que le principe de fonctionnement en moteur et en génératrice.

À un niveau de tension d'alimentation égal, un bobinage de type ondulé comporte généralement moins de conducteurs qu'un bobinage imbriqué en raison de la mise en série des sections de bobinage. Cependant, à nombre de sections égal, les conducteurs d'un bobinage ondulé sont traversés par un plus grand courant puisque le nombre de voies d'enroulement est plus faible dans le cas du bobinage ondulé. Les conducteurs d'un bobinage ondulé doivent avoir une section de fil plus importante. On a donc un gain sur le prix puisque les grandes sections de cuivre sont moins chères que les petites.

Généralement, un bobinage imbriqué nécessite des connections équipotentielles sur le collecteur pour ne pas faire circuler les courants de déséquilibre par les balais. Pour le bobinage ondulé, ces liaisons ne sont pas nécessaires en raison de la mise en série de sections de bobinage qui sont sous des pôles différents.

Il faut signaler aussi qu'un bobinage ondulé permet d'utiliser une seule paire de charbons quelque soit le nombre de pôles du moteur. Cependant, il est possible aussi de réaliser un bobinage imbriqué avec des liaisons équipotentielles sur le collecteur pour minimiser le nombre de balais lorsque le nombre de pôles est élevé.

Il est à noter que le chapitre trois est un cas pratique de maintenance d'un moteur à courant continu à excitation composée, dans ce cas on soulève l'importance du système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur ainsi que les différentes étapes de la maintenance du moteur et les résultats obtenus.

Bibliographie

Références Bibliographies

- [1] MERLET- technologie d'électricité générale et professionnelle-TOME III.
- [2] IiltenAtman, Banc d'essais virtuel pour un moteur à courant continu; université
Abderahman Mira – béjaia.
- [3] Electrotechnique©FabriceSincère;version3.0.5[http://pages perso orange.fr/fabrice.sincere](http://pages.perso.orange.fr/fabrice.sincere).
- [4] Optimisation des Paramètres Dimensionnels des Machines à Courant Continu par l'étude des Phénomènes de Commutation. AurélienVAUQUELIN1;21 Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire d'Electromécanique de Compiègne BP20529 60205 Compiègne–France
2Valeo Equipement Electrique Moteur BP 71 – 38291 Saint-Quentin-Fallavier Cedex – France.
- [5] A. Binder. Comparaison of the electromagnetical performance of simplex wave and lap windings. IEEE Transaction on Energy Conversion, 8(4) :698703, 1993
- [6] M. Fassenet. Modeling of commutation and influences of armature winding choice on performances of permanent magnet d.c. motor. ICEM Espoo Finland, pages 16971701, 2000.
- [7] Dr.MEGHNIBILLEL.Maintenance industrielle, université KASDI
MERBEH.OUERGLA.
- [8] Guide d'isolement CHAUVIN ARNOUX