

I- Généralité

L'emploi des moteurs à courant continu est sans équivalent dans le domaine des très faibles puissances (jouets, perceuses miniatures,...). Il est en particulier presque obligatoire dans les équipements des automobiles (essuie-glaces, ventilateurs, lève-vitres, démarreurs,...). Dans le domaine industriel, on trouve des moteurs à courant continu de puissance moyenne dans les applications à vitesse variable.

La propriété essentielle des moteurs à courant continu est leur remarquable capacité de variation de vitesse. Celle-ci peut, en régime permanent, être réglée sans difficulté dans un rapport 1 à 1000. Cette gamme de variation est bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec les autres moteurs électriques, même associés à des dispositifs électroniques. Elle est sans commune mesure avec ce que peuvent assurer les moteurs thermiques. La variation de vitesse des moteurs à courant continu s'effectue maintenant presque exclusivement grâce à la variation de la tension d'alimentation. Là encore, c'est l'intervention de l'électronique de puissance qui a permis de profiter pleinement des possibilités de ces moteurs. Les dispositifs, devenus usuels que sont, d'une part les redresseurs commandés à thyristors et d'autre part, les hacheurs, sont en mesure de fournir ces tensions variables à partir, respectivement, du secteur alternatif ou d'une source de tension continue fixe. Mais les moteurs à courant continu sont coûteux. A puissance égale, le prix d'un moteur à courant continu est plus de deux fois celui d'un moteur asynchrone de même puissance. Aussi, si l'on met à part les usages spécifiques (jouets, automobile...) Imposés par des considérations particulières (sécurité, autonomie, nature de l'alimentation disponible), ce n'est que lorsqu'on a un besoin impérieux de réaliser un entraînement à vitesse très largement variable qu'il faut utiliser un moteur à courant continu. Actuellement, même ce créneau est grignoté par les moteurs asynchrones qui, associés à des onduleurs autonomes permettent l'entraînement à vitesse variable à des coûts tout à fait compétitifs. Le domaine d'utilisation privilégié des moteurs à courant continu est celui de la traction électrique (traction automobile, chariots élévateurs, traction ferroviaire). Ce sont alors des moteurs "série". On emploie aussi les moteurs à courant continu dans les asservissements de vitesse très performants. En effet, pour asservir à une grandeur de commande même constante la vitesse d'un moteur dont la charge varie, il faut pouvoir agir sur cette vitesse de manière à être capable de rattraper les écarts entre la grandeur de consigne et la vitesse effective. Ainsi,

les platine de chaînes Hi-Fi sont équipées de moteurs à courant continu et non de moteurs asynchrones monophasés. On trouve encore des moteurs à courant continu dans les fabriques de papier (où les différents moteurs agissant sur une même feuille de papier sont asservis les uns aux autres), dans les laminoirs (où les phases de ralentissement et d'inversion du sens de rotation sont extrêmement fréquents), dans beaucoup d'ascenseurs, de machines-outils et de servomécanismes de grandes performances.

I.1 - Symboles

Voici les différents symboles employés pour représenter la machine à courant continu, selon qu'elle fonctionne en génératrice (dynamo) ou en moteur et selon le type d'excitation employée (figure I.1).

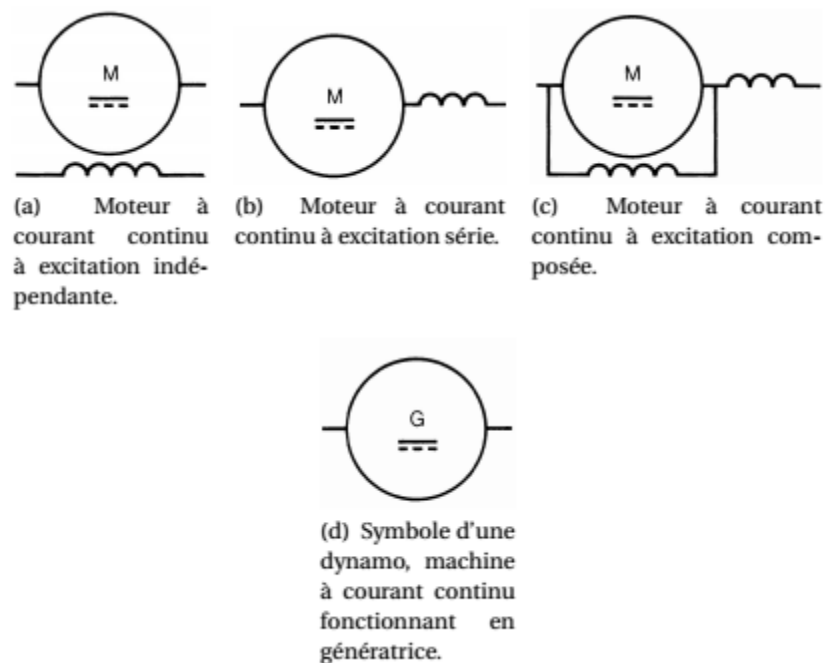


Figure I.1 Symboles de la machine à courant continu.

II - Constitution d'une machine à courant continu

Une machine à courant continu comprend quatre parties principales :

- l'inducteur ;
- l'induit ;
- lecollecteur ;
- les balais également appelés charbons.

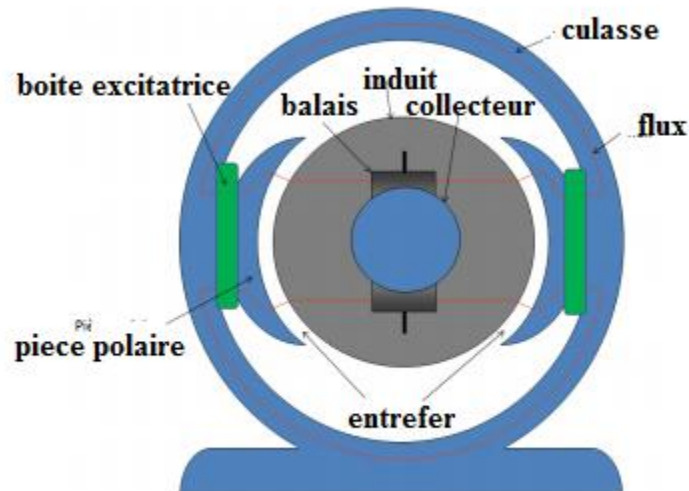


Figure II. Constitution d'une machine à courant continu

II.1 L'inducteur

Le bobinage inducteur, traversé par le courant inducteur I_e , produit le flux magnétique dans la machine. Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la force magnétomotrice (F.M.M.) nécessaire à la production du flux. Dans les machines bipolaires (à deux pôles), deux bobines excitatrices sont portées par deux pièces polaires montées à l'intérieur d'une culasse. La culasse est généralement en fonte d'acier, tandis que les pièces polaires sont formées de tôles d'acier doux, voir figure II.1



Figure II.1 Culasse, circuit magnétique statorique d'une machine à courant continu.

Les bobines excitatrices sont alimentées en courant continu, et le courant qui les traverse porte le nom de courant d'excitation (I_e). Ces bobines sont composées de plusieurs centaines de spires et sont traversées par un courant relativement faible. Dans certaines machines, les bobines et les pièces polaires sont remplacées par des aimants permanents.

Le champ magnétique créé par la F.M.M. des bobines traverse les pièces polaires, la culasse, l'induit et l'entrefer. L'entrefer est l'espace d'air séparant la surface de l'induit de celle des pièces polaires : il est de l'ordre de 1,5 à 5 mm pour les machines de faible et moyenne puissance.

Comme l'induit et l'inducteur sont construits avec des matériaux de faible réluctance, la majeure partie de la F.M.M. sert à « pousser » le flux à travers l'entrefer. Celui-ci doit donc être aussi peu long que possible.

Le nombre de pôles que porte l'inducteur d'une machine à courant continu dépend surtout de la grosseur de la machine. Plus une machine est puissante et plus sa vitesse est basse, plus grand sera le nombre de pôles.

Les bobines excitatrices d'un inducteur multipolaire sont connectés de façon à ce que les pôle adjacents soient de polarités magnétiques opposées.

II.2 L'induit

L'induit est composé d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un

noyau cylindrique. Il est monté sur un arbre et tourne.

Entre les pôles de l'inducteur. L'induit constitue un ensemble de conducteurs qui coupent les lignes de champ magnétique. Les bobines sont disposées de telle façon que leurs deux côtés coupent respectivement le flux provenant d'un pôle nord et d'un pôle sud de l'inducteur.

Le noyau est formé d'un assemblage de tôles en fer doux. Ces tôles sont isolées électriquement les unes des autres et portent des encoches destinées à recevoir les bobines, voir figure II.2 Les conducteurs de l'induit sont parcourus par le courant absorbé ou débité par la machine. Ils sont isolés du noyau par des couches de feuilles isolantes, voir figure II.2. Pour résister aux forces centrifuges, ils sont maintenus solidement en place dans les encoches au moyen de cales en fibre de verre. Si le courant est inférieur à une cinquantaine d'ampères, on emploie des conducteurs ronds. Au delà de 50 A, les conducteurs sont rectangulaires, ce qui permet une meilleure utilisation du volume de l'encoche.

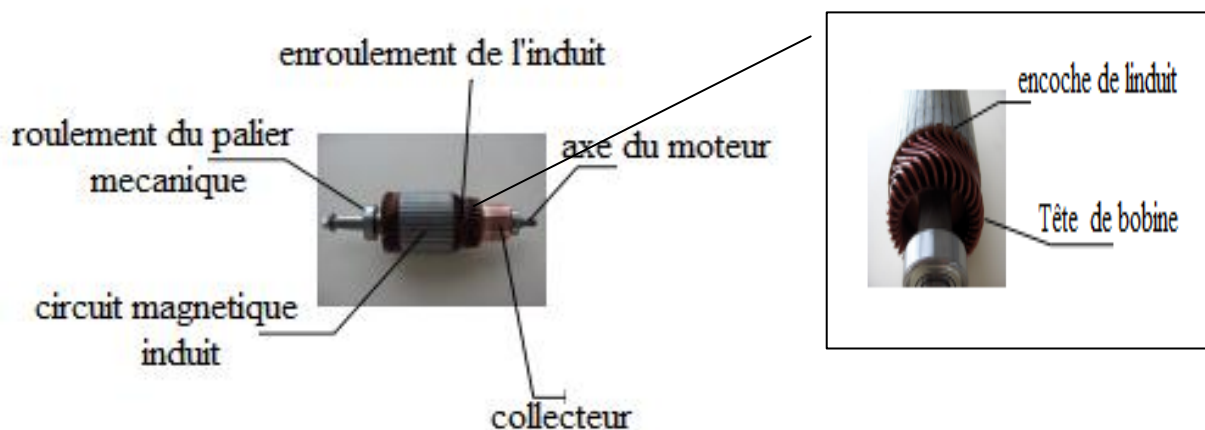


Figure II.2 noyau circuit magnétique rotorique d'une machine à courant continu.

II.3 Le collecteur

Le collecteur est constitué de lames de cuivre isolées entre elles. L'isolant est de la mica. L'ensemble balais d'alimentation + collecteur assure la liaison entre les conducteurs tournants et la partie fixe (II.3a).

Chaque lame est soudée au fil de sortie d'une section et à l'entrée de la section suivante. Une section est un ensemble de conducteurs qui passent sous un pôle Sud et sous un pôle Nord créent par le champ inducteur. La section baigne dans le champ magnétique inducteur (figure

II.3b)

Chaque encoche du rotor accueille les sections de l'enroulement d'induit .La tête de bobine qui est en dehors du champ inducteur actif. Sur les moteurs de forte puissance les têtes de bobine sont frettées à cause de la force centrifuge (figure II.3 c)

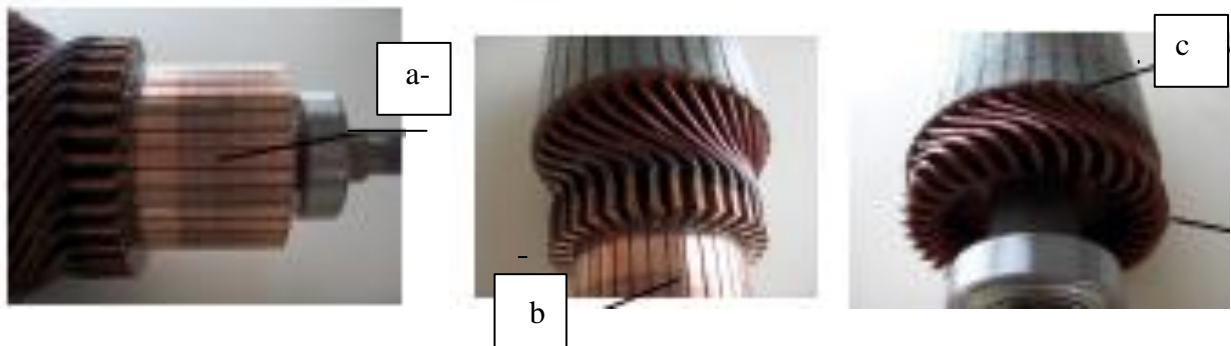


Figure II.3 Collecteur

II.4 Balais et porte balais

Ils sont fixés sur l'inducteur par l'intermédiaire de porte-balais, ils sont en carbone et frottent sur le collecteur grâce à des ressorts .Puisque le collecteur tourne, le contact avec les balais est glissant et la densité de courant admise est relativement faible : 10 A/cm^2 environ.

Les balais sont placés sur l'axe des pôles principaux. Il y a autant de balais que de pôles.

Le porte balais est relié électriquement par une tresse conductrice au câble d'alimentation figure II.4a.

L'isolation électrique de la carcasse du moteur sera réalisée sur un support cartonné figure II.4b.

Le Câble d'alimentation du moteur sera fixe sur la cosse sortie (voir figure II.4c)

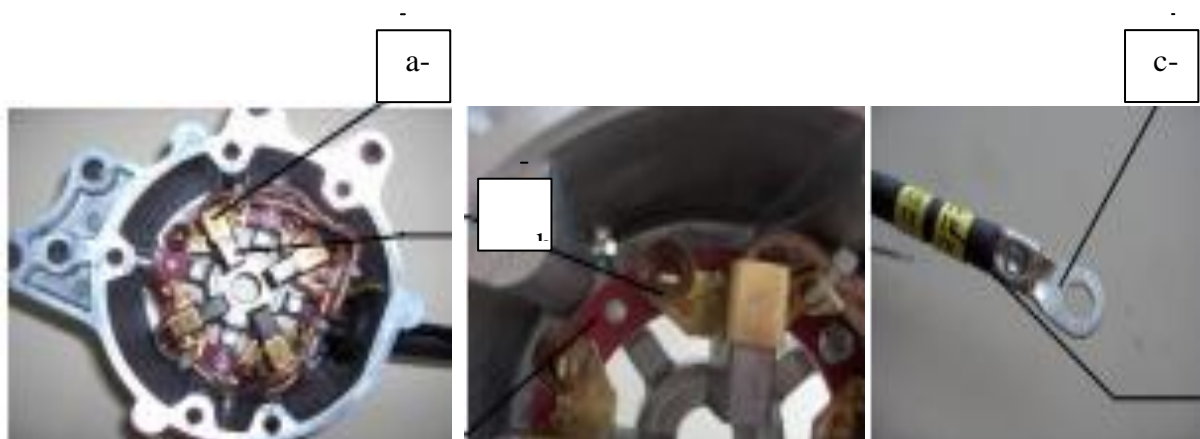


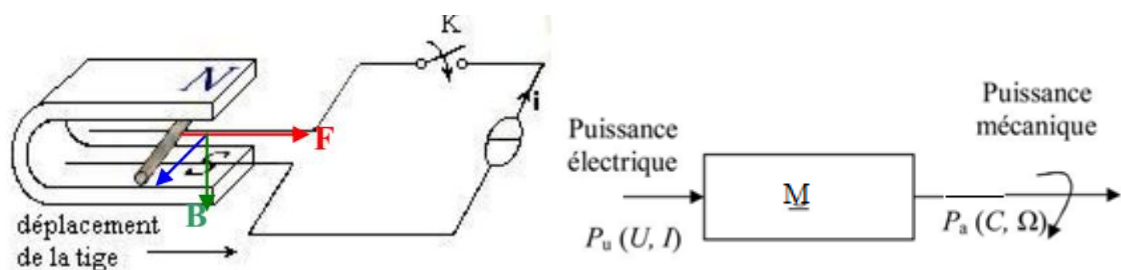
Figure II.4 Balais et porte balais**III- Les inconvénients**

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou charbons et le collecteur rotatif.

- a- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les balais doivent appuyer fort pour rester en contact et plus le frottement est important.
- b- Aux vitesses élevées les charbons doivent être remplacés très régulièrement.
- c- Le contact électrique imparfait cause des arcs électriques, usant rapidement le commutateur et générant des parasites dans le circuit d'alimentation.
- d- Pour des fonctionnements en moteur de petite puissance ce problème peut être résolu grâce à la technologie du moteur à courant continu sans balai communément appelé moteur brushless : un dispositif d'électronique de puissance remplace l'ensemble balai - collecteur: La position du rotor est détectée par des capteurs à effet Hall et le courant est commuté par des transistors à effet de champ.

VI - Principe De Fonctionnement**1- Moteur**

Un conducteur parcouru par un courant I et placé dans une induction B reçoit sur chaque élément de longueur dl un effort $dF = Idl \wedge B$ (effort de Laplace).figure VI.1

**Figure III.1** fonctionnement en moteur

$$F=BiL$$

F :force electromagnetique

B :champmagnétique

i : courant

2- Génératrice

La génératrice transforme l'énergie mécanique en énergie électrique comme le montre la figure suivante figure IV.2:

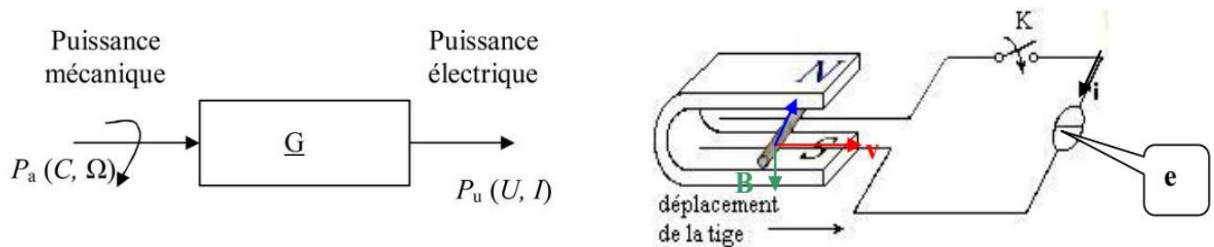


Figure III.b fonctionnement en génératrice

Un Conducteur de longueur « l » en mouvement à vitesse constante \vec{v} dans un champ \vec{B} uniforme et orthogonal au plan de mouvement du conducteur

Entre « t et $t + dt$ » la barre parcourt la distance élémentaire $dy = v \cdot dt$

Le flux coupé par le conducteur est alors $d\Phi = B \cdot L \cdot dy$

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

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = Blv$$

e- L'induction est créée par des pôles magnétiques bobinés et alimentés en courant continu ou par aimants permanents: c'est l'inducteur.

- Les conducteurs sont répartis régulièrement sur un cylindre soumis à une induction radiale: c'est l'induit. Son axe est monté sur un arbre qui est guidé en rotation.

f- Les courants dans l'induit changent de sens de part et d'autre de la ligne neutre de telle sorte qu'ils produisent des efforts qui contribuent dans le même sens au couple électromagnétique.

- Le collecteur est un commutateur mécanique qui inverse le sens du courant dans les conducteurs

qui franchissent la ligne neutre

3- Expression de la f.e.m. généralisée

Un conducteur se déplace sous un pôle avec la vitesse angulaire constante : $\Omega = 2\pi N \text{ rad/s}$

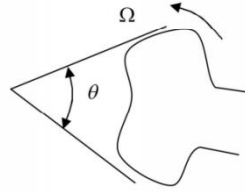


Figure IV.3 flux sous un pôle

Le conducteur coupe le flux ϕ en $\Delta t = \frac{\Delta\theta}{\Omega}$ avec $\Delta\theta = \frac{2\pi}{2p}$

$2p$: le nombre de pôles

On a le fém. d'un conducteur sous un pôle : $\Delta e = \frac{\Delta\phi}{\Omega}$, avec $\Delta e = \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta} \Omega = \Delta\phi 2\pi N \frac{2p}{2\pi}$

$$\Rightarrow e = 2pN\Phi$$

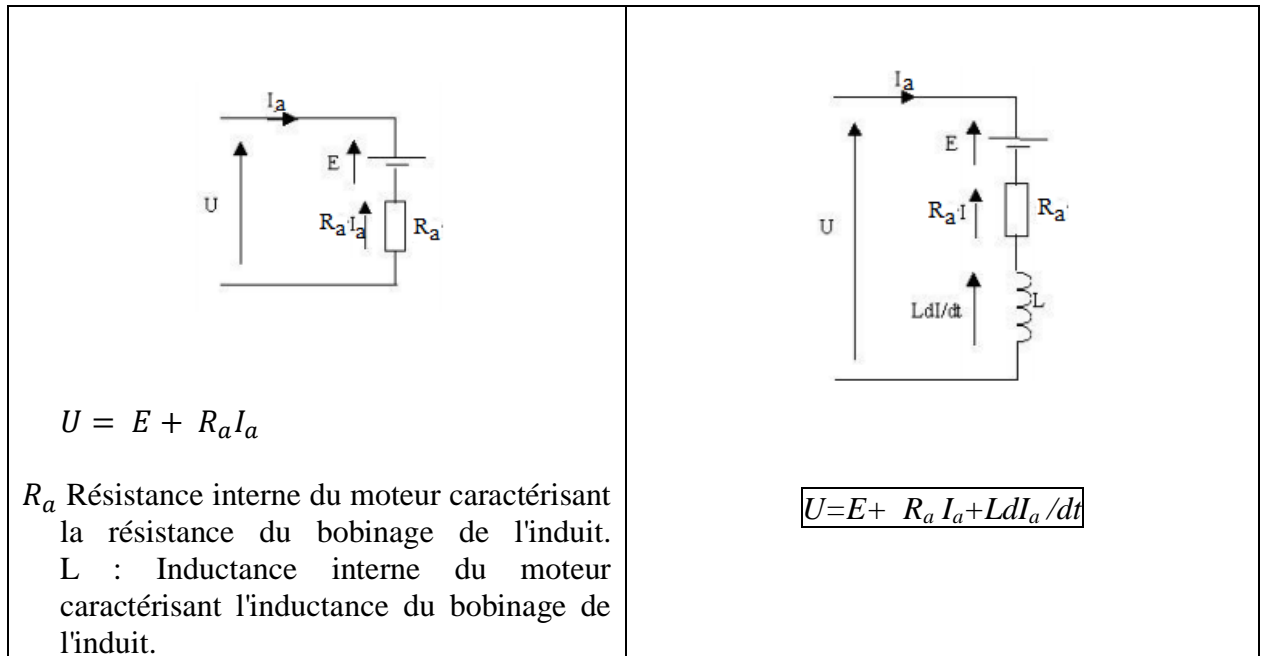
Avec les n conducteurs on aura : $n e = 2pnN\phi$, subdivise en $2a$ voies parallèles la fém.

résultante aux bornes des ballais est donc : $E = \frac{ne}{2a}$

$$\Rightarrow E = \frac{p}{a} nN\Phi$$

4- Modèle équivalent de l'induit en fonctionnement moteur

Modélisation en régime permanent	Modélisation en régime transitoire
----------------------------------	------------------------------------



NB : En régime permanent le courant qui circule dans le moteur est constant donc la chute de tension aux bornes de l'inductance interne du moteur est nulle. $L dI_a/dt = 0$ donc $U = E + R_a I_a$

5- Puissance électromagnétique d'un moteur

Le travail fournit par un conducteur de long l sur une distance d .

Alors $W = Fd = Bld$ avec $ld = S, W = BIS$; avec $BS = \Phi$

Expression de la puissance électromagnétique d'une machine bipolaire

En un tour un conducteur coupe 2Φ soit $\Delta\Phi = 2\Phi$ D'où le travail fourni en un tour est $W = 2\Phi I/2 = \Phi I$; Pour N conducteurs actifs $W = N \Phi I$

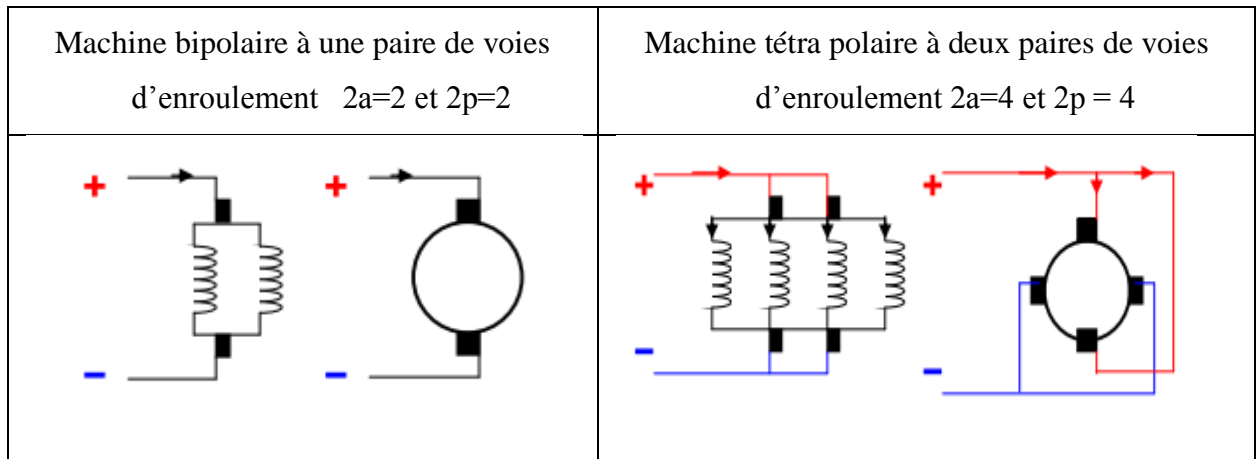
Puissance électrique $P_{em} = W/t$ avec $t = 1/n$ (temps mis pour faire un tour)

$$P_{em} = \frac{N\Phi I}{\frac{1}{n}} = nN\Phi I$$

Par comparaison avec l'expression générale $P_w = U_v I_A$ d'où $nN\Phi$ est en volt.

C'est la f.c.e.m : $E' = nN\Phi$ d'où $P = E' I$

6- Expression générale de la F.E.M d'une machine multipolaire



Avec une machine à $2p$ pôles la FEM induite dans un conducteur est $e = 2pn\Phi$; dans le cas général des enroulements séries parallèles avec un nombre de voies d'enroulements $2a$ il y'a $N/2a$ conducteurs en série ; Si nous appelons :

a : paires de voies d'enroulement

p : paires de pôles

R_a : résistance d'induit

U : tension aux bornes de l'induit

I_a : courant dans l'induit

$$E' = \frac{2p}{2a} nN\Phi = \frac{p}{a} nN\Phi$$

$$E' = U - R_a I_a$$

7- Expression du couple électromagnétique

Par rapport au bilan de puissance sur l'induit:

$$P = U \cdot I_a = R_a I_a^2 + C_{em} = R_a \cdot I_a^2 + E' \cdot I_a ;$$

$$\text{Donc } C_{em} = \frac{E' I_a}{\Omega} = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) \cdot N \cdot I_a}{2} ; C_{em} = k' \Phi I_a \text{ si le flux est constant, alors } C_{em} = K \cdot I_a$$

8- Expression de la vitesse

Le flux Φ étant fonction du courant d'excitation I_{ex}

* Si Φ augmente alors n diminue

$$n = \frac{a}{pN} \frac{E'}{\Phi} = K \frac{E'}{\Phi}$$

$$\frac{K(U - R_a I_a)}{\Phi}$$

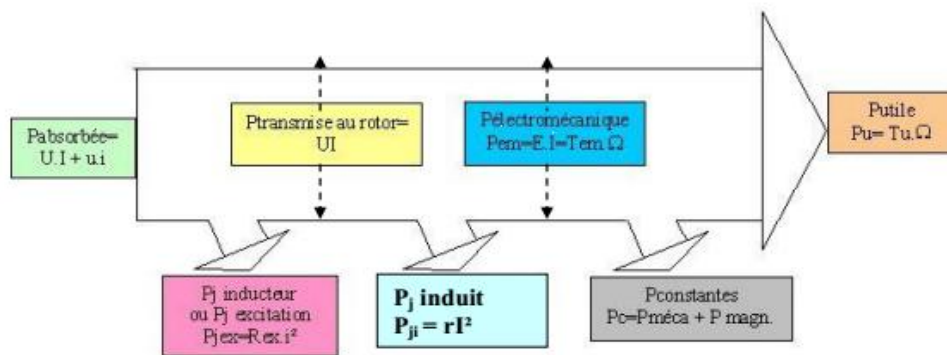
- * Si Φ diminue alors n augmente
- * Si Φ tend vers 0 alors le moteur s'emballle

Il ne faut jamais couper le courant d'excitation d'un moteur si l'induit est sous tension

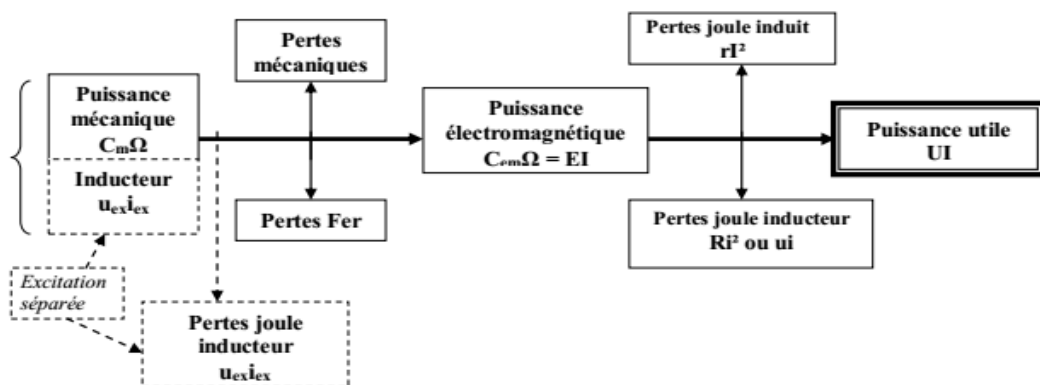
VII - Bilan Des Puissances

VII-1 fonctionnement en moteur et génératrice

1- Moteur



2- Génératrice



VII-2 Description Des Pertes**1- Pertes dans le fer**

Elles sont dues aux phénomènes d'hystérésis et de courants de Foucault dans la masse du circuit ferromagnétique de l'induit. Elles sont fonction du champ magnétique et de la vitesse de rotation. On les appelle aussi pertes magnétiques.

a) Pertes par hystérésis.

Elles sont proportionnelles à la vitesse et à peu près proportionnelles au carré de l'induction :

$$P_h = K_1 n B^2$$

b) Pertes par courants de Foucault.

Elles sont proportionnelles au carré de la vitesse et de l'induction :

$$P_F = K_2 n^2 B^2$$

Lorsque le flux est à peu près indépendant de I (indépendant ou shunt), l'ensemble de ces pertes l'est aussi. Il n'en est pas de même s'il y a un inducteur série.

2- Pertes mécaniques

Elles sont produites par la ventilation et les divers frottements (frottements de l'arbre dans les paliers, frottements des balais sur le collecteur).

Ces pertes sont à peu près indépendantes de la charge, donc de I ; par contre elles dépendent de la vitesse. Elles sont donc les mêmes à vide qu'en charge sauf pour le moteur série dont la vitesse varie beaucoup.

Si la vitesse n'est pas trop élevée on peut admettre la proportionnalité $P_m = kn$, sinon il faut tenir compte d'un terme du second degré :

$$P_m = kn + k'n^2$$

3- Pertes constantes

La somme des pertes dans le fer et des pertes mécaniques est appelée pertes collectives ou pertes constantes.

$$P_c = P_m + P_h + P_f$$

c'est donc le total des pertes mécaniques et magnétiques. Par « constantes » on entend qu'elles sont indépendantes de I, mais l'on qu'elles varient avec la vitesse et l'excitation (flux).

4- Pertes par effet joule dans l'induit

Elles s'écrivent $R_a I_a^2$ (éventuellement RI'^2). Pratiquement négligeables à vide elles varient fortement avec la charge. Elles sont toujours calculables. Son expression dépend de la résistance R du circuit induit et du courant I_a qui traverse ce dernier.

$$P_{jI} = R_a I_a^2$$

5- Pertes par effet joule dans l'inducteur

Elles s'expriment toujours par la formule RI_{exc}^2 avec des variantes dans la notation suivant le mode d'excitation. La résistance du rhéostat d'excitation doit être incluse. Ces pertes sont toujours calculables. Si la machine est à excitation constante (G et M indépendants, M shunt) elles sont constantes, sinon elles varient avec la charge.

Noter que les pertes existent à vide.

$$P_{j_{ex}} = R_{exc} I_{exc}^2 = U_{ex} I_{ex}$$

U_{ex} , tension aux bornes du circuit inducteur.

I_{ex} , courant dans l'inducteur

La résistance des enroulements varie en fonction de la température, l'influence de ce dernier est traduite par la formule :

$$R = R_0(1 + a\theta)$$

R_0 , résistance à la température de 0°C

a, coefficient de température

θ , température en degré Celsius

VIII Rendement :

1- Mesures du rendement

a. Formule de base.

C'est toujours $\eta = P_u / P_a$ l'expression détaillée variant avec la machine et son mode d'excitation.

b. Méthode de mesures

- Indirecte ou méthode dite des pertes séparées: c'est la plus économique et la plus précise, c'est la seule utilisable pour les très grosses machines.
- Directes : Elles sont nombreuses : moteur taré ;dynamo-frein etc

2- Rendement en génératrice

Rendement vrai : $\eta_G = UI / (P_m + ui)$

Rendement approché : $\eta_G = UI / [UI + (p_j + p_m + p_f) + ui]$

3- Rendement en moteur

Rendement vrai : $\eta_M = P_m / (UI + ui)$

Rendement approché : $\eta_M = UI - (p_j + p_m + p_f) / (UI + ui)$

4- Essai en moteur à vide

Pour mesurer les pertes fer et mécaniques pour un fonctionnement normal donné (Nt/mn ;U(V))on doit alimenter la machine sous une tension U_0 .

Fonctionnement en moteur :

$$U_0 - R_a I_0 = U_n - R_a I_a$$

Fonctionnement en génératrice :

$$U_0 - R_a I_0 = U_n + R_a I_a$$

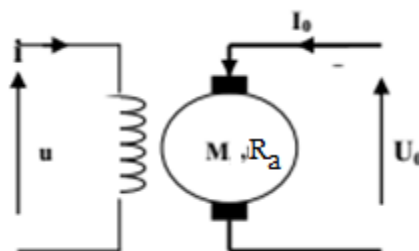


Figure 4 essai à vide

a. Expression des pertes constantes

$$P_m + p_f + R_a I_0^2 = U_0 I_0 \text{ ou } P_m + p_f = U_0 I_0 - R_a I_0^2$$

$$\text{Pertes totales} = P_m + p_f + p_j = U_0 I_0 - R_a I_0^2 + R_a I_a^2 = U_0 I_0 + R_a (I_a^2 - I_0^2)$$

$$P_m + p_f + p_j = U_0 I_0 + R_a (I_a^2 - I_0^2)$$

b. Machine à excitation indépendante

$$\eta_G = \frac{U_a I_a}{U_a I_a + U_{ex} I_{ex} + [U_0 I_0 + R_a (I_a^2 - I_0^2)]}$$

$$\eta_M = \frac{U_a I_a - [U_0 I_0 + R_a (I_a^2 - I_0^2)]}{U_a I_a + U_{ex} I_{ex}}$$

c. Machine shunt

$$\text{Poser } U_a = U_{exc}$$

d. Moteur série

$$\eta_M = \frac{c_u \Omega}{U_a I_a} \quad \text{avec } I_{ex} = I_a \text{ et } U = r_s I_a + r I_a + E_c$$

V Caractéristiques des machines a courant continu**V-1 Généralités***1- Caractéristiques usuelles*

Le fonctionnement des machines est régie par quatre variables :

- La vitesse N
- Le Courant d'excitation I_{ex} ou i_{ex} ou J
- La Tension aux bornes U
- Le Courant dans l'induit I

On obtient ainsi ,en fonctionnement génératrice, trois familles de courbes tracées à vitesse

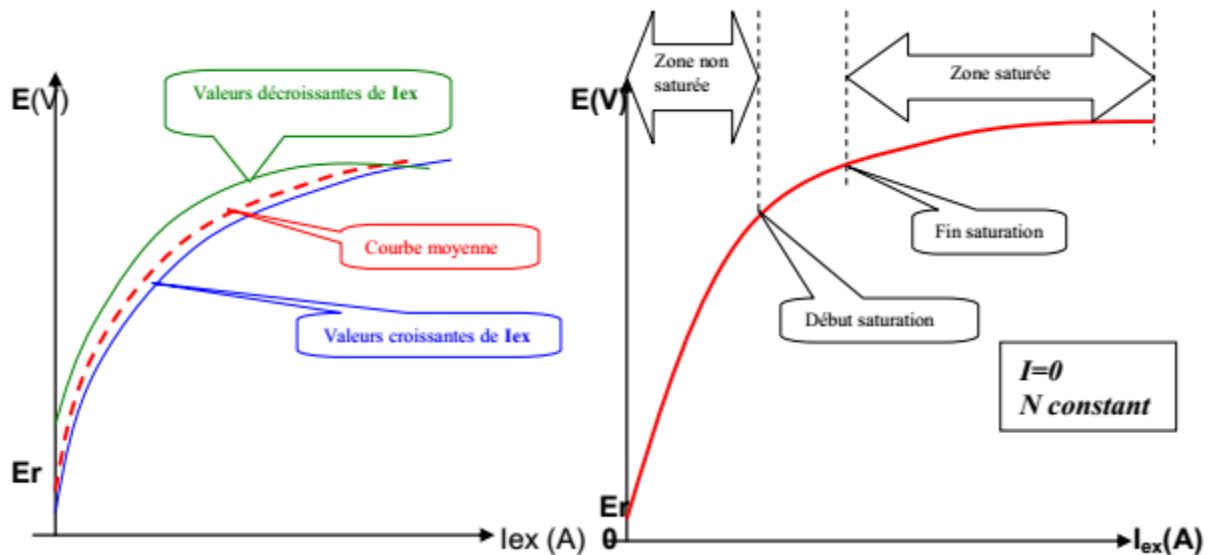
constante :

- 1) Caractéristique externe ou à excitation constante $U(I)$ avec N, J constants
- 2) Caractéristiques à tension constante ou courbes de réglage $I(i_{ex})$ avec N, U constants
Elle sert à déterminer les rhéostats d'excitation et les régulateurs de tension.
- 3) Caractéristique à courant constant $U(i_{ex})$ avec I et N constants

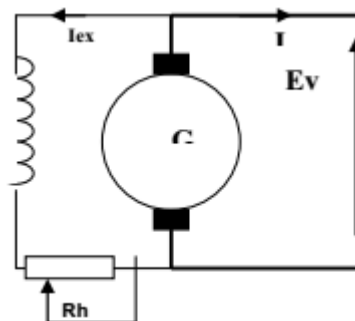
2- Caractéristiques Particulière

Caractéristique à vide ou caractéristique interne $E(i_{ex})$ à $I = 0$ et N constant.

C'est une courbe de magnétisation et elle est affectée d'hystérésis ; elle traduit graphiquement la relation qui existe entre la FMM et le courant d'excitation pour une vitesse donnée et maintenue constante ; La caractéristique à vide est donnée par la courbe moyenne. Son allure donne une idée de la qualité de construction de la machine. Elle permet aussi de déterminer le point de fonctionnement qui en principe se trouve dans la zone saturée. Elle est tracée à excitation séparée.



3- cas de la génératrice dérivation



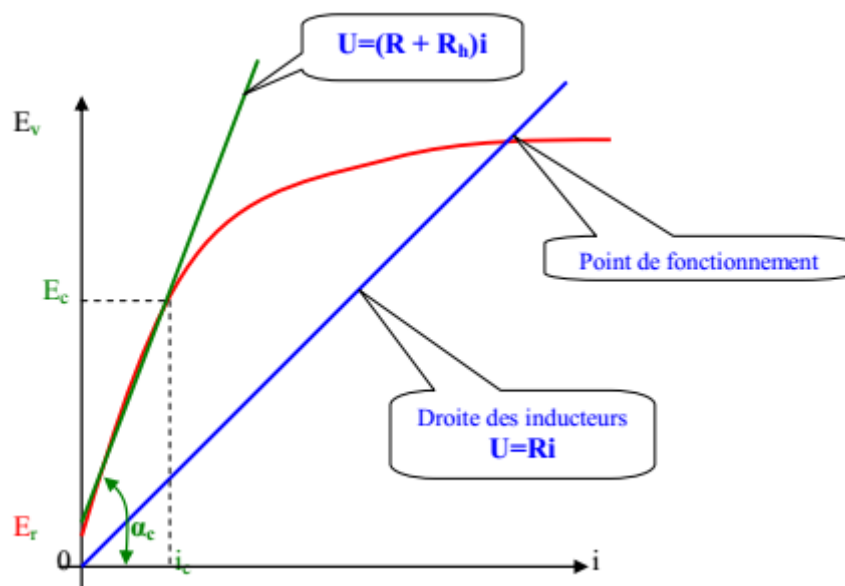
A. Caractéristique à vide

On peut insérer un rhéostat de résistance R_h dans le circuit inducteur si R_h augmente la droite pivote en se rapprochant de l'axe E_v ; pour une valeur R_{ch} la droite devient tangente à $E(i)$

$$\frac{E_c}{i_c} = R + R_{hc} = R_c$$

R_c = Résistance critique d'amorçage

NB : La résistance du circuit inducteur doit être $< R_c$



$$\tan \alpha_c = R_c = \frac{E_c}{i_c}$$

B. Etude de l'induit en charge

a. Réaction magnétique de l'induit

La réaction magnétique de l'induit distorde les lignes de champ de telle sorte que la ligne neutre magnétique sera décalée :

- Dans le sens de rotation pour une génératrice.
- Dans le sens contraire pour un moteur.

Ce décalage est d'autant plus important que la charge est plus intense. Il en résulte que les

balais placés sur l'axe interpolaire ne collectent plus une f.e.m maximale car une partie des conducteurs auront de f.e.m opposées au reste de conducteurs figure b

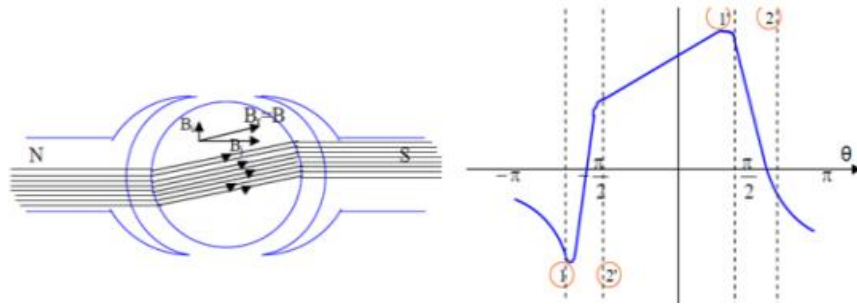


Figure b Répartition du champ dans l'induit et l'inducteur

On rappelle que l'induit est le siège :

g- E : **f.e.m** : dans le cas d'une génératrice

h- E' : **f.c.e.m** : dans le cas d'un moteur

Dans les deux cas chaque conducteur actif de l'induit sera traversé par un courant $I/2a$, ces courants créent un flux magnétique d'induit dit de réaction magnétique de l'induit(R.M.I) qui d'après (LENZ) s'oppose au flux à vide. On aura ainsi :

$$\Phi_{ch} < \Phi \Rightarrow E_{ch} < E$$

Les modèles équivalents de l'induit lors d'un fonctionnement générateur ou moteur sont données par les schémas suivants figure b.

On note :

i- chute de tension provoquée par la réaction magnétique de l'induit $h_m(I)$

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

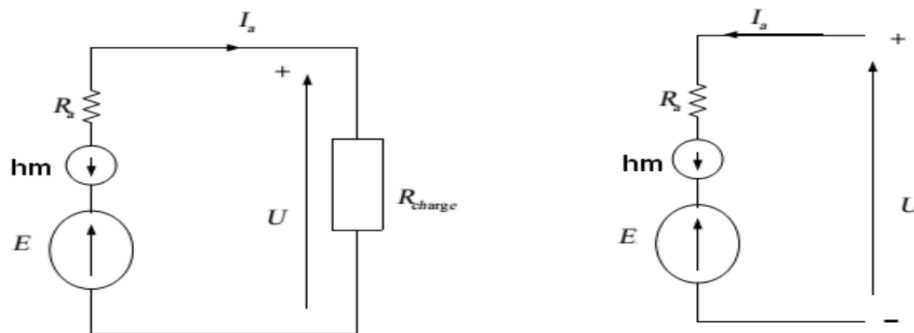


Figure b Schéma équivalent de l'induit

b. Compensation de la réaction magnétique de l'induit(RMI)

Pour remédier aux problèmes causés par la R.M.I, qui :

- En génératrice, la diminution du flux provoque une chute de tension.
- En moteur, la diminution du flux peut entraîner l'emballement de vitesse.

On peut :

- Soit décaler les balais et augmenter l'entrefer à la corne de la sortie. Cette solution est valable pour les machines de faible puissance et ayant un seul sens de rotation (figure c).
- Soit utiliser un enroulement de compensation, placés dans des encoches pratiquées sur les pièces polaires, qui traversé par le courant induit produira une force magnétomotrice qui s'oppose aux ampères-tours de l'induit.

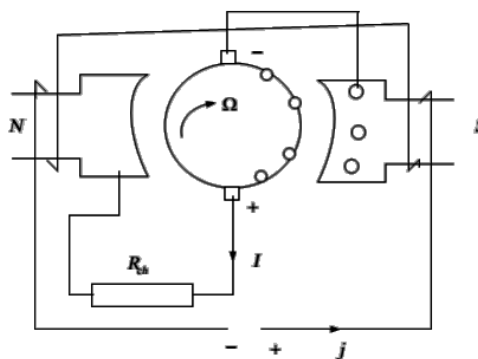


Figure c Enroulement de compensation

V-3 Types de génératrices

1- Modes d'excitation

Suivant la façon dont est alimenté le circuit inducteur on distingue quatre types d'excitation :

a. Excitation indépendante (ou séparée) :

Aucun point commun entre le circuit inducteur et celui de l'induit. L'énergie électrique nécessaire à la magnétisation est fournie par une source extérieure de tension continue.

b. Excitation dérivation (ou shunt) :

Le circuit inducteur est en parallèle avec le circuit d'induit. Le nombre de spires des bobines inductrices est élevé.

c. Excitation série :

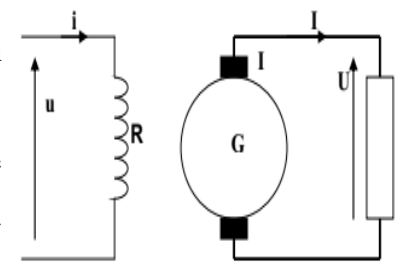
Le circuit inducteur est en série avec celui de l'induit

d. Excitation composée (compound):

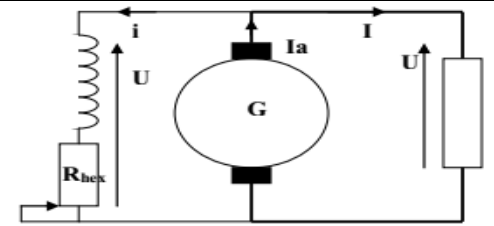
La machine comporte un inducteur dérivation placé en parallèle avec l'induit. Ce dernier étant

en série avec l'inducteur série de la machine.

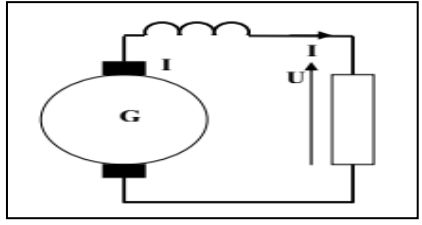
2- Génératrice a excitation indépendante

<u>Propriétés</u>	
<p>Faible chute tension</p> <ul style="list-style-type: none"> - tension réglable dans de larges limites et dans les deux sens - tension proportionnelle à la vitesse - courant d'excitation indépendante de la charge et de la vitesse <p>Inducteur moins résistant</p> <p>Contrôle facile du courant d'excitation</p>	
<u>Utilisations</u>	
<p>Alimentation de moteurs à tensions très variables</p>	$P_u = UI$ $\eta = P_u/P_a$ $\text{pertes joule} = ui + rI^2$ $= Ri^2 + rI^2$

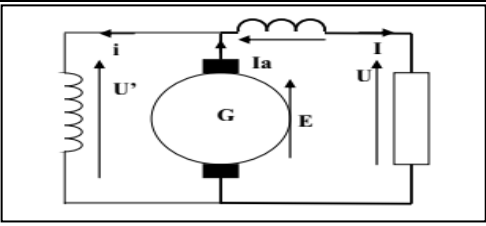
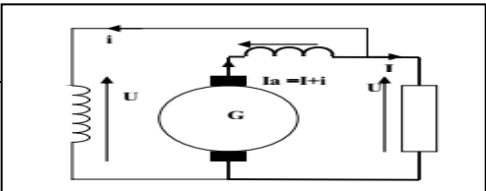
3- Génératrice shunt

<u>Propriétés</u>	
<p>stabilité limitée (sensible à la variation de vitesse, risque de désamorçage)</p> <ul style="list-style-type: none"> - tension réglable par rhéostat de champ 	
<u>Utilisations</u>	
<p>j-Réseau à tension constante</p> <ul style="list-style-type: none"> - Charge de batterie d'accumulateurs - Excitation des alternateurs 	$I_a = I + i$ $\eta = P_u/P_a = (P_a - p)/P_a$ $= 1 - p/P_a$ $P_u = UI$ $\text{pertes joule} = Ui + r(I + i)^2$ $p = U_n I_{ex} + rI_a^2 + P_c$

4- Génératrice série

<p align="center"><u>Propriétés</u></p> <p>Caractéristique très tombante</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inutilisable à faible débit et faible vitesse - Ne convient pas à l'alimentation de réseau à tension constante 	
<p align="center"><u>Utilisations</u></p> <p>projecteur poste soudage</p>	<p>$= UI$ $\eta = Pu/Pa$</p> <p>perdes totale</p> <p>$=$ pertes joule inducteur</p> <p>$+$ pertes joules induit</p> <p>$+$ pertes constantes</p> <p align="center">$p_j = (r + r')I^2$</p>

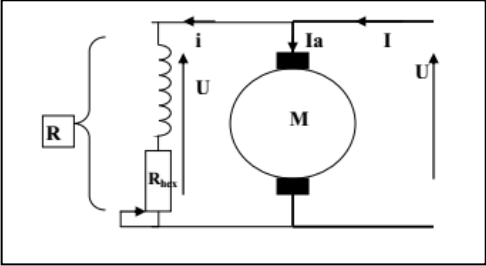
5- Génératrice compound

<i>Courte dérivation</i>	
<p align="center"><u>Propriétés</u></p> <p>Flux additif ou hyper-compound</p> <ul style="list-style-type: none"> - caractéristique croissante 	
<p align="center"><u>Utilisations</u></p> <p>Flux additif</p> <p>Alimentation récepteur à tension constant ou faiblement croissante (accumulateurs)</p>	<p>$I_a = I + i ; I_s = I$ et $U = E - rI_a - r'I$</p> <p>perdes joules $= (U + r'I)i + rI_a^2 + r'I^2$</p>
<i>Longue dérivation</i>	
<p align="center"><u>Propriétés</u></p>	
<p align="center"><u>Utilisations</u></p> <p>Flux soustractif</p> <p>Alimentation récepteurs à arcs électriques</p>	<p align="right">$i)^2$</p>

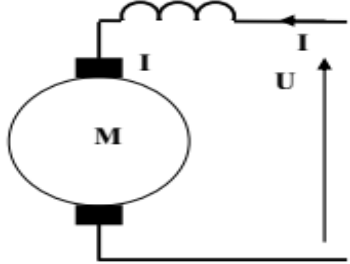
(projecteurs, poste de soudage) - moteur pouvant caler (pelles électriques etc.)	
--	--

V-3 Types de moteurs

1- moteur shunt

<p style="text-align: center;"><u>Propriétés</u></p> <p>Vitesse sensiblement constante et facile à régler -Degré de stabilité élevé</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Utilisations</u></p> <p>k- Machines outils, - pompes, - ventilateurs, - Appareils de levage</p>	$I = I_a + i$ $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - p}{P_a} = 1 - p/P_a ; P_a = UI$ <p>pertes joule inducteur = $Ui = Ri^2$ pertes joules induit = rI_a^2 pertes totales = $Ui + rI_a^2 + P_c$ Le couple $C_u = P_u/2\pi n$</p>

2- Moteur serie

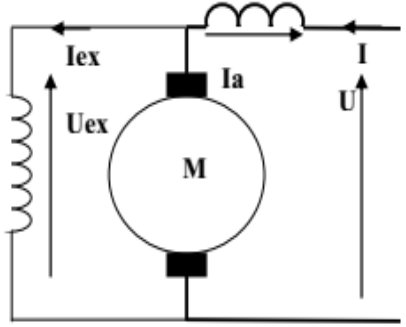
<p style="text-align: center;"><u>Propriétés</u></p> <p>Vitesse très variable - S'emballe à vide - Couple de démarrage élevé - Grande vitesse à faible charge - Absorbe très bien les surcharges passagères - Couple indépendant de la tension</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Utilisations</u></p> <p>l- Traction électrique - Démarreur d'automobile - Ventilateurs, pompes centrifuges, - compresseurs, pompes à piston</p>	$\eta = P_u/P_a = (P_a - p)/P_a = 1 - p/P_a$ $P_a = UI$ <p>pertes joule inducteur = $r'I^2$ pertes joules induit = rI^2 pertes totales = $rI^2 + r'I^2 + P_c$</p>

	$Le\ couple\ C = P_u / 2\pi n$
--	--------------------------------

3- Moteur a excitation indépendante

Ce moteur n'est pas beaucoup utilisé parce qu'il nécessite deux sources d'alimentation ; on lui préfère le moteur shunt qui a des caractéristiques semblables

4- Moteur compound

<p style="text-align: center;"><u>Propriétés</u></p> <p>Couple de démarrage plus élève que celui du moteur shunt et croissant très rapidement avec le courant.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vitesse pratiquement constante aux charges normales et très rapidement décroissante lorsque le couple résistant augmente. - Ne s'emballe pas a vide ou aux faibles charges comme le moteur série. 	
<p style="text-align: center;"><u>Utilisations</u></p> <p>Machines-outils a couple variable ou a mouvement alternatif (étauxlimeurs, raboteuses);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Machines démarrant en charge (treuils, pompes à piston) ; - Traction électrique 	$I = I_a + i$ $\eta = P_u / P_a =$ <p>pertes joule inducteur série = $r'I^2$</p> <p>pertes joule inducteur shunt = $(U - r'I)i$</p> <p>pertes joules induit = rI_a^2</p> $\eta = \frac{U - (rI_a + r'I)}{N(\Phi_d \pm \Phi_s)}$

V-4 Démarrage d'un moteur a courant continu

1- Problème du démarrage

De la formule $E = U - rI_a$ on tire $I_a = (U - E')/r$

Or , au moment de la mise sous tension, la vitesse est nulle donc $E = Nn \Phi = 0$; la formule devient en démarrage direct $I_{dd} = U/r$.

La tension d'alimentation est importante alors que r a une faible valeur ($r < 0,5 \Omega$).

L'intensité $I_{ad} = U/r$ est très importante et peut atteindre 10 à 20 I_n ; elle ne peut être acceptée ni par le réseau ni par la machine.

SOLUTION : pour limiter cette intensité à une valeur acceptable, au moment du démarrage, on place, on série avec l'induit, une résistance R_{hd} que l'on élimine au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse. La pointe du courant acceptée sera $I_d = U / (r + R_{hd})$

2- Rhéostat de démarrage (pour moteur dérivation)

m-Donner au moteur le maximum de flux et réduire la tension U entre les bornes de l'induit pour qu'au démarrage le courant dans l'induit soit supportable. On accepte pendant le démarrage une diminution du courant I et son maintien entre deux limites :

- $I_{max} = 1,5 \text{ à } 2,5 I_n$ (condition limite d'échauffement)
- $I_{min} = I_n$ (condition de couple)

Ces deux conditions déterminent le nombre de plots du rhéostat voir figure V4-2

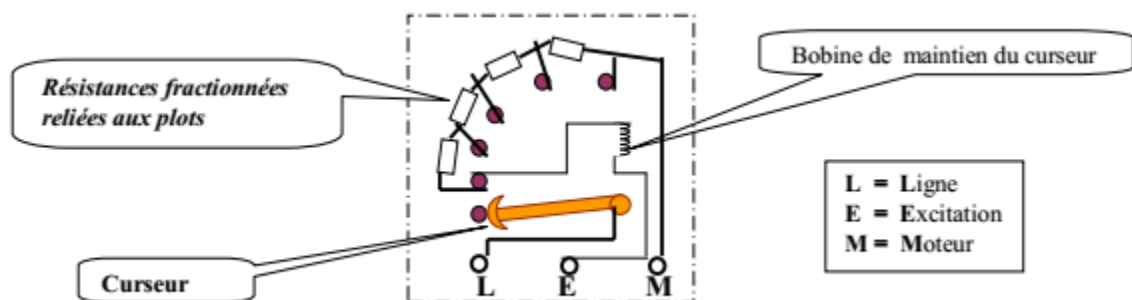


Figure V4-2 rhéostat de démarrage

La plupart des rhéostats possèdent une protection contre une coupure accidentelle du circuit d'excitation : la bobine de maintien est désexcitée et un ressort de rappel ramène le curseur sur le plot mort en cas de coupure d'alimentation.

3- Branchement du rhéostat de démarrage

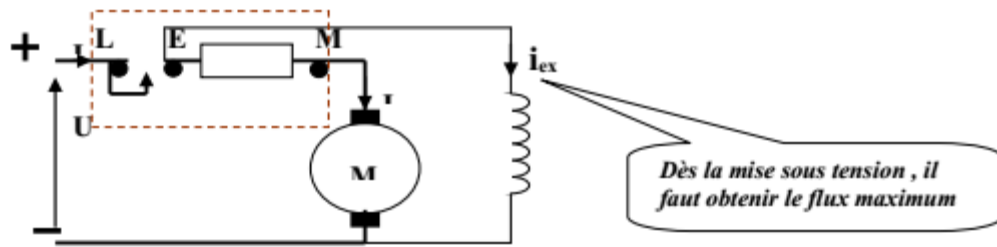


Figure V4-3 *branchement rhéostat de démarrage*

n- Curseur sur plot mort : le moteur est hors tension

o- Curseur sur plot E : l'inducteur est sous tension nominale (donc flux maximal) et l'induit est sous tension réduite (R_{hd} en série) ; le moteur démarre avec une vitesse faible et une intensité limitée

p- Curseur sur plot M : l'induit est sous tension nominale ($R_{hd} = 0$) et l'inducteur est sous tension réduite (en série avec R_{hd} donc flux minimal) ; le moteur prend de la vitesse.