

Chapitre III :

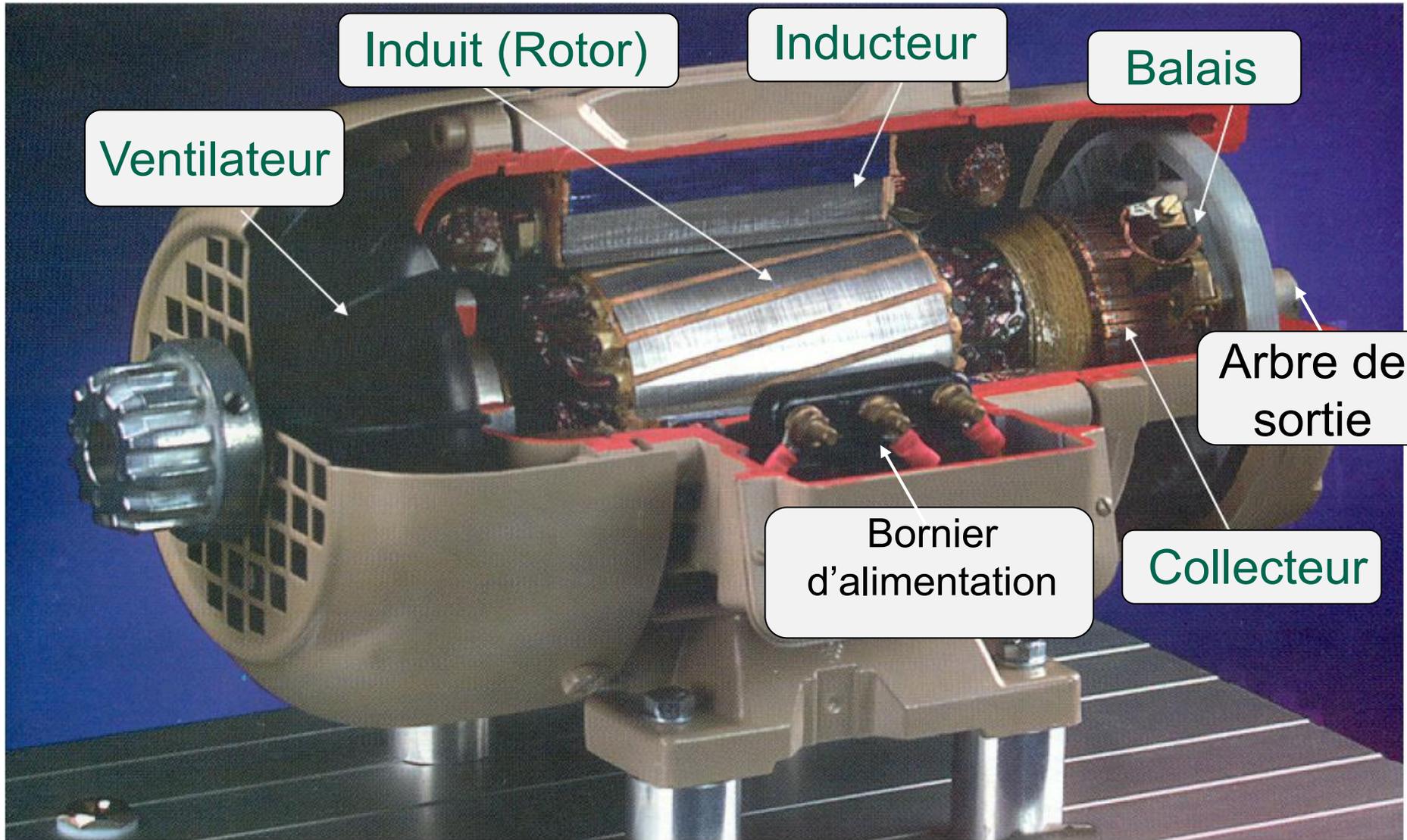
Les convertisseurs
électromécaniques

Chapitre II Les convertisseurs électromécaniques

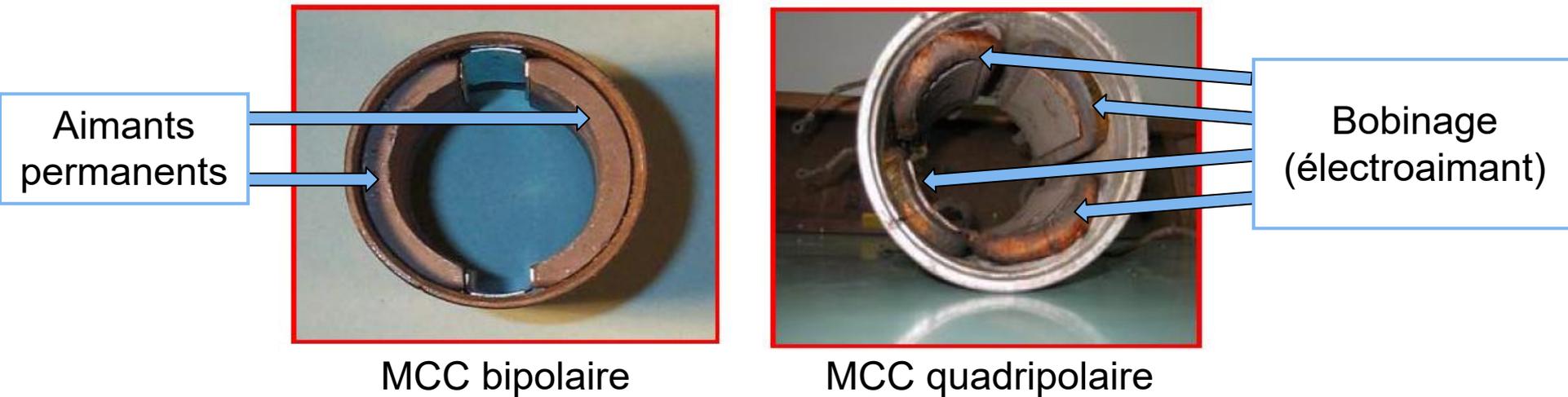
- C'est un convertisseur permettant de convertir l'énergie électrique (courant continu) en rotation mécanique. C'est le moteur le plus simple à mettre en œuvre.



Constitution



Inducteur ou stator

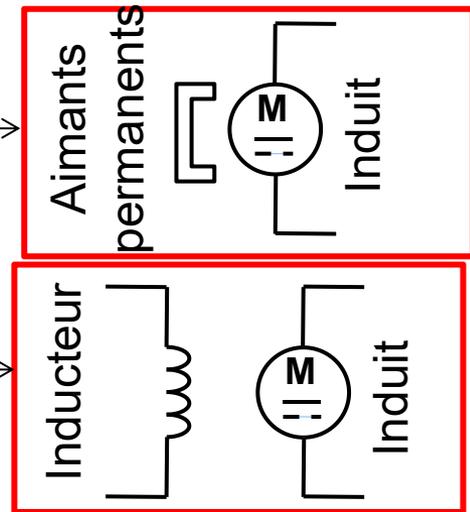


L'inducteur (le stator) est **une source de champ magnétique et de flux magnétique** créés par un électroaimant grâce à un bobinage « inducteur » ou des aimants permanents.

Le bobinage de l'électroaimant (enroulement statorique) est parcouru par un courant continu appelé **courant d'excitation (I_e)**.

Deux types de machines existent donc :

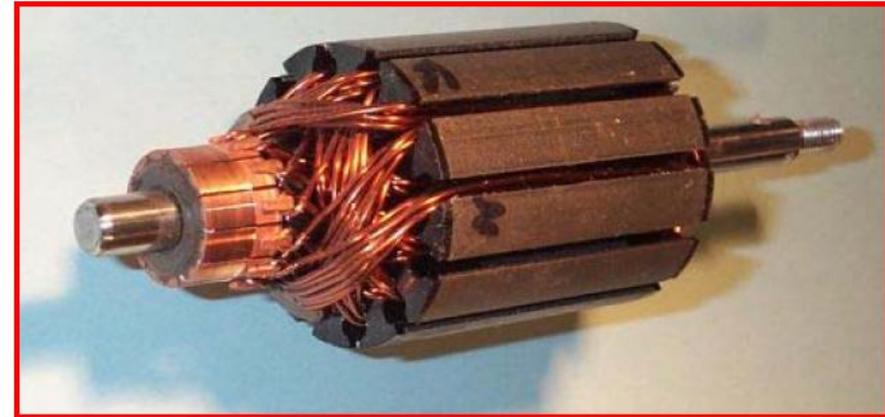
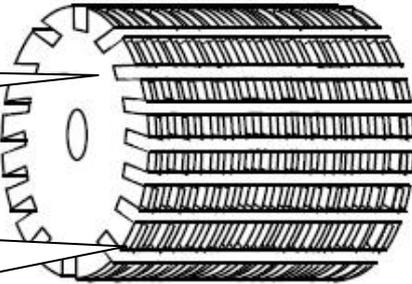
- la MCC à aimants permanents .
- la MCC à inducteur bobiné,



Induit (rotor)

Tôles d'acier

Encoches recevant les conducteurs de l'induit



L'induit (le rotor) est formé d'un empilage de tôles circulaires en acier au silicium, isolées par vernis **pour réduire les pertes fer**.

Les tôles sont munies d'encoches permettant de loger le **bobinage « actif »**.

Ce bobinage est parcouru par le courant d'alimentation (I ou I_a) grâce à des balais (ou charbons) fixes glissant sur le **collecteur**.

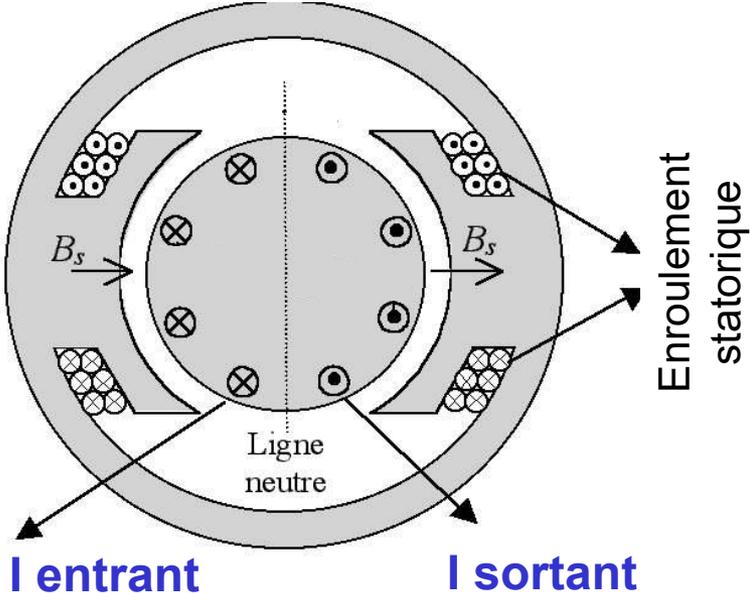
Collecteur - Balais

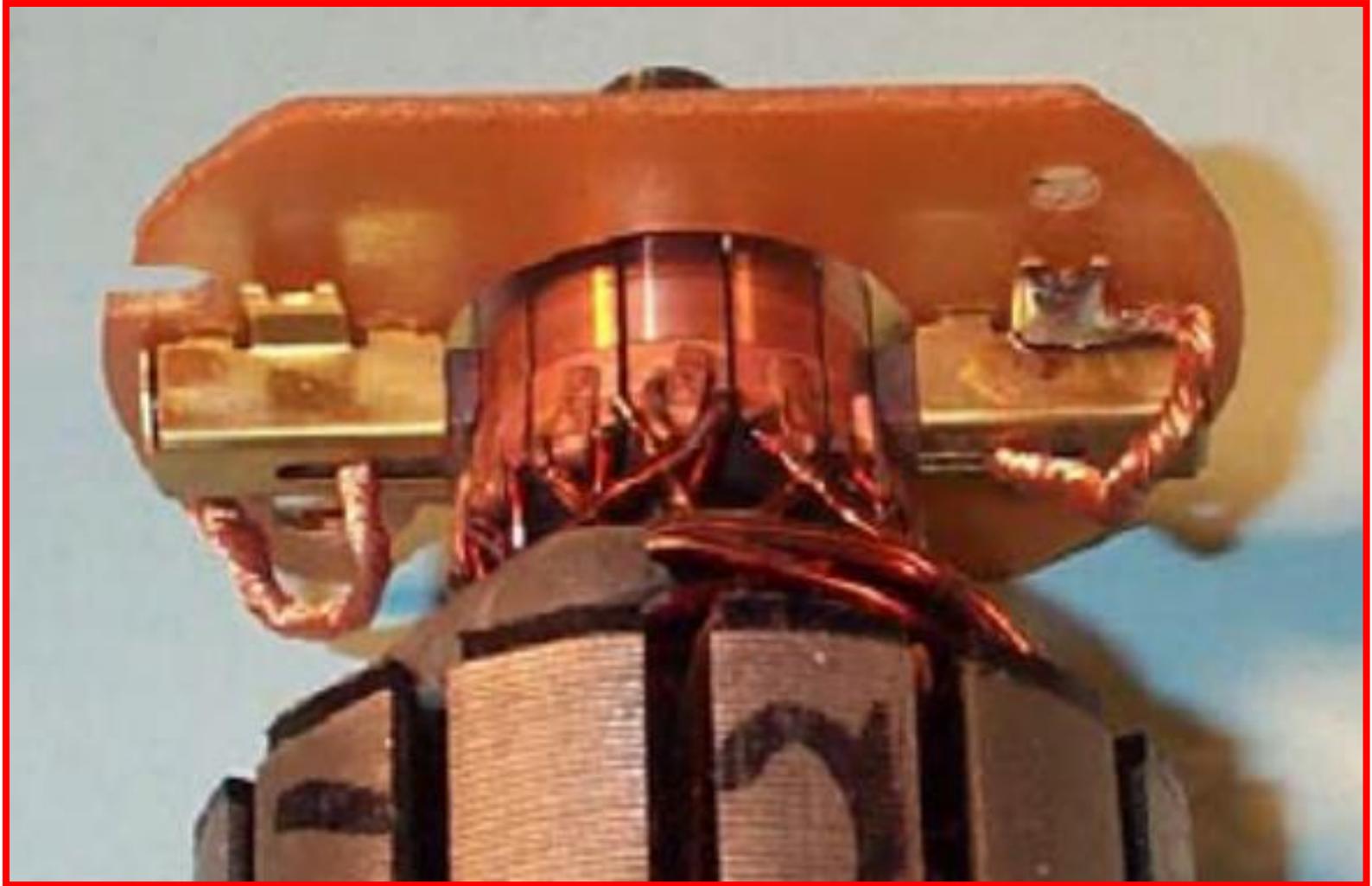


Le collecteur est constitué par une juxtaposition cylindrique de **lames de cuivre séparées par des lames isolantes**. Chaque lame du collecteur est **reliée électriquement à un ou plusieurs conducteurs de l'induit**.

Les balais **permettent l'alimentation de l'induit** (partie en rotation) grâce à un contact glissant entre les lames du collecteur et le circuit électrique extérieur.

L'ensemble balais-collecteur **assure l'inversion de sens du courant dans les conducteurs de l'induit** au passage de la ligne neutre, ce qui permet d'entretenir la rotation du rotor en **imposant le sens du courant sous chaque pôle**.





Conversion électromécanique et fcem

induite

Loi de Laplace : l'action d'un champ magnétique sur un conducteur traversé par un courant produit une force (animation).

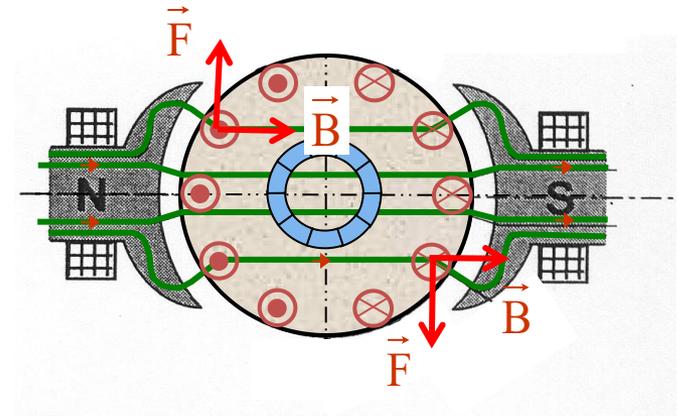
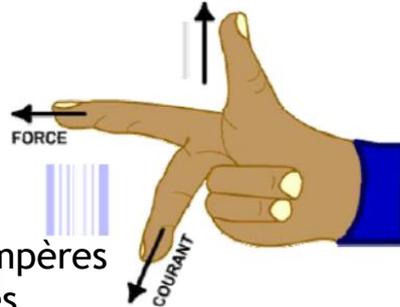
la règle des trois doigts
de la main droite.

F : Force en Newtons

B : Induction magnétique en teslas

I : Intensité dans le conducteur en ampères

L : Longueur du conducteur en mètres



⇒ L'ensemble des forces exercées sur les conducteurs de l'induit engendre **un couple qui fait tourner le moteur.**

Loi de Lenz-Faraday : lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, **il apparaît une force contre électromotrice (fcem) à ses bornes.**

⇒ La **fcem totale aux bornes de l'induit E à vide** a pour expression:

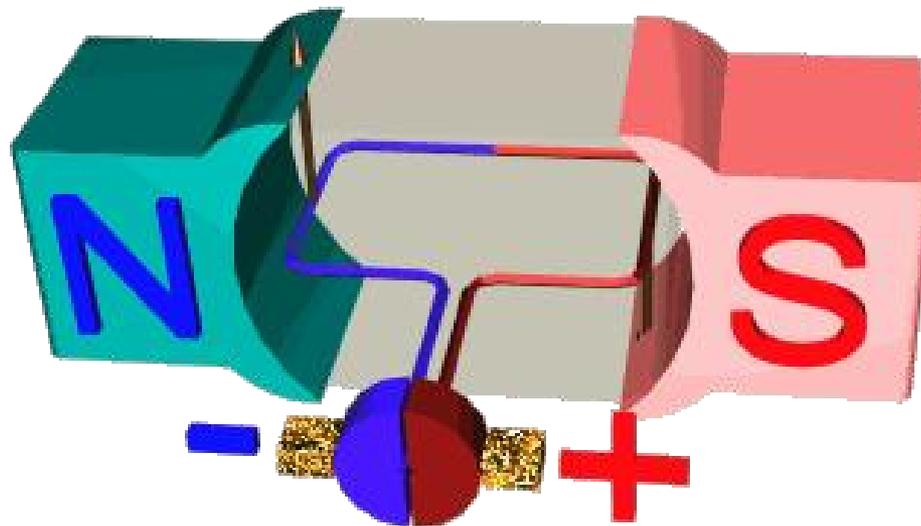
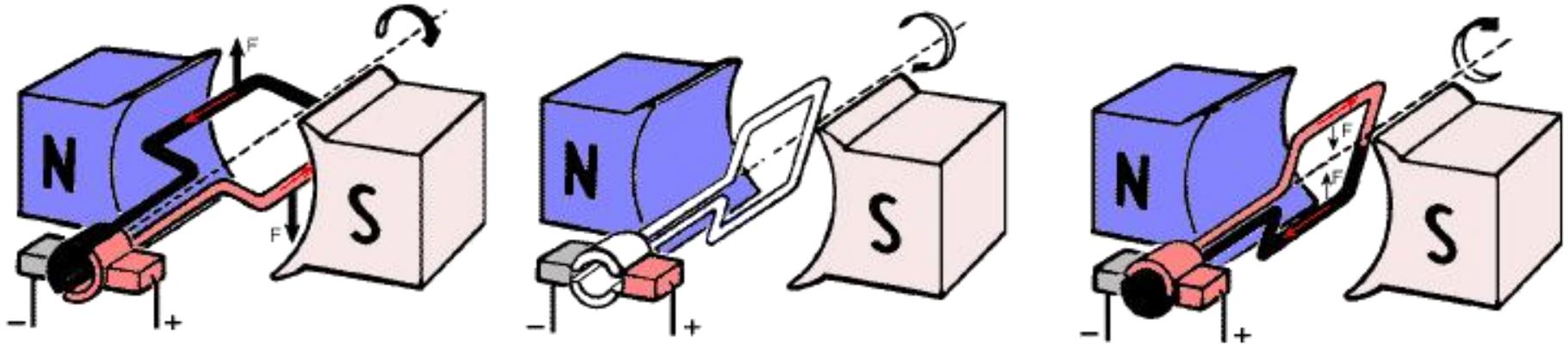
$$E = \left(\frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a} \right) \cdot \Phi \cdot \Omega = K \cdot \Phi \cdot \Omega$$

p: le nombre de paires de pôles de l'inducteur,
a: le nombre de paires de voies d'enroulement (« chemins » pour aller du balai + au -) de l'induit,

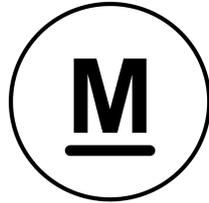
N: le nombre de conducteurs de l'induit,
 Φ : le flux moyen sous un pôle de l'inducteur,
 Ω : la vitesse angulaire de l'induit en rd/s.

Principe de fonctionnement

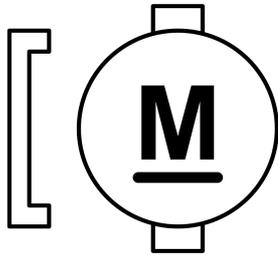
Lorsque les conducteurs sont parcourus par un courant, ils sont soumis à des forces F_1 et F_2 qui tendent à faire tourner le rotor. Le collecteur permet d'inverser le sens du courant dans les conducteurs lorsque ceux-ci passent le plan vertical. Ainsi le sens du couple des forces F_1 et F_2 et donc le sens de rotation du moteur est conservé.



Symboles



Moteur courant continu



Moteur courant continu à aimant permanent

Définitions

C_m : couple moteur (Nm)

K_m : constante de fabrication

I_m : courant moteur (A)

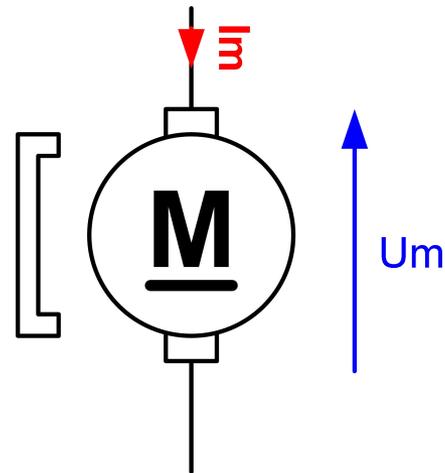
E : force électromotrice (fem)

Ω : vitesse angulaire en rad.s^{-1}

N : vitesse de rotation en tr.min^{-1}

Relation mécanique

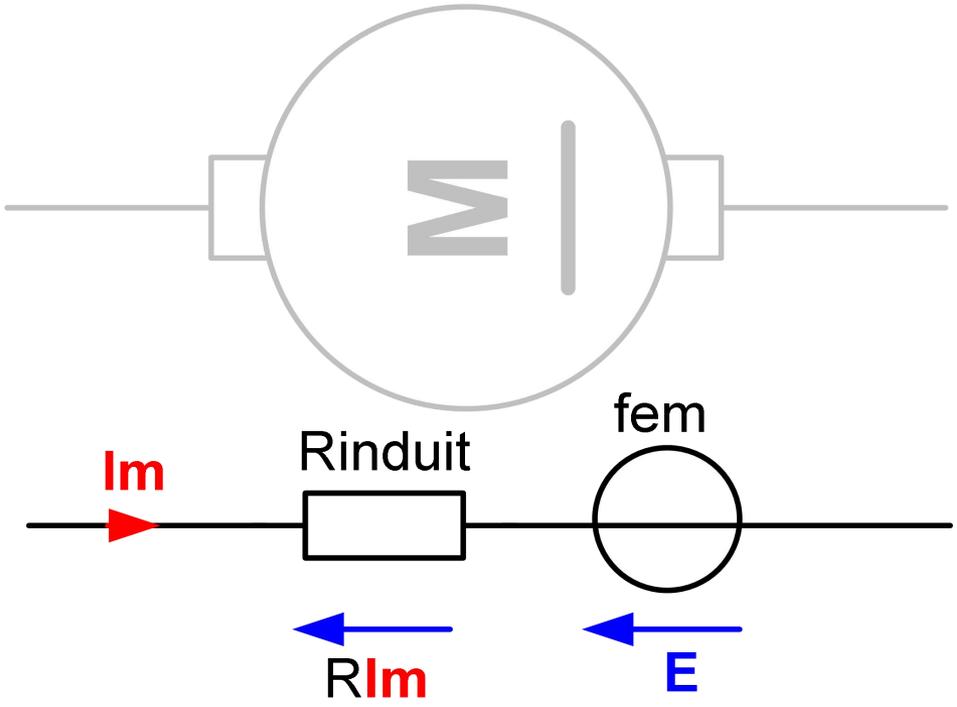
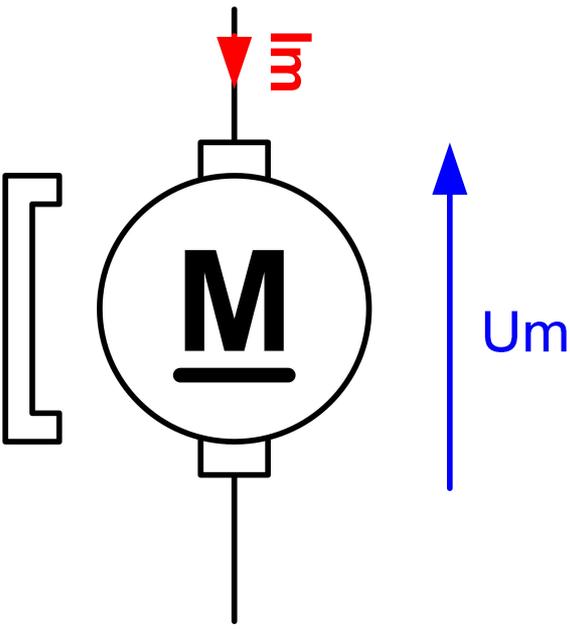
$$C_m = K_m \cdot I_m$$



Relations du moteur à courant continu à aimant permanent

Modèle équivalent :

Le moteur à courant continu à aimant permanent est équivalent à une force électromotrice en série avec une résistance interne : R induit



Si le flux est constant cette f_{cem} peut s'écrire :



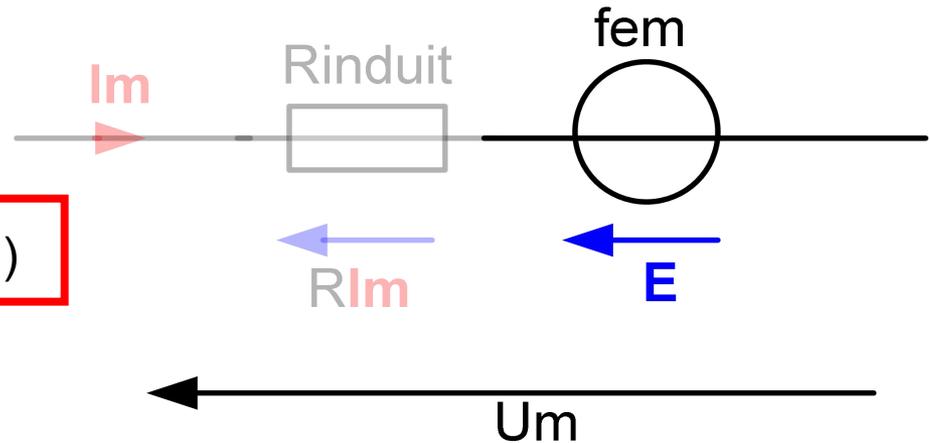
$$E = K_e \cdot \Omega$$

$$U_m = R \cdot I_m + E$$

Force électromotrice fem ou fcem

La force électromotrice ou force contre électromotrice (fem ou fcem) d'un moteur à courant continu à aimant permanent est proportionnelle à la vitesse de rotation.

En particulier, si la vitesse est nulle, la fem est nulle aussi.



$$E = K_e \cdot \Omega \quad (\text{avec } K_e \text{ en } V/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$$

ou

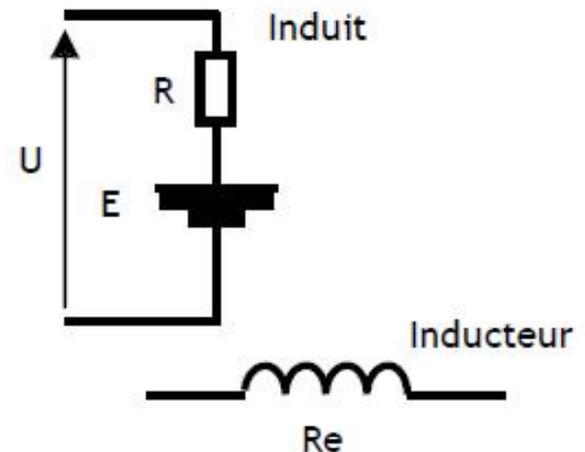
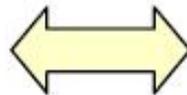
$$E = K_e \cdot N \quad (\text{avec } K_e \text{ en } V/\text{tr}\cdot\text{min}^{-1})$$

! Attention à l'unité de K_e !

MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU :

On peut écrire la loi d'ohm électrique (on suppose que l'inducteur est à aimant permanent ou alimenté par une tension continu constante, ce qui revient à supposer que le flux est constant).

$$U = E + R.I$$
$$E = k.n$$
$$C = (k/2\pi).I = k'.I$$



DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU :

courant de démarrage :

Au démarrage la vitesse est nulle donc $n = 0$. Donc $E = 0$. On peut alors écrire :

$$U = R \cdot I_D \text{ (} I_D \text{ : courant au démarrage).}$$

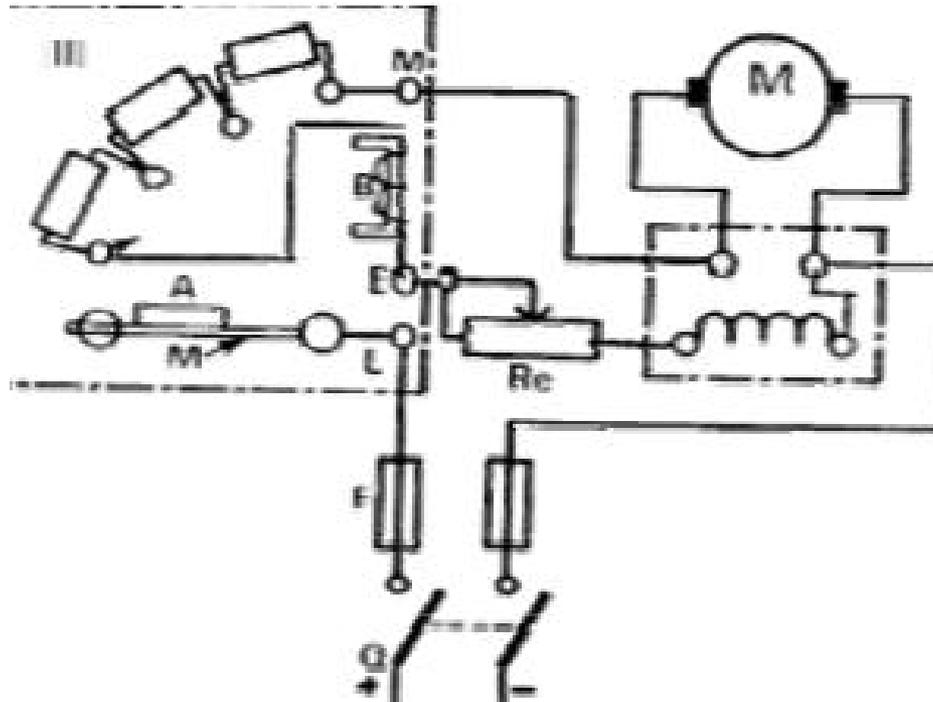
Pour les grosses machines R est faible (de l'ordre de quelques dixièmes d'Ohms) et pour les petits moteurs cette résistance est relativement grande. Ce qui impose de prévoir un circuit permettant de minimiser ce courant lors de démarrage des grosses machines.

DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU :

Circuit de démarrage :

Pour minimiser I_D on peut :

- Soit démarrer avec une tension U faible (Démarrage à tension réduite).
- Soit ajouter une résistance en série avec l'induit lors du démarrage (Rhéostat de démarrage) (voir figure).



Bilan des puissances

L'ensemble des pertes :

Dans un moteur à courant continu on peut distinguer les pertes suivantes :

Pertes mécaniques : dues aux frottements et à la résistance aérodynamique du ventilateur.

Pertes magnétiques : dues aux pertes dans le circuit magnétique (pertes par hystérésis, pertes par courant de Foucault).

Pertes Joules : pertes dans les résistances de l'induit et de l'inducteur

$$P_j = R \cdot I^2 + R_e \cdot I_e^2 \cong R \cdot I^2.$$

La somme des pertes mécanique et des pertes magnétiques s'appelle pertes constantes (P_c).

Le rendement :

On appelle le rendement le rapport entre la puissance absorbée et la puissance utile :

La puissance absorbée : C'est la puissance électrique absorbée par le moteur.

$$P_a = U.I$$

La puissance utile : C'est la puissance mécanique disponible sur l'arbre du moteur.

$$P_u = P_a - \text{Somme(pertes).}$$
$$P_u = P_a - (P_c + P_j).$$

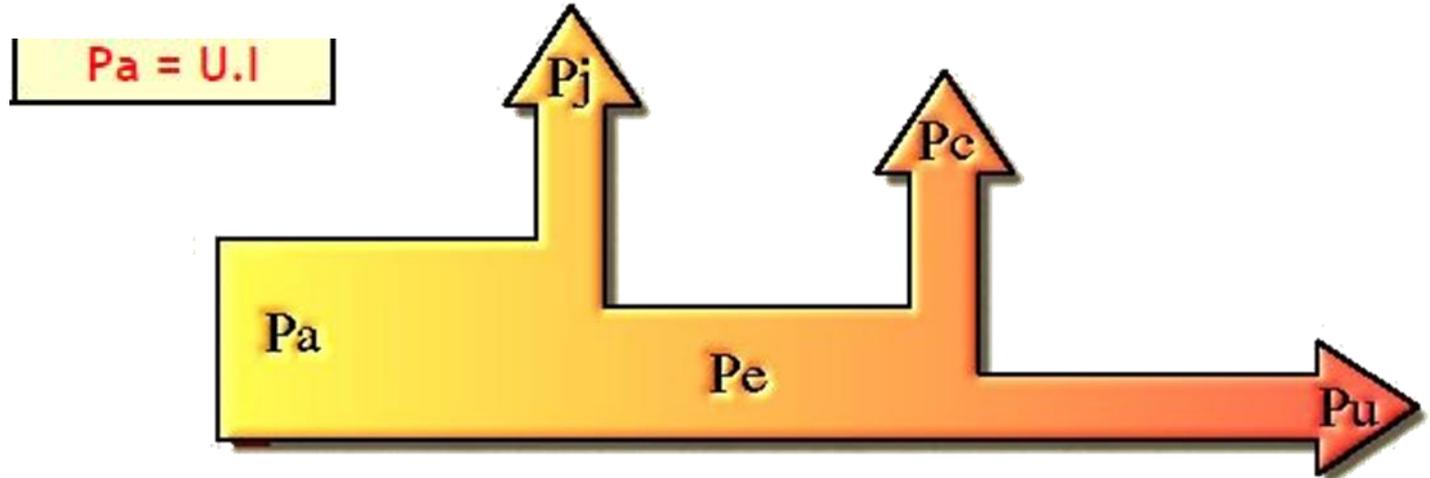
Le rendement s'écrit :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Le rendement :

On appelle le rendement le rapport entre la puissance absorbée et la puissance utile :

La puissance absorbée : C'est la puissance électrique absorbée par le moteur.



La puissance utile : C'est la puissance mécanique disponible sur l'arbre du moteur.

$$P_u = P_a - \text{Somme}(\text{pertes}).$$
$$P_u = P_a - (P_c + P_j).$$

Le rendement s'écrit :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

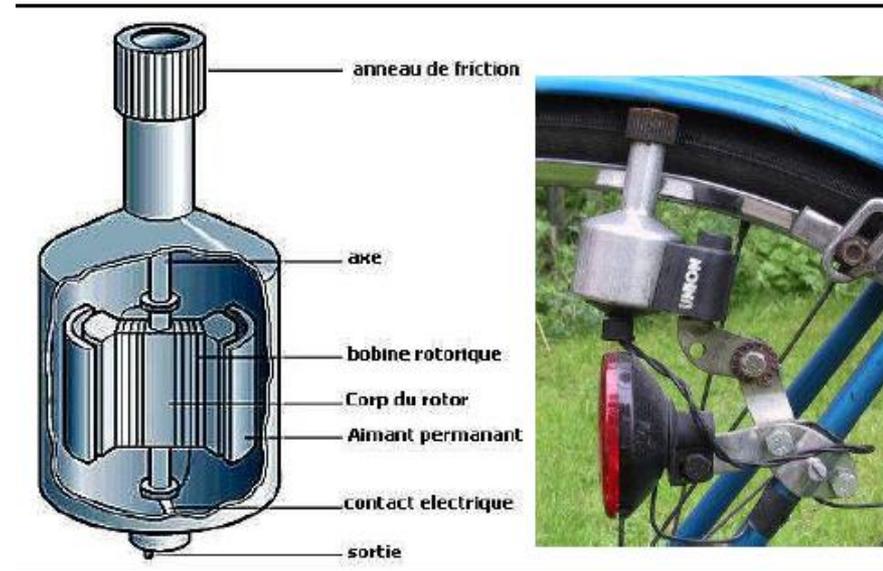
REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :

La loi de Faraday énonce que si un conducteur se déplace dans un champ magnétique il est le siège d'une fem (force électromotrice) induite qui représente la variation du flux dans le temps à travers cette spire.

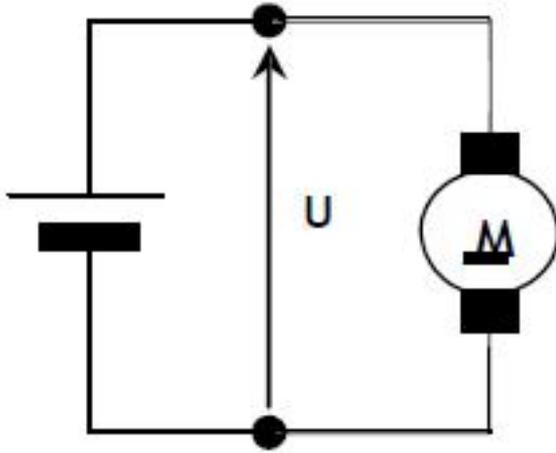
De ce principe découle le fonctionnement en génératrice de la machine à courant continu.

Si l'arbre de la génératrice est entraînée en rotation, entre les bornes de l'induit on peut mesurer une tension U proportionnelle à la vitesse de rotation.

Une application très connue de ce fonctionnement est la dynamo de la bicyclette.

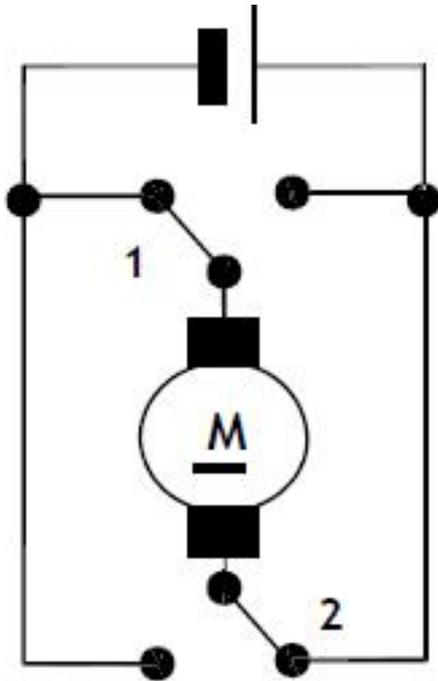


ALIMENTATION DU MOTEUR :



Montage avec un seul sens de marche

ALIMENTATION DU MOTEUR :

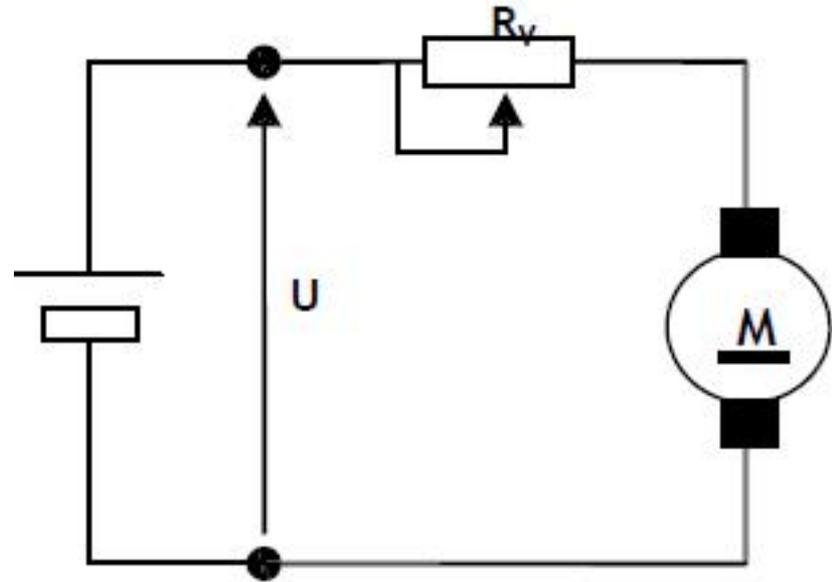


Pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser la tension d'alimentation du moteur : selon la position des commutateurs 1 et 2 le moteur tourne soit dans le sens 1 soit dans le sens 2.

Montage avec deux sens de marche

FUNCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE :

On peut envisager plusieurs cas dans lesquels on a besoin de faire R_v fonctionner le moteur à courant continu à vitesse variable. Pour arriver à ce résultat, une mauvaise solution (mais qui est quand même applicable dans certains application ou la notion de pertes n'est pas primordiale) consiste à mettre une résistance variable en série avec le u moteur. La vitesse maximale est atteinte en prenant $R_v = 0$.



FONCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE :

Une deuxième solution consiste à utiliser un hacheur. Dans ce cas l'action sur le rapport cyclique permet de varier la valeur moyenne de la tension de commande et par la suite la variation de la vitesse de rotation du moteur.

EXERCICE

Les caractéristiques d'une MCC à excitation séparée accouplée à une charge mécanique sont les suivantes :

Flux constant $k = 4.8$; résistance d'induit $R = 0.5 \Omega$; couple de pertes collectives $T_p = 1 \text{ Nm}$ (constant quelque soit la vitesse) ; la charge mécanique accouplée oppose un couple résistant T_r de 10 Nm à 157.08 rad/s .

1. Calculer le courant de démarrage (sans circuit de démarrage) de la machine si la tension

$U=120\text{v}$.

2. Calculer la FCEM « E » pour la vitesse 157.08 rad/s .

3. Calculer les pertes joules de la machine. En déduire le rendement.