



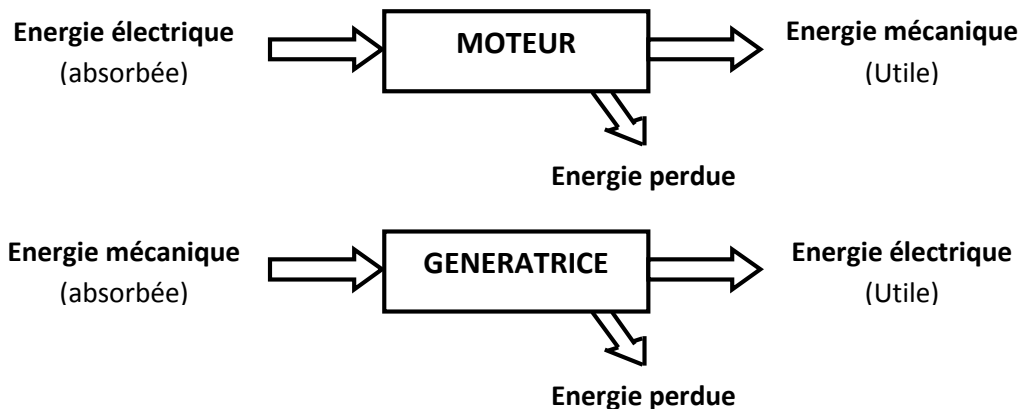
MACHINES A COURANT CONTINU



I. GENERALITES :

1. Présentation:

Une machine à courant continu **M.C.C** est un **convertisseur** tournant d'énergie **électrique** en énergie **mécanique** (fonctionnement en **moteur**) ou d'énergie **mécanique** en énergie **électrique** (fonctionnement en **génératrice**).



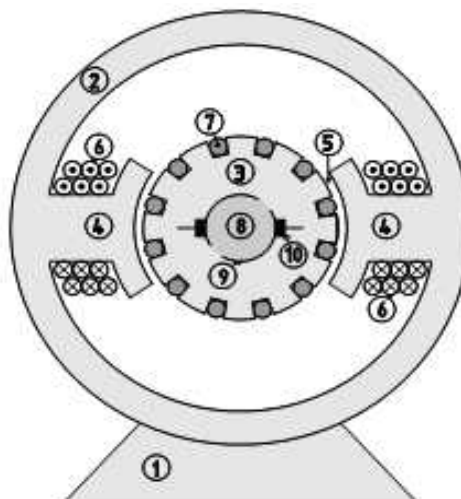
L'énergie **électrique** se présente sous forme de **tensions** et de **courants continus** ou **unidirectionnels**.

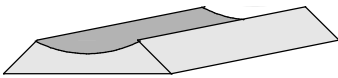
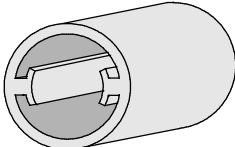
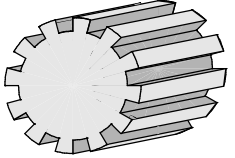
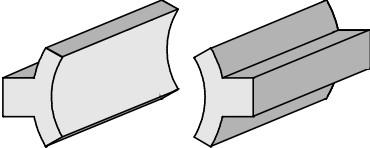
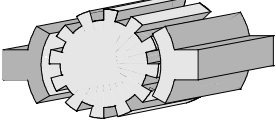
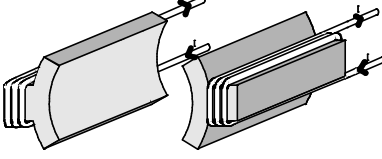
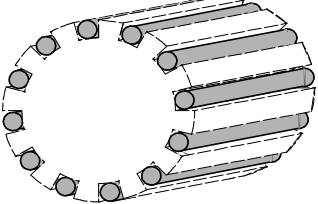
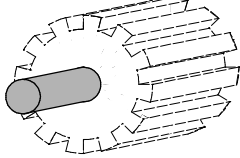
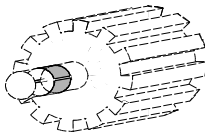
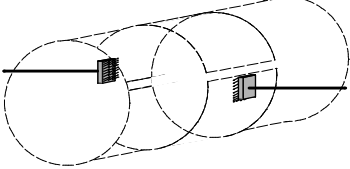
L'énergie **mécanique** se présente sous forme d'un **couple**, de moment T [N.m], susceptible de tourner à la **vitesse angulaire** Ω [rad/s].

2. Constitution :

La machine à courant continu est constituée :

- d'un circuit magnétique (**stator** ② et **rotor** ③ séparés par un **entrefer** ⑤)
- des circuits électriques :
 - un circuit électrique sur le **rotor** (**induit**)
 - un circuit électrique sur le **stator** lorsque la machine n'est pas à **aimants permanents**.
- d'un **collecteur** ⑨ solidaire du rotor, qui, associé à des **balais** ⑩, permet de relier l'induit de la machine au circuit électrique extérieur (**source** ou **charge**).



1		Socle	Partie fixe sur laquelle repose le moteur
2		Stator	Partie fixe du circuit magnétique du moteur conçue en matériau ferromagnétique.
3		Rotor	Partie tournante du circuit magnétique du moteur conçue en matériau ferromagnétique.
4		Pôles du stator	Partie du stator permettant de fournir dans l'entrefer un champ magnétique radial (dirigé vers le centre du rotor). Leur nombre est toujours pair.
5		Entrefer	Espace séparant le stator du rotor et permettant la rotation du rotor.
6		Bobines de l'inducteur	Enroulements de cuivre, portés par le stator, traversés par un courant continu générant le champ magnétique.
7		Bobines de l'induit	Enroulements de cuivre, placés dans des encoches creusées dans le rotor, connectés au circuit extérieur par l'intermédiaire du collecteur et des balais.
8		Arbre du moteur	Partie tournante, solidaire du rotor, sur laquelle sont fixées les lames du collecteur.
9		Collecteur	Lames de cuivre fixées sur l'arbre et reliées aux enroulements de l'induit.
10		Balais	Contacts glissants, solidaires du stator, permettant la liaison électrique entre le circuit extérieur et les enroulements de l'induit grâce aux balais.

2.1. L'inducteur : (porté par le stator)

Il est formé :

- **aimants permanents** (champ magnétique permanent)
- **bobines** enroulées autour des **pôles**④.
- les bobines parcourues par un **courant continu** créent un **champ magnétique** dans le circuit magnétique et plus précisément dans **l'entrefer**.
- la machine est dite **bipolaire** lorsqu'elle comporte uniquement **un pôle Nord** et **un pôle Sud**.

Remarque :

Le nombre de pôles d'une machine étant toujours pair, on définit le nombre de **paires de pôles** d'une machine par la lettre « **P** ».

2.2. L'induit ⑦ (porté par le rotor)

C'est un circuit électrique obtenu en associant en série des conducteurs logés dans des encoches du **rotor**.

- Deux encoches opposées reçoivent les conducteurs actifs **AB** et **CD** pour former **une spire**.
 - En mettant plusieurs spires dans les mêmes encoches, on réalise **une section**
- C'est au niveau de ce circuit que se produiront les **phénomènes électromagnétiques**.

2.3. Collecteur et balais :

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre isolées les unes des autres et situées en bout d'**arbre**⑧

Les balais sont portés par le stator et frottent sur le collecteur de façon à assurer la liaison électrique entre le **rotor** et le **circuit électrique extérieur**.

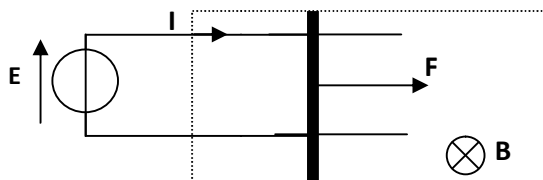
3. Symbole :



4. Fonctionnement de la machine à courant continu :

4.1. Notions d'électromagnétisme :

4.1.1. Force de Laplace : (Expérience des rails de Laplace)



Sens dirigé vers l'arrière de la figure



Sens dirigé vers l'avant de la figure

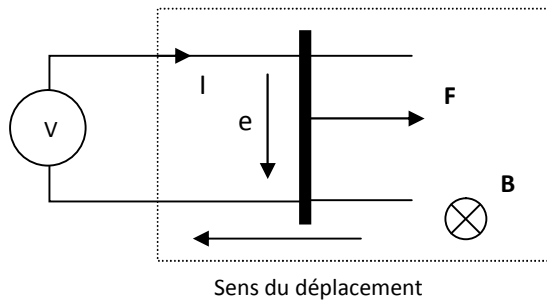


Lorsqu'un conducteur, plongé dans un **champ magnétique**, est traversé par un **courant continu**, ce conducteur se met en **mouvement** sous l'action d'une **force** dite force de Laplace telle que :

- **Direction** : perpendiculaire au plan formé par le conducteur et le champ magnétique.
- **Sens** : donné par la règle des 3 doigts de la main droite.
- **Intensité** : $F = B \cdot I \cdot l$ (lorsque le champ est perpendiculaire au conducteur)

4.1.2. Force électromotrice d'induction :

Si on déplace un conducteur dans un champ magnétique, il apparaît aux bornes de ce conducteur une f.é.m. induite.



Loi de Lenz: *Tout phénomène induit s'oppose, par ses effets, à la cause qui lui a donné naissance.*

Une machine à courant continu possède un nombre **N** de **conducteurs actifs**, le **flux** utile sous un **pôle** créé par l'inducteur est exprimé en **webers**, et **n** représente la fréquence de rotation de l'arbre du rotor, en **tours par seconde**.

Deux cas peuvent se présenter :

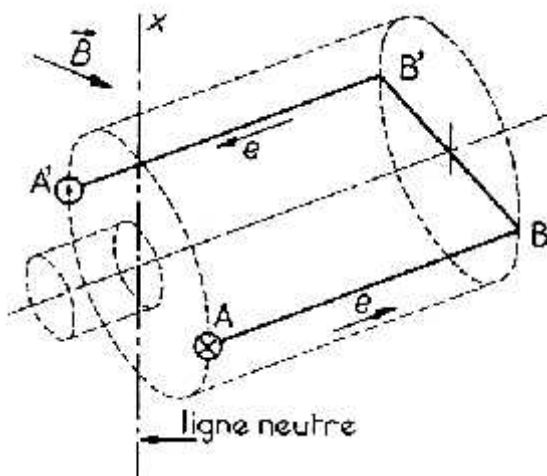
- Soit un **conducteur** est à la fois traversé par un **courant** électrique et plongé à l'intérieur d'un **champ magnétique**, il est alors soumis à une **force électromagnétique (Moteur)**.
- Soit un **conducteur** est à la fois en mouvement de **rotation** et plongé à l'intérieur d'un **champ magnétique**, il est alors le siège d'une **force électromotrice (Générateur)**.

4.2. Fonctionnement en génératrice :

L'**inducteur** est alimenté par une **tension continue**. Il produit un **champ magnétique constant**.

L'**induit** est entraîné en **rotation** par un **moteur**. Il est le siège de **variations** de flux à travers des **spires** qui le constituent. Il en résulte la création d'une **f.é.m. alternative** qui est recueillie, **redressée** et transmise au **circuit extérieur** par l'ensemble **collecteur-balais**.

4.2.1. F.é.m. induite dans une spire :



Un conducteur rectiligne **AB** en **rotation** dans un champ magnétique et qui lui est perpendiculaire est le siège d'une **force électromotrice**.

Cette f.é.m. est **alternative** : chaque fois qu'**AB** coupe l'**axe xy (ligne neutre)** elle change de **sens**. **AB** est dit conducteur **actif**.

Considérons la **spire** constituée des conducteurs **AB** et **A'B'**. A l'intérieur de la spire les deux **f.é.m.** sont **opposées**.

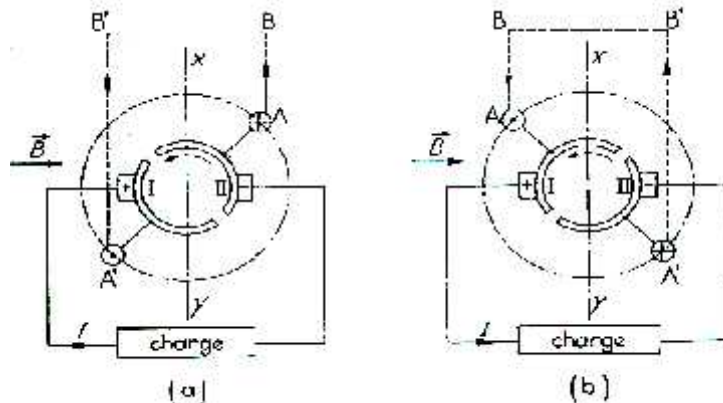
En conclusion :

La **f.é.m.** totale est **alternative**.

Les côtés **BB'** et **AA'** ne coupent de lignes de champ : ils sont dits **inactifs**

4.2.2. Rôle des collecteurs :

- Dans la **position 1**, la f.é.m. induite produit un courant de sens **ABB'A'**, tel que le **balai** de gauche ait une polarité « **positive** » et celui de droite une polarité « **négative** »
- Dans la **position 2**, les conducteurs ont franchi la **ligne neutre**. La f.é.m. produit un courant de sens **A'B'BA** mais les balais ont **gardé leur polarité**.



- Le **collecteur** permet d'**inverser** les liaisons d'une section et de la charge, à chaque passage sous la **ligne neutre**, de sorte que la **charge** soit parcourue par un **courant continu**.
- Il se compose d'un grand nombre de lames de cuivre.
- Les balais sont les **frotteurs** en contact avec le **collecteur**. Ils assurent la **liaison électrique** entre l'**induit** et le circuit de **charge**.

4.2.3. Valeur moyenne de e :

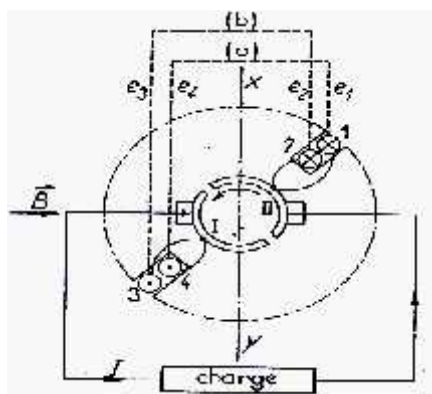
Pendant chaque demi-tour d'un même côté de la ligne neutre, un conducteur coupe le flux ϕ émis par un pôle ; pour n tr/s chaque demi-tour dure : $\Delta t = 1 / 2n$ (s) et $e = 2n\phi$

4.2.4. Association en série de plusieurs conducteurs actifs :

En **augmentant** le nombre de conducteur actifs, on **accroît** la f.é.m. pour obtenir les **f.é.m.** usuelles (**120, 220 V**), il faut disposer en **série** un grand nombre de **conducteurs actifs**.

Exemple :

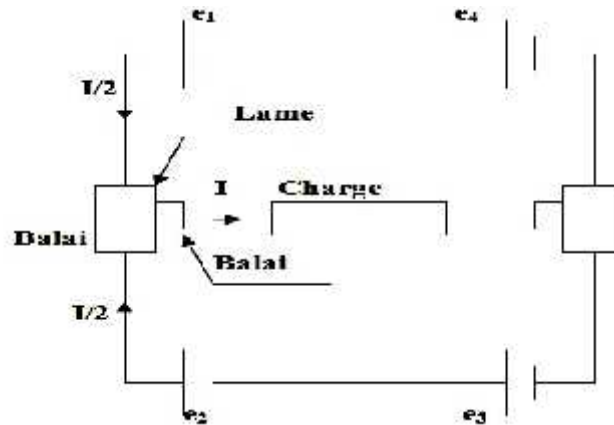
Considérons quatre conducteurs **1-2** et **3-4** diamétralement opposés et deux lames de collecteurs **I** et **II**. Nous obtenons **deux spires** en reliant **1** à **4** et **2** à **3** respectivement par les connexions arrières **a** et **b**. en réunissant sur la face avant **4** à **3** par l'intermédiaire de la lame **I** et **2** à **1** par la lame **II**, on obtient un enroulement fermé.



4.2.5. Schéma équivalent :

L'enroulement est partagé en **deux** moitiés identiques montées en **parallèle** sur les balais ; chacune est équivalente à un **générateur** de f.é.m. $e_1 + e_4 = e_2 + e_3$. Chaque moitié est appelée **voie d'enroulement**.

Si les balais sont reliés à la charge, chaque voie d'enroulement débite la moitié du courant I .



4.2.6. Valeur totale de la f.é.m. :

L'enroulement comporte deux voies de chacune $N/2$ conducteurs actifs donc :

$$E = 2n \cdot N/2 \text{ d'où } \boxed{E = nN \text{ ou } E = K \cdot \Omega}$$

4.2.7. Machines multipolaires :

Une machine multipolaire possède plusieurs **paires** de pôles alternativement Nord Sud pour des puissances supérieures à **5 KW** et peut présenter plusieurs voies d'enroulement.

Soit **p** le nombre de paires de pôles et **a** le nombre de paires de voies d'enroulement (une voie d'enroulement = **2 spires**)

$$\boxed{E = \frac{p}{a} nN}$$

On peut écrire E sous la forme $\boxed{E = Kn}$ avec $K = \frac{p}{a} N$ Ou bien puisque $n = \frac{\Omega}{2\pi} \rightarrow E = K' \Omega$ avec $K' = \frac{p}{2\pi a} N$

Vocabulaire :

- si p = 1	2 pôles	machine bipolaire
- si p = 2	4 pôles	machine tétrapolaire
- si p = 3	6 pôles	machine héxapolaire
- si p = 4	8 pôles	machine octopolaire

4.3. Fonctionnement en moteur :

Considérons une machine simplifiée, c'est à dire **bipolaire** et constituée d'une seule spire (deux conducteurs actifs). L'inducteur (**le stator**) est alimenté par une **tension continue**; il produit un **champ magnétique constant**. Lorsque l'induit (**le rotor**) est alimenté par une source de **courant continu**, les conducteurs actifs sont soumis au **champ magnétique radial** (direction passant par le centre du rotor) créé par l'inducteur, ils sont soumis à un couple de **forces de Laplace** entraînant la rotation du rotor.

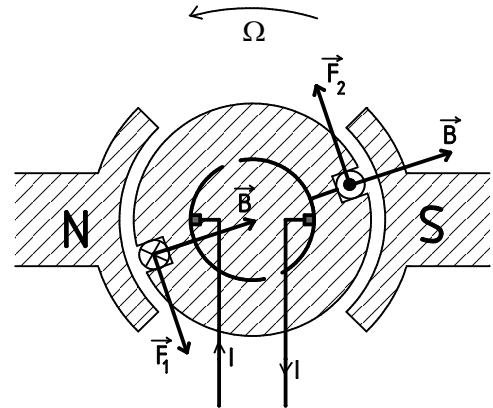
4.3.1. Mise en évidence du couple électromagnétique :

Les deux conducteurs sont soumis à un couple de force F_1 et F_2 .

On rappelle qu'un couple de force se caractérise par son **moment** noté T .

Dans le cas général (de nombreux conducteurs), la somme des moments des couples de forces agissant sur l'ensemble des conducteurs est appelé

le **moment du couple électromagnétique** noté T_{EM} .



4.3.2. Expression du moment du couple électromagnétique :

On définit la **puissance électromagnétique** P_{EM} de l'induit comme étant :

$$P_{EM} = E \cdot I$$

Cette puissance correspondant à la puissance développée par le **couple électromagnétique** tournant à la vitesse Ω , elle peut aussi s'écrire :

$$P_{EM} = T_{EM} \cdot \Omega$$

4.3.3. Autre expression du moment du couple électromagnétique

$P_{EM} = T_{EM} \cdot \Omega = E \cdot I$ donc: $T_{EM} = E \cdot I / \Omega$ de plus, on sait que: $E = K \cdot \Omega \cdot \Phi$ Donc : $T_{EM} = K \cdot \Omega \cdot \Phi \cdot I / \Omega$

Le moment du couple électromagnétique peut donc s'exprimer :

$$T_{EM} = K \cdot \Phi \cdot I$$

Ou bien :

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E \times I}{\Omega} = \frac{K' \Omega \Phi \times I}{\Omega} = K' \Phi I \text{ avec } K' = \frac{P}{2\pi a} N$$

4.4. Réversibilité des machines à courant continu

Les machines à **courant continu** peuvent fonctionner tant en **moteur** qu'en **génératrice** :

- si on **alimente** l'induit, le rotor se met à **tourner**,
- si on fait **tourner** le rotor, l'induit **génère** une f.é.m. E .

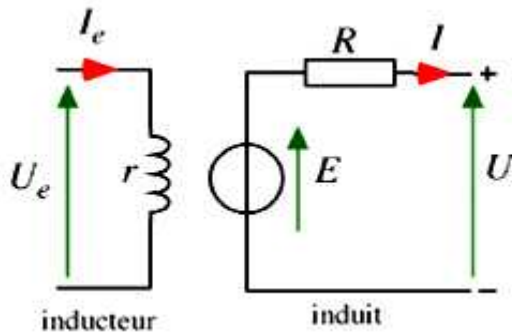
On dit que les **machines à courant continu** sont **réversibles**.

II. GENERATRICES A COURANT CONTINU :

Le rôle d'une génératrice à courant continu est de transformer une énergie mécanique en une énergie électrique.

1. Génératrice à excitation indépendante :

1.1. Schéma de principe :



D'après la loi des mailles :

$$U + RI - E = 0 \rightarrow \boxed{U = E - RI} \text{ et } \boxed{E = U + RI}$$

I : courant fournit par le générateur ; R : résistance de l'induit ;

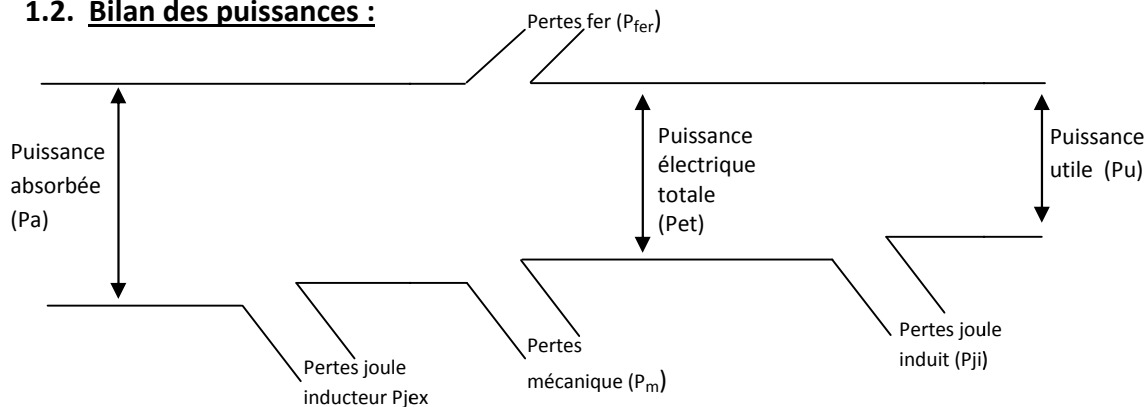
RI : Chute de tension de l'induit ; E : f.e.m ;

$$\boxed{U_e = r \times I_e} \rightarrow \boxed{r = \frac{U_e}{I_e}} \rightarrow \boxed{I_e = \frac{U_e}{r}}$$

r : résistance de l'inducteur ; I_e : courant d'excitation

U_e : Tension d'alimentation du circuit d'excitation

1.2. Bilan des puissances :



➤ **Puissance absorbée:** $P_a = (U_e \times I_e) + P_M = P_u + P_{jex} + P_{ji} + P_c = P_{et} + P_c$

➤ **Pertes par effet joule du circuit inducteur:** $P_{jex} = U_e \times I_e = r \times I_e^2$

➤ **Pertes par effet joule de l'induit:** $P_{ji} = R \times I^2$

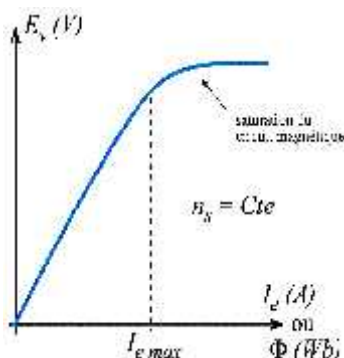
➤ **Puissance électrique totale:** $P_{et} = E \times I = T_{em} \times \Omega = T_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$

➤ **Puissance utile:** $P_u = U \times I$

➤ **Rendement:** $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

1.3. Essai à vide :

A vide on trace la caractéristique interne $E_v = f(I_e)$ à vitesse constante. Cette caractéristique est souvent appelée caractéristique de magnétisation



$$E = K n \Phi = K n I_e \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{I_{e1}}{I_{e2}}$$

$$\text{A vitesse constante } n_1 = n_2 \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{I_{e1}}{I_{e2}}$$

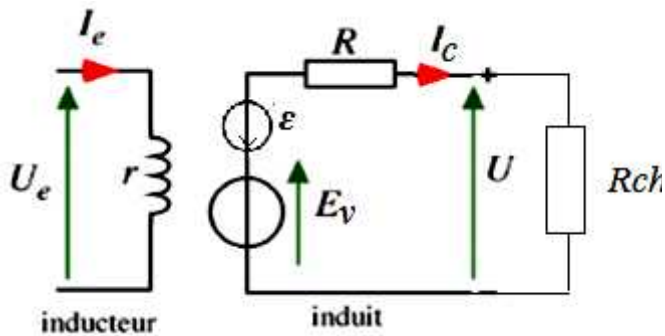
NB : Les pertes constantes P_c sont déterminées dans cet essai :

$$P_{av} = (U_e \times I_e) + F_M = P_{jex} + P_c \rightarrow P_c = F_M = T_M \Omega$$

1.4. Essai en charge :

Réaction d'induit: en charge le courant d'induit crée un flux de réaction qui s'ajoute vectoriellement au courant inducteur et qui crée une chute de tension appelée réaction d'induit au niveau de l'induit. Cette réaction d'induit est la différence entre la fém à vide et la fém en charge : $\varepsilon = E_v - E_{charge}$

D'où le schéma de principe suivant :



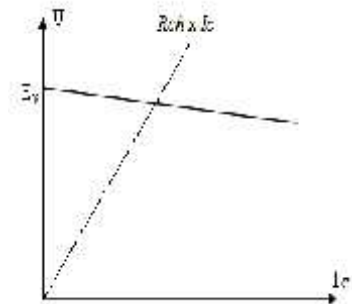
$$E_v - \varepsilon - RI - U = 0 \rightarrow U = E_v - \varepsilon - RI$$

$$U = E_c - RI = E_v - h \text{ avec } h = \varepsilon + RI$$

h : représente la chute de tension totale encore appelée **réaction totale d'induit**.

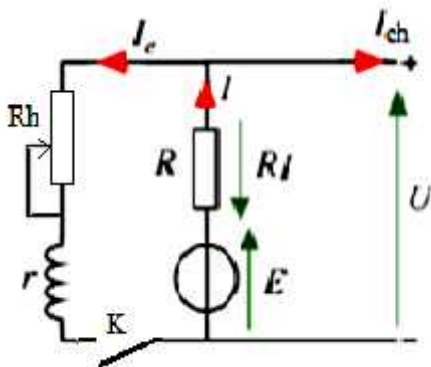
la réaction magnétique d'induit peut être **compensée**, dans ce cas $\varepsilon = 0$

- **Caractéristique en charge :** la caractéristique en charge est la courbe $U = f(I_c)$, elle se trace à **vitesse** et **courant d'excitation constants**.
- **Point de fonctionnement :** c'est le point d'intersection entre la courbe $U = f(I_c)$ et la droite de charge $R_{ch} \times I_c$



2. Génératrice à excitation shunt :

2.1. Schéma de principe :



$$U + RI - E = 0 \quad U = E - RI \quad \text{et} \quad E = U + RI$$

I : Courant fourni par l'induit ; **R :** résistance de l'induit ;

RI : Chute de tension de l'induit ; **E :** f.é.m. ;

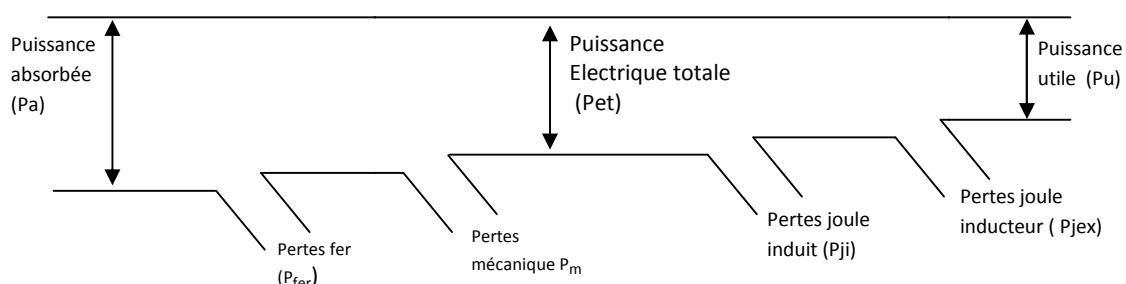
$$U = (r + R_h) \times I_e \quad R_h : \text{résistance du rhéostat d'excitation}$$

r : résistance de l'inducteur ; **I_e :** courant d'excitation

U : Tension fournie par la génératrice

I_ch : Courant que le moteur fournit à la charge $I = I_{ch} + I_e$

2.2. Bilan des puissances :



- **Puissance absorbée:** $P_a = P_M = P_u + P_{ji} + P_{jex} + P_c = P_{et} + P_c$
- **Pertes par effet joule du circuit inducteur:** $P_{jex} = U \times I_e = (r + R_h) \times I_e^2$
- **Pertes par effet joule de l'induit:** $P_{ji} = R \times I^2$
- **Puissance électrique totale:** $P_{et} = E \times I = C_{em} \times \Omega = C_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Puissance utile:** $P_u = U \times I_{ch}$
- **Rendement:** $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

2.3. Amorçage :

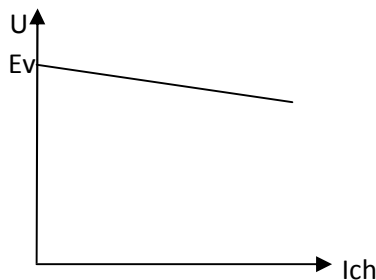
L'amorçage est l'ensemble des phénomènes qui se produisent entre la fermeture de l'interrupteur K et la disponibilité d'une tension utilisable aux bornes de la génératrice. Lorsqu'on entraîne la génératrice en rotation une faible tension appelée fém rémanente est disponible aux bornes de l'induit. A la fermeture de l'interrupteur deux cas peuvent se présenter :

- Si la tension aux bornes de l'induit augmente (càd que le flux inducteur s'ajoute au flux rémanent qui augmente la valeur de la fém) on dit que la génératrice s'est amorcée
- Si la tension aux bornes de l'induit diminue (càd que le flux inducteur se soustrait du flux rémanent qui diminue la valeur de la fém) on dit que la génératrice ne s'est pas amorcée. Dans ce cas, on change le sens de rotation de la machine ou on permute la connexion entre l'induit et l'inducteur pour que la génératrice s'amorce.

Dans tous les cas la résistance du circuit inducteur ($r+R_h$) ne doit pas dépasser une valeur critique (R_c) qui pourrait affaiblir le courant d'excitation à un point qu'il ne puisse augmenter la valeur de la fém.

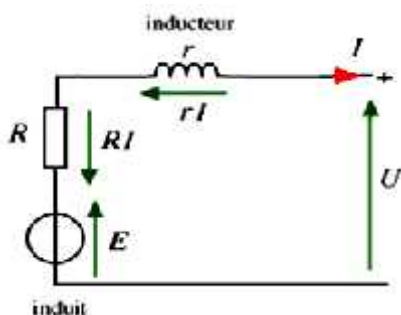
2.4. Essai en charge :

On trace la caractéristique $U=f(I)$.



3. Génératrice à excitation série :

3.1. Schéma de principe :



$$U + RI + rI - E = 0 \rightarrow U = E - RI - rI = E - I(R + r)$$

$$E = U + RI + rI = U + I(R + r)$$

I : Courant absorbé par le moteur ;

U : Tension fournie par la génératrice

RI : Chute de tension de l'induit ; rI : Chute de tension de l'inducteur

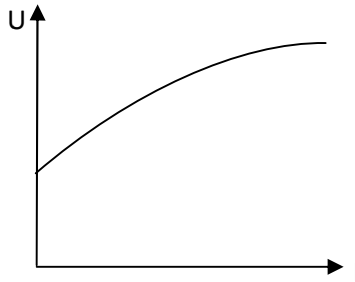
3.2. Bilan des puissances :

L'arbre des puissances est identique à celle de la génératrice shunt

- **Puissance absorbée:** $P_a = P_u + P_{jex} + P_{ji} + P_c = P_{et} + P_c$
- **Pertes par effet joule du circuit inducteur:** $P_{jex} = r \times I^2$
- **Pertes par effet joule de l'induit:** $P_{ji} = R \times I^2$
- **Puissance électrique totale:** $P_{et} = E \times I = C_{em} \times \Omega = C_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Puissance utile:** $P_u = U \times I$
- **Rendement:** $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

3.4. Essai en charge :

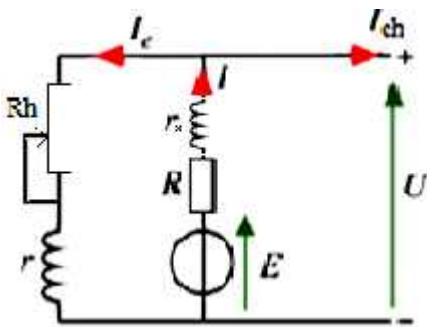
On trace la caractéristique $U=f(I)$.



4. Génératrice compound :

C'est une génératrice de type shunt dont les pôles portent en plus de l'enroulement shunt quelques spires en série avec l'induit.

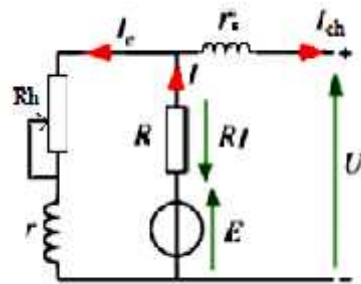
a) Longue dérivation



$$U = E - RI - r_s I$$

$$U = (r + R_h)I_e$$

b) courte dérivation



$$U = E - RI - r_s I_{ch}$$

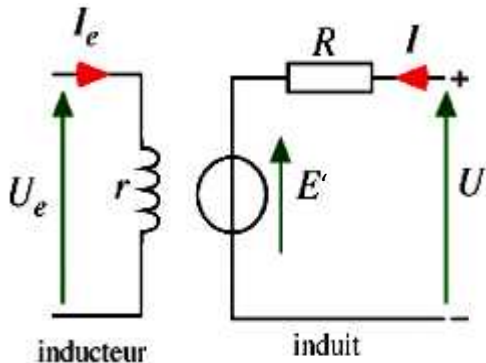
$$U = [(r + R_h)I_e] - (r_s \times I_{ch})$$

III. MOTEURS A COURANT CONTINU :

Le rôle d'un moteur à courant continu est de transformer une énergie électrique en une énergie mécanique

1. Moteur à excitation indépendante :

1.1. Schéma de principe :



$$U - RI - E' = 0 \rightarrow U = E' + RI \text{ et } E' = U - RI$$

I : courant absorbé par l'induit ; R : résistance de l'induit ;

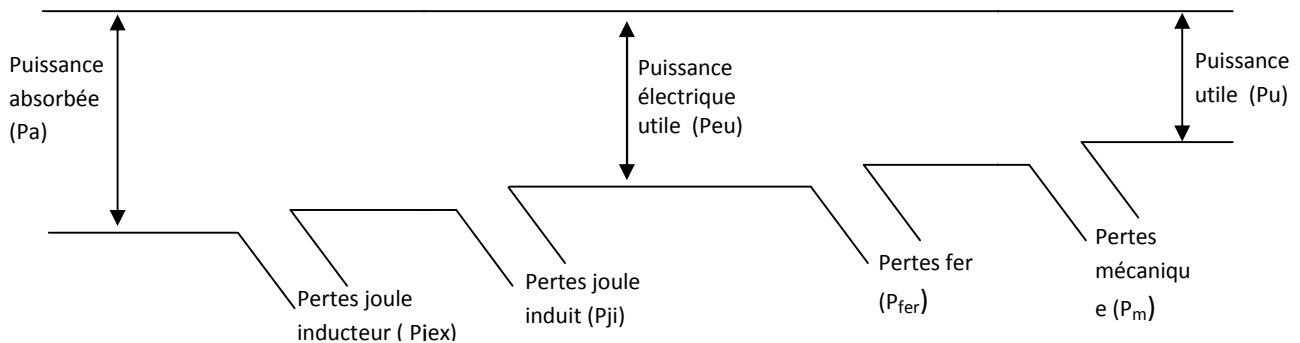
RI : Chute de tension de l'induit ; E' : f.c.é.m. ;

$$U_e = r \times I_e \rightarrow r = \frac{U_e}{I_e} \rightarrow I_e = \frac{U_e}{r}$$

r : résistance de l'inducteur ; I_e : courant d'excitation

U_e : Tension d'alimentation du circuit d'excitation

1.2. Bilan des puissances :



➤ Puissance absorbée: $P_a = (U_e \times I_e) + (U \times I)$

➤ Pertes par effet joule du circuit inducteur: $P_{jex} = U_e \times I_e = r \times I_e^2$

➤ Pertes par effet joule de l'induit: $P_{ji} = R \times I^2$

➤ Puissance électrique utile P_{eu} : $P_{eu} = E' \times I = C_{em} \times \Omega = C_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$

➤ Puissance utile: $P_u = P_a - P_{ji} - P_{jex} - P_c = P_{eu} - P_c = C_u \times \Omega = C_u \times \frac{2\pi n}{60}$

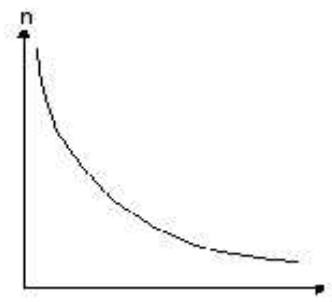
➤ Rendement: $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

1.3. Caractéristique à vide :

A vide on trace la caractéristique $n = f(I_e)$

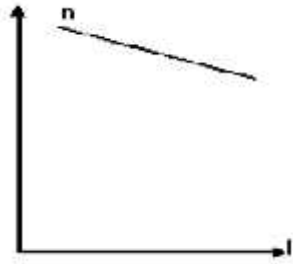
$$E = K n \phi = K n \rightarrow n = \frac{E}{K} = \frac{U - RI}{K}$$

$$\text{A vide } I \approx 0 \rightarrow RI \approx 0 \text{ donc } n = \frac{U}{K}$$



Attention : Il ne faut jamais ouvrir le circuit d'excitation quand l'induit est sous tension car le moteur risque de s'emballer

1.4. Caractéristique en charge :



En charge on trace la caractéristique $n = f(I)$

$$n = \frac{E}{K\phi} = \frac{U - RI}{K\phi} = \frac{U}{K\phi} - \frac{RI}{K\phi}$$

1.5. Démarrage des moteurs à courant continu :

D'après la loi des mailles : $U = E' + RI \rightarrow I = \frac{U - E'}{R}$ avec $E' = \frac{p_a n N}{60}$

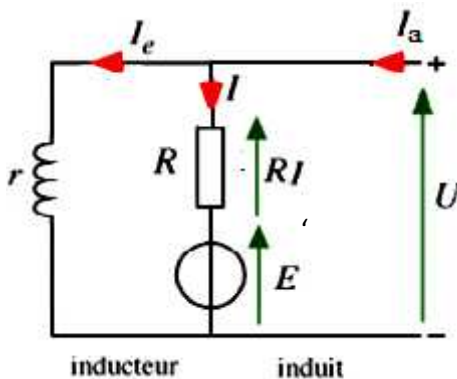
Au démarrage du moteur $n = 0 \rightarrow E' = 0 \rightarrow I_d = \frac{U}{R}$

Cette expression nous montre **qu'au démarrage** le courant est **très élevé**. Pour le limiter on insère un

rhéostat de démarrage R_h en série avec la résistance de l'induit : $I_d = \frac{U}{R + R_h} \rightarrow R_h = \frac{U}{I_d} - R$

2. Moteur à excitation shunt :

2.1. Schéma de principe :



$$U - RI - E' = 0 \rightarrow U = E' + RI \text{ et } E' = U - RI$$

I : Courant absorbé par l'induit ; R : résistance de l'induit ;

RI : Chute de tension de l'induit ; E' : f.c.é.m. ;

$$U = r \times I_e \rightarrow r = \frac{U}{I_e} \rightarrow I_e = \frac{U}{r}$$

r : résistance de l'inducteur ; I_e : courant d'excitation

U : Tension d'alimentation du moteur

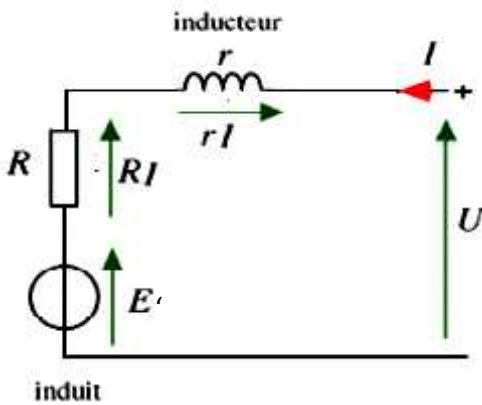
I_a : Courant absorbé par le moteur $I_a = I + I_e$

2.1. Bilan des puissances :

- **Puissance absorbée:** $P_a = U \times I_a$
- **Pertes par effet joule du circuit inducteur:** $P_{jex} = U \times I_e = r \times I_e^2$
- **Pertes par effet joule de l'induit:** $P_{ji} = R \times I^2$
- **Puissance électrique utile:** $P_{eu} = E' \times I = C_{em} \times \Omega = C_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Puissance utile:** $P_u = P_a - P_{ji} - P_{jex} - P_c = P_{eu} - P_c = C_u \times \Omega = C_u \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Rendement:** $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

3. Moteur à excitation série :

3.1. Schéma de principe :



D'après la loi des mailles :

$$U - RI - rI - E' = 0 \rightarrow U = E' + RI + rI = E' + I(R + r)$$

$$E' = U - RI - rI = U - I(R + r)$$

I : Courant absorbé par le moteur ;

U : Tension d'alimentation du moteur

R : résistance de l'induit ; r : résistance de l'inducteur

RI : Chute de tension de l'induit ; E' : f.c.é.m. ;

rI : Chute de tension de l'inducteur

3.2. Bilan des puissances :

- **Puissance absorbée:** $P_a = U \times I$
- **Pertes par effet joule du circuit inducteur:** $P_{jex} = r \times I^2$
- **Pertes par effet joule de l'induit:** $P_{ji} = R \times I^2$
- **Puissance électrique utile:** $P_{eu} = E' \times I = C_{em} \times \Omega = C_{em} \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Puissance utile:** $P_u = P_a - P_{ji} - P_{jex} - P_c = P_{eu} - P_c = C_u \times \Omega = C_u \times \frac{2\pi n}{60}$
- **Rendement:** $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

3.3. Etude à vide :

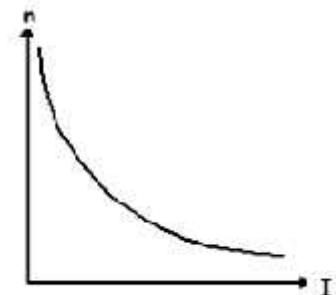
$$E' = U - I(R + r) \rightarrow nN\Phi = U - I(R + r) \rightarrow n = \frac{U - I(R + r)}{N\Phi} = \frac{U - KI}{KI}$$

Si $I \rightarrow 0$ alors $n \rightarrow \infty$, le moteur série **ne doit pas fonctionner à vide**

4. Essai en charge

$$n = \frac{U - I(R + r)}{N\Phi} = \frac{U - KI}{KI} = \frac{U}{KI} - K'$$

Si I augmente n diminue, d'où l'allure ci contre



SERIE D'EXERCICES SUR LES MACHINES A COURANT CONTINU

Exercice1

Une machine bipolaire porte 800 conducteurs actifs ; le flux sous un pôle est 0,022Wb. Quelle doit être la fréquence de rotation pour obtenir une force électromotrice de 440V ?

Exercice2

La force électromotrice d'une machine bipolaire est de 120V quand sa fréquence est de 20 tr/s.

- 1) Calculer le nombre de conducteurs actifs si le flux sous un pôle est de 0,015 Wb
- 2) Ce nombre de conducteurs étant inchangé, on veut obtenir la même force électromotrice avec une fréquence de rotation de 1500tr/mn. Quel doit être la nouvelle valeur du flux ?

Exercice3

L'induit d'une machine bipolaire porte 560 conducteurs actifs dont la longueur moyenne est de 0,7m. La force électromotrice est 250V quand la fréquence de rotation est 1800tr/mn. Calculer :

- 1) Le flux sous un pôle
- 2) La résistance de l'induit sachant que l'enroulement est en cuivre ($\rho = 2.10^{-8} \Omega m$) et que la section du fil est de $5mm^2$
- 3) Le courant maximal qui peut traverser la machine si l'on admet une densité de courant de $2,5A / mm^2$ dans les conducteurs

Exercice4

Une génératrice à excitation indépendante bien compensée fournit un courant de 40A sous une tension de 220V. La résistance de l'induit est $R=0,5\Omega$. Calculer :

- 1) La puissance utile fournie par la génératrice
- 2) La force électromotrice, la puissance électromagnétique et son couple
- 3) L'inducteur de résistance $r=150\Omega$ est alimenté sous une tension $U_e=120V$. Les pertes collectives sont estimées à 320W. Calculer :
 - a) Les pertes par effet joule dans l'induit
 - b) Les pertes par effet joule dans l'inducteur
 - c) La puissance absorbée par la machine
 - d) Le rendement de la génératrice

Exercice5

Pour un courant d'excitation de 4A, la force électromotrice constante d'une génératrice à excitation indépendante est $E=240V$.

Les résistances des enroulements sont :

Induit : $R=0,08\Omega$; inducteur : $r=30\Omega$

Les pertes constantes sont $P_c=450W$ quand il fournit un courant de 80A. Calculer :

- 1) La tension U fournie par la génératrice
- 2) La puissance utile et le rendement

Exercice6

Une génératrice shunt parfaitement compensée fournit à un circuit extérieur un courant de 36A sous une tension de 225V. La résistance du circuit inducteur est 150Ω et celle de l'induit $0,4\Omega$. Les pertes constantes sont de 1000W. Calculer :

- 1) La force électromotrice
- 2) Les pertes par effet joule dans l'inducteur
- 3) Les pertes par effet joule dans l'induit
- 4) La puissance utile, la puissance absorbée et le rendement

Exercice7

Une génératrice shunt possède à 1200tr/mn les caractéristiques suivantes,

Caractéristique internes :

Caractéristique externes :

i(A)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
Ev(V)	147	273	375	425	460	490	515	530

I(A)	0	20	30	40	50	70	80	100
U(V)	500	490	483	476	466	443	429	396

Les résistances de l'induit et de l'inducteur sont respectivement 380Ω et $0,3\Omega$

- 1) Tracer la caractéristique interne
- 2) Tracer la caractéristique externe
- 3) Calculer le rendement correspondant à un débit de 80A dans le circuit de charge. Les pertes constantes sont de 1,5kW
- 4) Quelle serait la fém à vide sans rhéostat d'excitation
 - a) A 1200 tr / mn ?
 - b) A 1320 tr / mn ?
- 5) La génératrice étant à vide et tournant à 1200tr/mn, quelle valeur faut-il donner à la résistance du rhéostat d'excitation :
 - a) Pour avoir une fém de 475V ?
 - b) Pour provoquer le désamorçage ?

Exercice8

Une génératrice série fournit à un circuit extérieur un courant de 20A sous une tension de 250V. La résistance de l'inducteur est $1,25\Omega$ et celle de l'induit $0,5\Omega$. Les pertes constantes sont de 108W. Calculer :

- 1) La force électromotrice le couple électromagnétique
- 2) Les pertes totales par effet joule
- 3) La puissance utile et le rendement

Exercice9

Une génératrice compound courte dérivation fournit à un circuit de charge un courant de 80A sous une tension de 220V. Les résistances des enroulements sont : induit $R = 0,1\Omega$, inducteur série $R' = 0,05\Omega$, inducteur shunt $r = 112\Omega$. Calculer :

- 1) Les courants qui traversent chaque partie de la machine
- 2) La force électromotrice en charge
- 3) La puissance utile, les différents pertes par effet joule et la puissance électrique totale

Exercice10

Une génératrice compound longue dérivation fournit à un circuit de charge un courant de 28,5A sous une tension de 120V. Les résistances des enroulements sont : induit $R = 0,6\Omega$, inducteur série $R' = 0,4\Omega$, inducteur shunt $r = 80\Omega$. Calculer :

- 1) Les courants qui traversent chaque partie de la machine
- 2) La force électromotrice en charge
- 3) La puissance utile, les différents pertes par effet joule et la puissance électrique totale

Exercice11

Un moteur à excitation indépendante tourne à la vitesse de 1400tr/mn quand il absorbe un courant de 30A sous une tension de 115V. Les pertes par effet joule dans l'inducteur sont de 150W et les pertes constantes 220W. La résistance de l'induit est $R = 0,3\Omega$. Calculer :

- 1) La force contre électromotrice, la puissance électrique utile et le couple électromagnétique
- 2) La puissance absorbée, la puissance utile et le rendement

Exercice12

Un moteur à courant continu à excitation séparée, bien compensée, a les caractéristiques suivantes en fonctionnement nominal : 440V ; 3200tr/mn ; 100A ; $R = 0,05\Omega$ Excitation : 1100W ; 190V ; 5,8A

Le moteur fonctionne sous tension constante $U = 440V$

- 1) Calculer la f.c.é.m du moteur
- 2) Les pertes constantes étant estimées à 3200W, calculer la puissance utile nominale ainsi que le moment du couple utile et le rendement correspondants
- 3) Quelle est la valeur du rhéostat de démarrage R_d permettant de limiter le courant de démarrage à $2,5I_n$

Exercice13

Un moteur shunt alimenté par une tension de 120V possède les caractéristiques suivantes : résistance de l'induit $0,5\Omega$; résistance de l'inducteur 80Ω

L'intensité totale absorbée 37,5A ; vitesse de rotation 1800tr/mn

Déterminer :

- 1) L'intensité du courant d'excitation
- 2) L'intensité du courant dans l'induit
- 3) La force contre électromotrice et la puissance électrique utile
- 4) Les pertes par effet joule dans l'inducteur et dans l'induit
- 5) La résistance du rhéostat de démarrage pour que l'intensité au démarrage soit égale à 60A

Exercice14

Un moteur shunt alimenté par une tension de 220V possède les caractéristiques suivantes.

La résistance d'induit $0,2\Omega$

La résistance d'inducteur 110Ω

Pertes collectives 700W

- 1) La fréquence du moteur est 1500tr/mn quand l'induit absorbe un courant de 75A. Calculer :
 - a) La force contre électromotrice, la puissance électrique utile et le couple électromagnétique
 - b) la puissance utile, le rendement et le couple utile
- 2) Déterminer la résistance du rhéostat de démarrage pour que l'intensité au démarrage soit de 160A

Exercice15

Un moteur série fonctionne sous tension constante de 230V. Il absorbe un courant de 22A quand il tourne à la vitesse de 600tr/mn. La résistance de l'induit est $0,6\Omega$ et celle de l'inducteur $0,3\Omega$. Déterminer

- 1) La force contre électromotrice
- 2) La puissance électrique utile et le couple électromagnétique
- 3) La puissance utile et le rendement si les pertes collectives s'élèvent à 300W