

I.1 Caractérisation et classification des machines électriques :

Une machine : par définition est un ensemble d'appareils ou d'organes qui sont combinés pour « Recevoir » Une forme d'énergie . La « Transformer », ou La « Convertir » pour la « Restituer » par la suite sous une autre forme pour « produire » Un effet donné.

On peut classer dans cette catégorie et cela du point de vue physique : Une turbine , Une pompe , Un compresseur , Un moteur , Un générateur etc... , puisqu'ils transforment , convertissent ou produisent une certaine énergie .

D'une manière générale , on ne classe dans la catégorie des « Machines électriques » que les ensembles utilisant ou produisant de l'énergie électrique .

I.1.1 Caractérisation d'une machine électrique :

Toute machine électrique est caractérisée par sa plaque signalétique ou "Carte d'identité" de la machine qui renferme les éléments d'information suivants :

- Marque et Numéro de série
- Puissance : généralement la puissance utile nominale $P [W]$
- Forme et valeur du courant : (Alternatif ou continu) $I [A]$
- Tensions d'utilisation $U [V]$.
- Type de construction : défini par le milieu dans lequel la machine sera destiné à travailler .

Ex : IP23 : type de moteur protégé .

IP44 : type de moteur fermé , etc ...

- Classe d'isolation : définissant la température maximale d'échauffement permise .

Ex : E (115°C : température limite du bobinage , échauffement + ambience) .

B (120°C)

F (140°C)

Certaines caractéristiques spécifiques sont également mentionnées :

- Nombre de pôles . (Machines - Tournautes) .
- Vitesse de rotation : (" ") $n [trg/min]$
- Fréquence (Machines à courant alternatif) $f [Hz]$
- Facteur de puissance (Machines à courant alternatif) $\cos \varphi$
- Rapport de transformation (Transformateur) $m (\%)$.

I.1.2. Classification des machines électriques :

En général, Les machines électriques peuvent être classées de différentes manières

- selon :
- La puissance
 - La tension
 - La vitesse
 - La forme du courant.

a) Classification selon la puissance :

- Micro-machines $P = \text{quelques W}$
- Machines de faible puissance $P : \text{de } 100 \text{ W à } 10 \text{ kW}$
- Machines de moyenne puissance $P : \text{de } 10 \text{ à } 100 \text{ kW}$
- Machines de grande puissance $P : \text{de } 100 \text{ à } 1000 \text{ kW}$
- Machines de très grande puissance $P > \text{à } 1 \text{ MW}$

b) Classification selon la tension :

- Machines de très basse tension T.B.T $U < 48 \text{ V}$
- Machines de basse - moyenne tension BT - MT $U : 220/380 \text{ à } 30 \text{ kV}$
- Machines de haute tension H.T $U > \text{à } 30 \text{ kV}$

c) Classification selon la vitesse (Machines - Tournautes) :

- Machines très lentes $n < \text{à } 100 \text{ trs/min}$
- Machines lentes $n : \text{de } 100 \text{ à } 250 \text{ trs/min}$
- Machines de vitesse moyenne $n : \text{de } 250 \text{ à } 1000 \text{ trs/min}$
- Machines rapides $n : \text{de } 1000 \text{ à } 3000 \text{ trs/min}$
- Machines très rapides $n > \text{à } 3000 \text{ trs/min}$

N.B : Les vitesses les plus faibles à l'heure actuelle sont de l'ordre de 14 trs/min et les plus rapides peuvent aller jusqu'à (50.000 ou 60.000) trs/min.

d) Classification selon la forme du courant :

1- Machines tournantes à courant continu (M.C.C.)

- Moteurs ou générateurs :
 - à excitation séparée ou indépendante.
 - " " Shunt ou parallèle.
 - " " Série.
 - " " Compound ou composée.

2- Machines tournantes à courant alternatif (M.C.A.)

- Moteurs asynchrone.
- Moteurs synchrones ou générateurs synchrones (Alternateur).

- Moteurs Universels
- " à répulsion ou à répulsion induction.
- " Linéaires etc...

3. Machines Statiques:

- Transformateurs (tension ou de courant).
- Convertisseurs de l'électronique de puissance:
 - Redresseurs $CA \rightarrow C.C$
 - Onduleurs $C.C \rightarrow CA$
 - Gradateurs $CA \text{ Fixe} \rightarrow C.A \text{ variable}$
 - Hacheurs $C.C \text{ fixe} \rightarrow C.C \text{ variable}$
 - Cyclo convertisseurs, $C.A \text{ de fréquence } f_1 \rightarrow C.A \text{ de fréquence } f_2$.

N.B: Les convertisseurs statiques de l'électronique de puissance permettent l'adaptation ou la régulation des systèmes dont la forme de courant, la tension ou la fréquence sont différentes. Maintenant on les utilise aussi pour la régulation de vitesse des groupes tournants (ex: Traction électrique, transport d'énergie en courant continu etc...).

I.2. Constitution générale des machines électriques:

Les principales machines électriques utilisées, sont basées sur le phénomène « d'induction électromagnétique »

Elles comportent toutes des éléments communs qui présentent des analogies de construction. On distingue trois parties essentielles:

1. partie mécanique:

Servant de support pour les différents éléments de la machine ou assurant sa protection et sa liaison avec l'extérieur.

2. partie magnétique:

Servant à la canalisation et au transport des lignes de champ magnétique. du lieu de production (là où elles sont produites à partir d'une source d'excitation continue ou alternative) au lieu d'utilisation (là où elles vont induire des courants).

3. partie électronique:

Servant à la canalisation du courant électrique à l'intérieur de la machine et à la connexion de cette dernière avec le circuit électrique extérieur.

I.2.1 Organes mécaniques: (pour machines tournantes).

• Carcasse: Partie sur laquelle sont fixés les pôles principaux ou auxiliaires (MCC), ou bien le circuit magnétique statorique pour (MCA). Elle assure l'assemblage des différentes parties ainsi que la protection et le refroidissement de la machine. Elle est en acier ou en fonte avec des formes diverses. Une partie de la carcasse qui sert au passage du flux produit par les pôles principaux et auxiliaires est appelée « Culasse ».

• Arbre: Partie supportant l'induit (MCC) ou le rotor (MCA) ainsi que tous les autres organes tournants.

• Paliers, roulement, coussinets: Assurent la rotation de la partie tournante par rapport à la partie fixe (stator).

• Ventilateur: Assurant le refroidissement de la machine.

• Accouplements: Assurant la transmission du mouvement de rotation vers l'extérieur de la machine.

• Supports de levage - de fixation - de transport: Facilitant le transport, la fixation et la maintenance de la machine.

• Équilibrage des masses tournantes: Toute masse en rotation présente des asymétries par rapport à l'axe réel de rotation, entraînant des vibrations. Pour remédier à ce phénomène on utilise des contre-poids d'équilibrage.

N.B: Pour les machines statiques: Celle-ci possèdent les mêmes organes sauf que la partie tournante est supprimée.

I.2.2. Circuit magnétique:

Le circuit magnétique est destiné à canaliser les lignes de force du champ magnétique et à supporter les bobinages (enroulements) induits et inducteurs (MCC) ou rotoriques et statoriques pour (MCA).

a/ propriétés d'un circuit magnétique:

Un circuit de bonne qualité doit:

- Avoir une faible réluctance afin de réduire les pertes et de minimiser les fuites.

- Être constitué de matériaux possédant de bonnes qualités magnétiques a'

Savoir :

- Un bon coefficient de perméabilité

- Un bon cycle d'hystérésis.

- Une bonne résistivité.

Ces qualités permettent de limiter les pertes par hystérésis et par courant de Foucault qui sont fonction de l'induction magnétique et de la fréquence.

- Être feuilleté et constitué de matériaux à usinage facile (découpage...)

- Être de forme économique : Sans omettre que la forme influe sur le fonctionnement et le rendement de la machine (circuits préférentiellement fermés).

b/ Circuit magnétique d'une machine tournante :

Se compose de deux parties :

- Une partie fixe appelée : (Inducteur) pour les MCC et (Stator) pour les MCA.

- Une partie tournante appelée : (Induit) pour les MCC et (Rotor) pour les MCA.

N.B : L'entrefer doit être aussi réduit que possible.

1 - Cas des machines à courant continu (MCC)

Le circuit magnétique comprend :

- Une carcasse ou culasse : qui constitue la partie extérieure, elle est en fonte ou en acier moulé. elle sert de support aux pôles inducteurs.

- Les noyaux polaires : qui supportent directement les bobines inductrices. ils peuvent être massifs ou feuilletés. ils sont directement fixés sur la culasse on utilise généralement des tôles feuilletées en « Acier au Silicium »

2 - Cas des machines à courant alternatif (MCA) :

Elles présentent beaucoup d'analogie avec les MCC. mais elles diffèrent du point de vue de leur conception.

- Circuit magnétique statorique : Formé par des couronnes en tôles d'acier sur lesquelles on trouve des encoches qui reçoivent les bobines du stator.

Le circuit magnétique est généralement monté à l'intérieur d'une carcasse.

- Circuit magnétique rotorique : Pour le rotor il y a des spécificités pour chaque type de machine.

- Rotor d'une machine synchrone (Circuit inducteur formé par des noyaux polaires). Le rotor peut être à pôles saillants ou à pôles lisses.
- Rotor d'une machine asynchrone: Le rotor peut être du type à cage ou bien du type bobiné.

3 - Cas des machines statiques (transformateur):

Les circuits magnétiques de transformateurs sont constitués en tôles feuilletées au silicium à cristaux orientés et laminées à froid. Les tôles sont isolées entre elles de la même manière que pour les machines tournantes.

Il existe diverses formes de circuits magnétiques principalement pour les transformateurs de grande puissance.

I.2.3 Organes électriques:

Toutes les machines à induction électromagnétique comportent deux enroulements principaux:

- Enroulement producteur du champ électromagnétique, c'est l'enroulement « Inducteur ».
- Enroulement subissant l'effet du champ électromagnétique, c'est l'enroulement « Induit ».

Les enroulements sont reliés avec le circuit extérieur par l'intermédiaire d'une plaque à bornes lorsqu'ils sont fixes ou à travers un collecteur ou des bagues sur lesquelles frottent des balais lorsqu'ils sont tournants.

1. Cas des machines tournantes:

- Enroulements inducteurs:

ces enroulements ou bobines sont placés soit sur:

- noyaux polaires MCC et peuvent être connectés en série ou en parallèle pour créer un champ fixe.

ou bien dans:

- les encoches du stator MCA pour créer un champ tournant.

- Enroulements induits: sont le siège des f.e.m.'s induites, ils sont

logés dans les encoches de l'induit (MCC) ou du rotor (MCA).

2. Cas du transformateur:

Les enroulements dans un transformateur sont placés sur les colonnes du circuit magnétique feuilleté et ils sont appelés:

- Enroulement primaire. (Inducteur)
- Enroulement secondaire (Induit).

I.3 Les matériaux utilisés dans les machines électriques:

Diverses matériaux sont utilisés dans la conception des machines électriques, afin de produire, de transmettre ou d'isoler un des phénomènes qui s'y produisent.

Les matériaux utilisés dans les machines électriques peuvent être divisés en trois catégories:

a/ Les matériaux de construction:

Qui sont utilisés pour la fabrication des pièces et des éléments des machines qui sont destinés surtout à transmettre et à recevoir des charges mécaniques et à donner à certains éléments les formes requises pour que la machine puisse fonctionner normalement (Ex: roulement pour la transmission du mouvement de rotation).

Les matériaux utilisés sont:

- Fonte ordinaire
- Aciers au carbone et Aciers alliés.
- Métaux non-Ferreux et leurs alliages.
- Les matières plastiques.

Les propriétés mécaniques d'une matière sont généralement caractérisées par les données suivantes:

- résistance à la rupture.
- Limite d'écoulement
- Limite de fatigue
- Allongement en %
- Essai au choc.

b/ Les matériaux actifs :

Les matériaux magnétiques utilisés sont :

- Fonte
- Acier coulé et Tôles d'acier.
- Alliages d'acier (Ex: alliages d'HEUSSLER).

Les matériaux électriques utilisés sont :

- Cuivre, Or, Argent, Aluminium

Sont des conducteurs électriques et magnétiques. ils servent à créer les conditions nécessaires pour que les processus « électromagnétiques » puissent avoir lieu.

c/ Les matériaux isolants :

Sont utilisés pour isoler les pièces ou parties sous tension des autres pièces de la machine. Nous ne dirons ici que quelques mots sur l'isolation des machines, car, dans ce domaine le progrès rapide de la chimie apporte chaque jour du nouveau dans la fabrication des matières plastique, matière à base de verre ou d'origine minérale [mica...] qui ont une haute rigidité électrique et une conductibilité thermique supérieure à celle des isolants naturels (soie, coton, papier...).

Les isolations varient d'ailleurs d'après la classe de la machine (A, E, B...) suivant la température maximum admise.

Désig	Y	A	E	B	F	H	C
Temp. Admissible [C°]	90	150	120	130	155	180	>180

Remarque :

Par définition la puissance nominale d'une machine est la puissance maximale que peut fournir pour que l'accroissement de température ne dépasse la température admissible de la matière isolante.

* Degré de protection :

(Température, humidité, vibration, choc...)

Degré de protection caractérisé par IP (International, protection)

IPXY :

X : Caractérise le degré de protection contre la pénétration des corps étrangers et contre les contacts directs (protection du personnel contre le dispositif sous tension)

0 : Sans protection

1 : Protection contre la pénétration des corps solides de $\phi > 50 \text{ mm}$.

2 : " " " " $\phi > 12 \text{ mm}$

3 : " " " " $\phi > 2,5 \text{ mm}$

4 : " " " " $\phi > 1 \text{ mm}$.

5 : " " " importantes de la poussières

6 : " " " total de la poussières.

Y : Caractérise la protection contre la pénétration de l'eau.

0 : Sans protection.

1 : protection contre les chutes verticales de gouttes d'eau.

2 : " " l'eau tombant en pluie dans une direction faisant avec la vertical $\alpha < 15^\circ$.

3 : " " " " " " " " $\alpha < 60^\circ$

4 : " " les projections d'eau dans toutes les directions

5 : " " " " " " " " " " sous pression 30 kN/m^2

6 : " " " " " " " " " " " " 100 kN/m^2

7 : " supportent une vraie immersion 30 mm .

8 : " supportent l'immersion permanente à une profondeur donnée.

Le degré les plus répandus sont : IP 23, 44, 53, 00, 11.

* Mode de refroidissement : IC "international cooling"

Les modes de refroidissement sont désignés par 3 lettres et 4 chiffres. La troisième lettre indique le type de refroidissement (A : air, H : hydrogène, W : eau).

Deux premiers chiffres caractérisent le mode de refroidissement à l'intérieur de la machine, deux derniers chiffres caractérisent le mode de refroidissement à l'extérieur.

Exemple:

IC 01: La machine à auto-ventilation, le ventilateur est fixé sur l'arbre de la machine

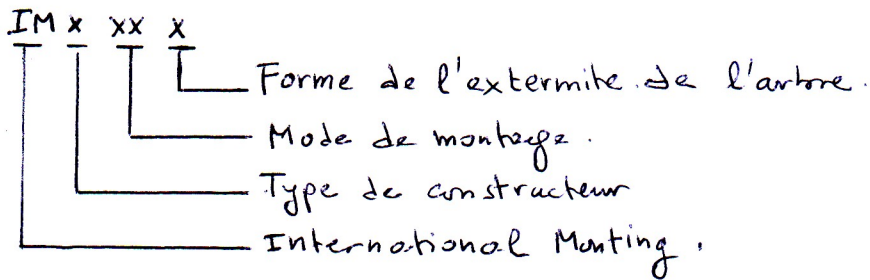
IC 0141: La machine fermée, le ventilateur est fixé sur l'arbre à l'extérieur de la machine

IC 17: La machine protégée à ventilation forcée.

* Les modes de montage IM: "International Mounting":

L'exécution d'après le mode montage est désigné par deux lettres et quatre chiffres.

Exemple:



IM 1001: La machine à deux flasques, à pattes de fixation, à arbre horizontal, l'arbre de sortie est cylindrique.

IM 3011: La machine à deux flasques, sans pattes de fixation, à arbre vertical, l'arbre de sortie cylindrique est dirigé en bas.

Chapitre 02: Machines à courant continu (MCC):

II.1 Introduction:

Les machines à courant continu sont des machines tournantes qui transforment

l'énergie mécanique en énergie électrique, ou inversement.

Comme toutes les machines électriques, elles sont réversibles, ce qui signifie que la même machine peut fonctionner indifféremment en "Moteur" ou en "dynamo" (ou emploiera aussi le mot "génératrice" qui est synonyme de "dynamo").

Une machine à courant continu comporte deux circuits bobinés:

- L'un est un circuit inducteur, porté par le stator, et il crée un champ de direction fixé sous les pôles de la machine, il est pour cela appelé "circuit de champ", ou encore "circuit d'excitation".
- L'autre est un circuit induit: porté par l'armature du rotor, et il crée des forces électromagnétiques en moteur, ou de f.e.m induites en dynamo, il est appelé "induit" ou encore "circuit d'armature" et il est bobiné d'une façon relativement compliquée (enroulements "impriés" ou "ondulés").

II.2. Constitution du système inducteur Des MCC:

Un ensemble inducteur comprend:

- Une culasse
- Des noyaux polaires.
- Des bobines inductrices.

II.2.1 La culasse de l'inducteur:

C'est elle qui ferme le circuit magnétique.

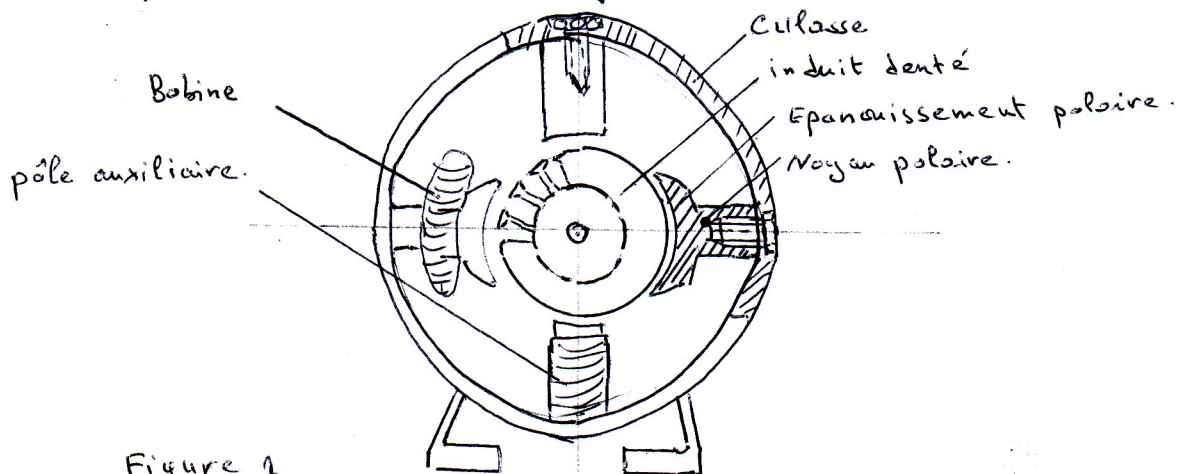


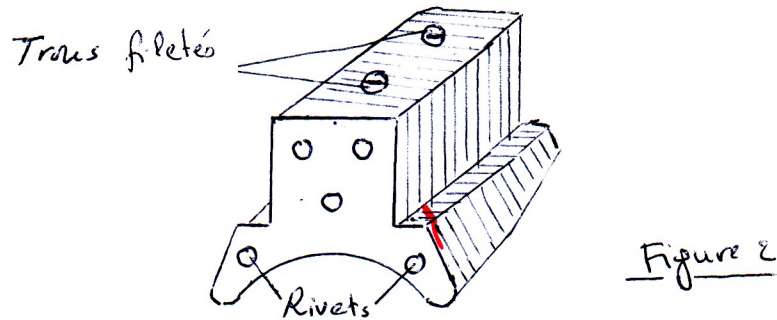
Figure 1.

Figure 1: Détail du circuit magnétique d'un moteur tri-polaire à courant continu avec pôles auxiliaires.

II.2.2 Les noyaux polaires:

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

Figure 2: Vue d'un pôle inducteur de dynamo à courant continu. Les deux trous filetés de la partie supérieure serviront à fixer le noyau sur la culasse. Les cinq rivets d'assemblage sont isolés des tôles par un tube isolateur.



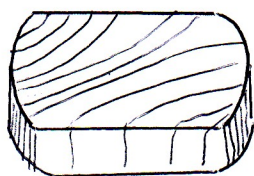
- Les noyaux polaires peuvent être massifs ou feuilletés
- Les épanouissement polaires sont destinés à augmenter la section de passage du flux de l'inducteur à l'induit.
- Les épanouissement polaires sont feuilletés pour diminuer les courants de Foucault.

II.2.3 Les bobines inductrices:

Elles sont constituées par des spires de fil en 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.

La section du fil et le nombre de spires enroulées varient avec l'importance de la machine et son type d'excitation.



gabarit

« gabarit en bois »

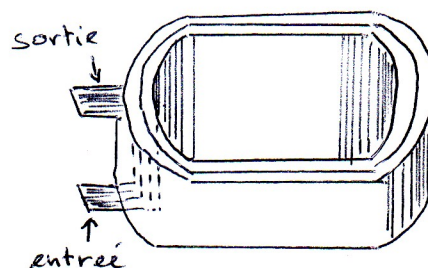


Figure 3.

II.2.4 : 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 (figure 1).

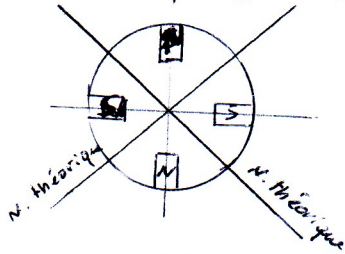
Ces pôles comportent un enroulement de grosse section alimenté en série avec le courant de l'induit.

a) Rôle des pôles auxiliaires :

Lorsque, dans la rotation de la machine, une lame du collecteur quitte le balai sous laquelle elle vient de passer, il se produit une étincelle qui sera d'autant plus importante que la puissance et la vitesse demandées seront élevées.

Ces étincelles sont engendrées par la tension de réactance, qui prend naissance dans les spires court-circuitées sous les balais.

Pour diminuer ces étincelles, qui abiment les collecteurs, on peut décaler les balais dans une zone de quelques degrés par rapport à la ligne neutre.



b) Enroulement des bobines des pôles auxiliaires :

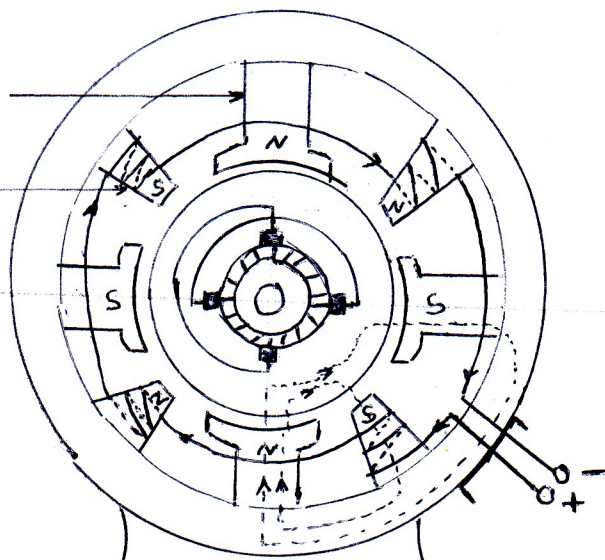
Il est exécuté en utilisant des formes en bois, comme s'il s'agissait des pôles principaux.

Les conducteurs employés sont constitués par du fil de cuivre rond pour les petites machines et par une bande de cuivre pour les machines importantes.

c) Exemple :

pôles principal

pôles auxiliaire



plaque à bornes

Figure 4

Figure 4: Dynamo tétrapolaire à pôles auxiliaires.

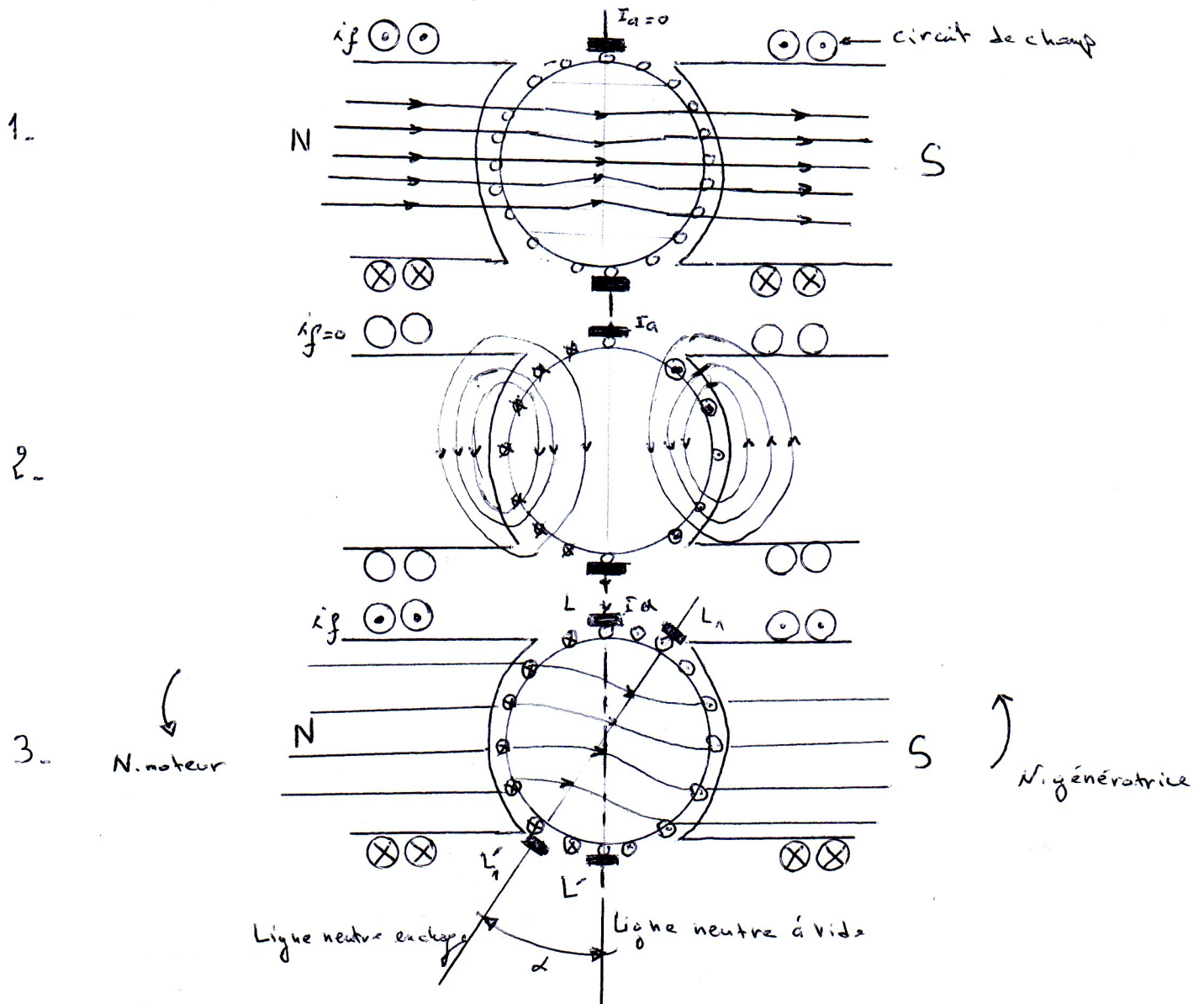
II.2.5 Enroulement de Compensation:

a/ Réaction d'induit:

Le flux traversant la machine était dû au circuit inducteur (pôle principal + pôle auxiliaire); Ceci n'est exacte que lorsqu'il ne circule aucun courant I_a dans l'induit. En effet, ce courant induit crée lui aussi un flux; Le flux résultant qui traverse la machine est alors constitué par la somme de ces deux flux.

La situation est représentée schématiquement sur la figure suivante, qui montre l'allure des lignes d'induction dans 3 cas:

- 1/ A vide, avec seul le circuit de champ alimenté par un courant I_f (avec $I_a=0$)
- 2/ En supposant que l'induit seul soit traversé par un courant I_a (avec $I_f=0$)
- 3/ En charge normale, lorsque les 2 circuits sont traversés par des courants.



on voit que la ligne neutre en charge $L_1 L'_1$ est en réalité décalée par rapport à la ligne neutre à vide LL' d'un certain angle α .

• Pour supprimer la distorsion du flux dans l'induit (Pour recueillir la f.e.m maximale en charge), il faudrait donc :

- décaler la ligne des balais de cet angle α .
- En plaçant des enroulements de compensation.

Remarque:

Réaction magnétique de l'induit:
$$h_m = \bar{E}_{\text{vide}} - \bar{E}_{\text{charge}}$$

b/ Enroulement de compensation:

En plaçant, dans les épanouissements polaires, des conducteurs de forte section parcourus par le courant de l'induit.

Ce courant doit avoir un sens opposé au courant qui traverse les conducteurs de l'induit.

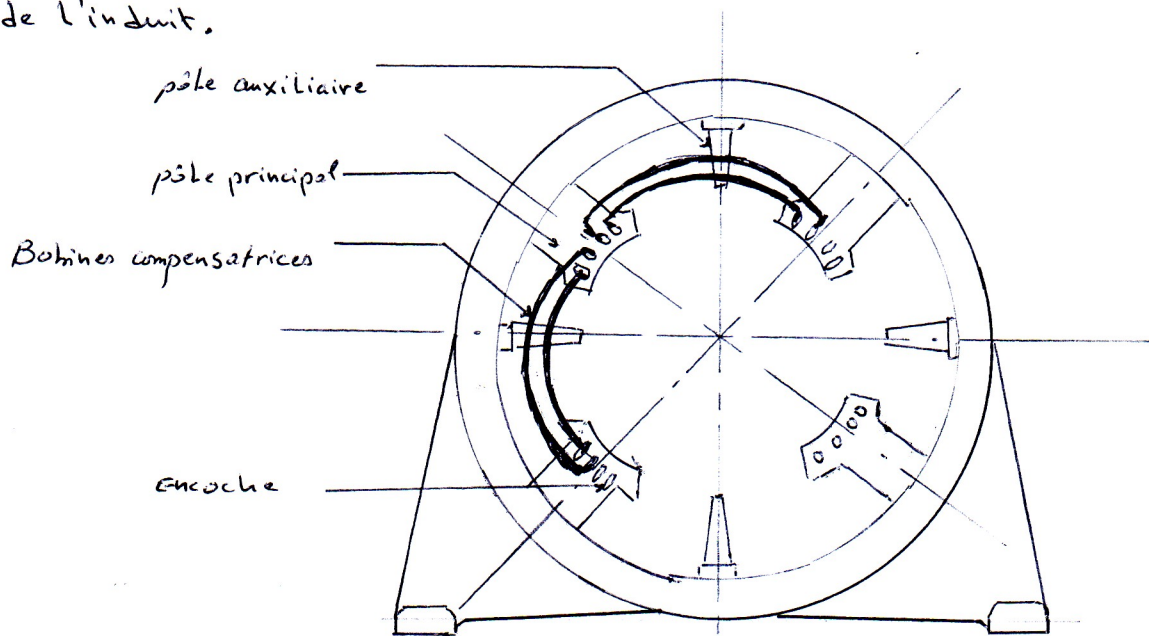


Figure: Coupe d'un circuit magnétique à 4 pôles auxiliaires et principaux.

on remarque que ces derniers comportent des encoches pour loger l'enroulement de compensation.

II.3 Constitution de l'induit Des Machines à courant continu (MCC):

II.3.1 Le Tambour d'induit:

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

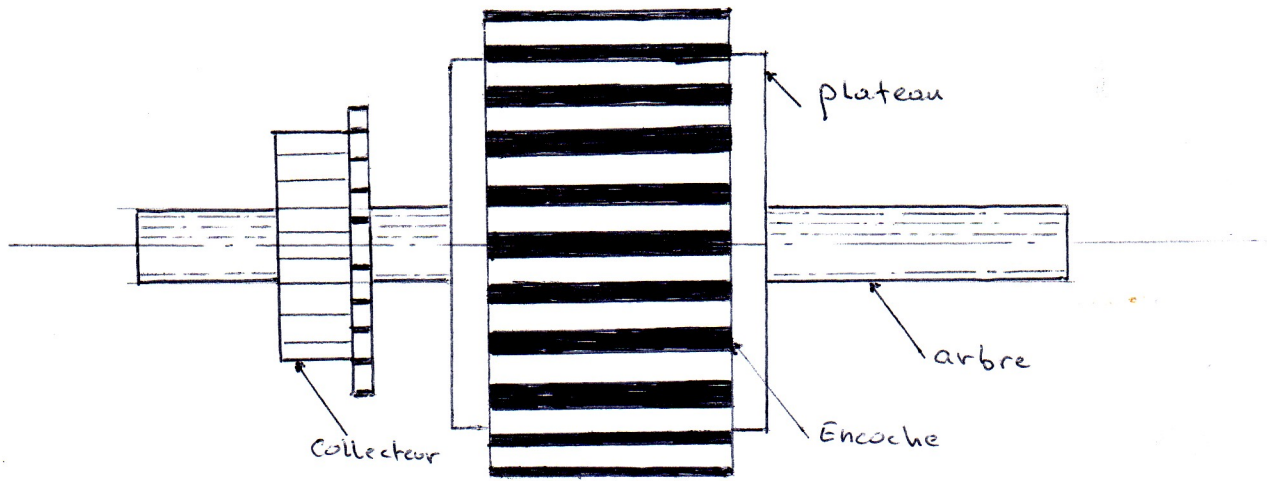


Figure: Induit en tambour de machine à.c.c. Les plateaux maintiennent les tôles et servent d'appui au bobinage.

II.3.2 Le Collecteur:

Il est composé de lames de cuivre profilées, isolées les unes des autres par du mica ou de la micaïte dure. Servant de connexion entre faisceaux d'une part et les balais d'autre part.

On trouve que la tension induite (génératrice) entre les balais sera redressée à chaque demi-alternance, l'ensemble "collecteur plus balais" inverse le sens de la tension à chaque demi-alternance, c.à.d "redresse" ou encore "commute" la tension induite.

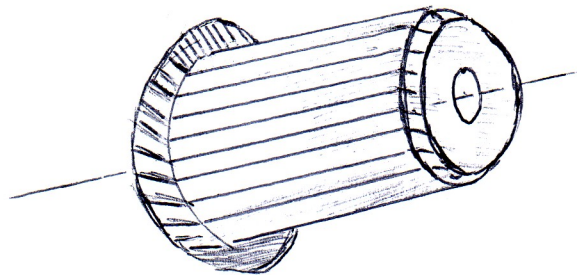


Figure: Vue d'un collecteur à lames fraisées pour le logement des entrées et sorties des sections de bobinage.

II.3.3 Les Balais:

Les charbons des balais servent de trait d'union entre le bobinage de l'induit et le réseau. Ils doivent pouvoir supporter environ 10 A/cm^2 de surface de frottement. Avec un bobinage normal, un balai doit couvrir sensiblement la largeur d'une lame et demie du collecteur.

Les balais sont supportés par des porte-balais, qui peuvent être déplaçables dans le sens du pourtour du collecteur et réglables par rapport à l'éloignement avec celui-ci.

Les balais sont fabriqués soit avec du charbon des cornues du coke de gaz, soit avec de l'anthracite pulvérisée, mélangée à des poudres minérales et agglomérée.

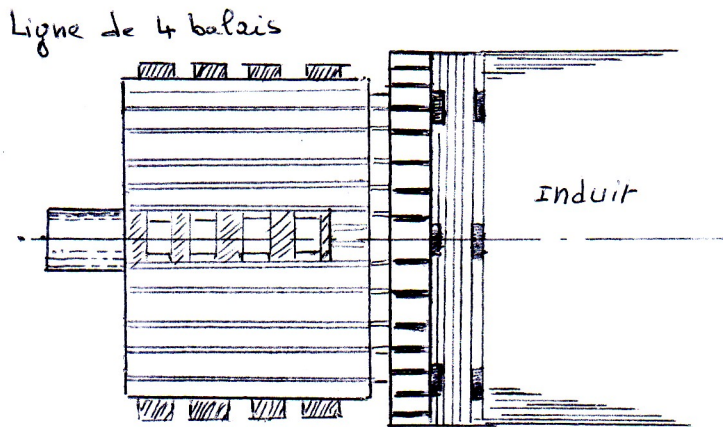


Figure a :

Collecteur d'induit à 4 lignes de balais. La ligne du milieu est décalée vers la gauche par rapport aux deux autres lignes, afin de répartir l'usure du collecteur sur toute sa largeur.

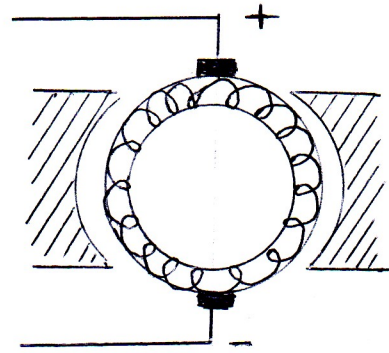


Figure b

II.3.4 Forme des Rainures ou Encoches:

Les rainures pratiquées sur la périphérie des carcasses d'induits de machines à courant continu se présentent sous la forme d'encoches ouvertes et semi-fermées.

L'intervalle compris entre deux encoches se nomme « dent ». Lorsque les rainures sont rectangulaires, les dents sont plus étroites à la base que sur la périphérie.

a/ Les encoches ouvertes:

Elles permettent d'employer des sections gabariées et de placer aisément les faisceaux.

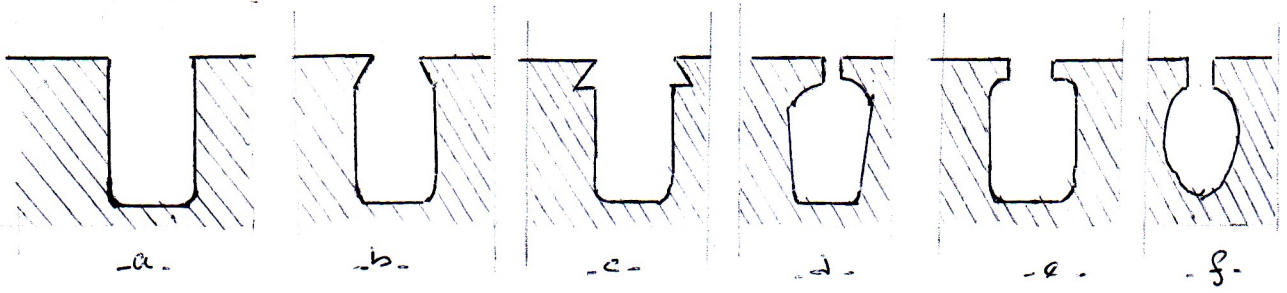


Figure 5: Profils d'encoches:

- a: Encoche ouverte rectangulaire.
- c: " " " à queue d'aronc pour la pose d'une cale.
- b, d, e: Encoches semi-fermées pour fils égrenés
- f: Encoche semi-fermée pour petites machines.

b/ Les encoches semi-fermées

Ce type d'encoche diminue la réluctance de l'entrefer et permet l'emploi de faisceaux importants qui seront facilement maintenus en place par une cale isolante. (Figure 5).

III.4 Lois fondamentales en Electrotechnique:

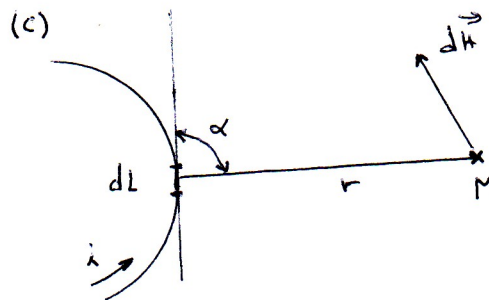
III.4.1 Formule de BOIT et SAVART:

Formule de BOIT et SAVART, donnant le module élémentaire du champ:

$$dH = \frac{i}{4\pi} \frac{dL \cdot \sin\alpha}{r^2}$$

avec:

α : désignant l'angle entre l'élément de circuit et la droite joignant cet élément au point M.



III.4.2 Théorème D'ampère:

La formule de BOIT et SAVART permettait de calculer les champs magnétiques dans les cas de circuits ayant une géométrie simple. Il existe toute fois d'autres formules pour le calcul des champs et, en particulier, une formule intégrale

Connue sous le nom de "théorème d'AMPÈRE".

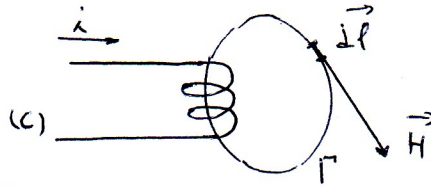
$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}$$

\vec{j} : représente le vecteur dit "densité de courant de conduction".

- Une simple intégration conduit à la forme suivante, par conséquent équivalente :

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{L} = n \cdot i$$

- La circulation du champ \vec{H} le long d'une ligne d'induction Γ fermée entourant un circuit 'C' parcouru par un courant i est égale au produit du courant i par le nombre de fois que cette ligne Γ traverse le circuit 'C'.



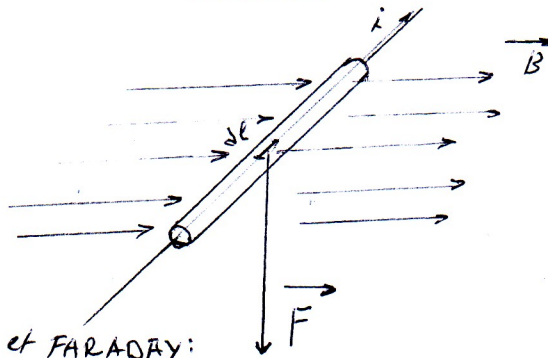
- Le nombre de fois = nombre de spires.

• La force magnétomotrice F_{mm}

$$F_{mm} = n i$$

II.4.3. Expression de LAPLACE :

$$F = L \cdot B \cdot i \quad (N)$$



II.4.4 Expression de LENZ et FARADAY :

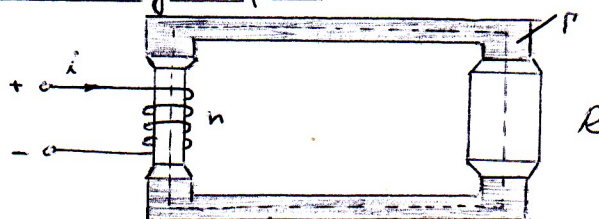
La Loi de LENZ et FARADAY, sous sa forme générale, donne la valeur du champ électrique \vec{E} induit par une variation d'induction $\vec{\beta}$:

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

- pour les circuits filiformes bobinés, l'expression précédente peut se mettre sous la forme simplifiée suivante, qui donne la f.e.m en fonction de la variation du flux :

$$e = n \frac{d\phi}{dt} \quad (V)$$

II.4.5 Réductance d'un circuit magnétique :



$$\oint H \cdot dl = ni$$

$$R \cdot \phi = n \cdot i$$

$$\text{avec: } R = \frac{\oint}{\mu \cdot S} \frac{dl}{\mu \cdot S}$$

R: Réactance magnétique.

II.4.6 Force électromotrice d'une machine à courant continu:

$$E = \frac{P}{a} \cdot \frac{N}{60} \cdot n \cdot \phi$$

$$E = K_e \cdot N \cdot \phi$$

avec ϕ [wb]

E [V]

N [tr/min]

P: nombre de paire de pôles

n: " " faisceau = nombre total de conducteurs actifs.

a: " " voies d'enroulement.

$$K_e = \frac{P \cdot n}{60 \cdot a}$$

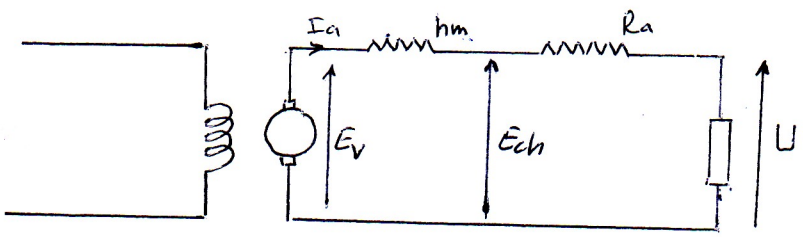
• Réaction d'induit h_m :

$$h_m = E_v - E_{ch}$$

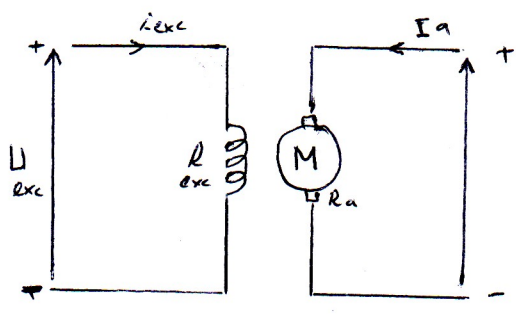
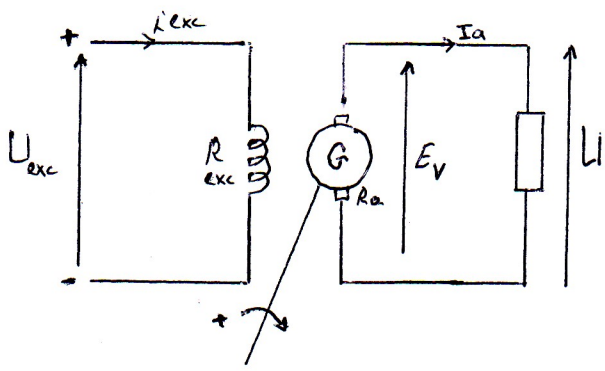
$$h_m = \frac{P \cdot N}{a \cdot 60} \cdot n (-\phi_{ch} + \phi_v)$$

$$h = h_m + R_a I_a$$

$$E_v - U = h = R_a I_a + h_m$$



II.4.7 principe de fonctionnement (G.C.C) et (M.C.C):



LENZ:
$$e = n \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

LAPLACE:
$$F = L \cdot B \cdot I$$

- on trouve génératrice et moteur à excitation:

- Séparée.
- Shunt.
- Série.