

## Chapitre III-2

### Machines à Courant continu

#### Moteur à courant continu

#### III.9. Fonctionnement en mode Moteur à courant continu d'une machine à CC.

Dans le cas de fonctionnement moteur l'enroulement d'induit est alimenté par une seconde source de tension continue indépendante de celle de l'inducteur, il entraîne une charge mécanique à une vitesse de rotation  $n$ .

Ainsi le schéma équivalent fonctionnement moteur est le même que celui d'une génératrice seulement le sens du courant d'induit est entrant comme il est illustré dans la figure 3.8

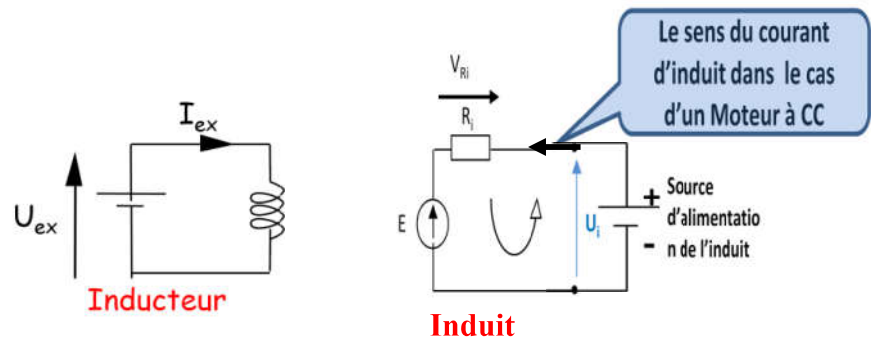


Fig. 3.8 le schéma équivalent fonctionnement moteur

Le moteur absorbe une puissance électrique et restitue une puissance mécanique, sous forme d'un moment du couple utile à une vitesse de rotation  $n$ .

**La Loi des mailles dans le** modèle équivalent de l'induit du moteur à CC de la fig.3.8 :

$$\sum U_i = 0$$

$$U_i - V_{Ri} - E = 0$$

$$U_i = E + V_{Ri}$$

$$U_i = E + R_i I_i$$

Ou bien

$$E = U_i - R_i I_i \quad (*)$$

Ainsi dans le cas de fonctionnement moteur on a :

$$E < U_i$$

#### 3.10. La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu

L'expression de la vitesse d'un moteur à courant continu peut être déterminée à partir de l'équation (\*) :

$$E = U_i - R_i I_i$$

Avec  $E = k \varphi \Omega$

On obtient :

$$\Omega = \frac{U_i - R_i I_i}{k\varphi}$$

D'après cette expression la vitesse dépend :

- La tension d'alimentation de l'induit
- Du courant de l'induit (c'est-à-dire de la charge qu'il entraîne)
- Du flux  $\varphi$

Il reste à signaler que le sens de rotation dépend :

- du sens du flux, donc du sens du courant d'excitation  $I_e$  ;
- du sens du courant d'induit  $I$ .

### 3.11. Fonctionnement à vide d'un moteur à CC

On dit que le moteur fonctionne à vide s'il n'entraîne aucune charge sur son arbre.

La puissance utile est donc nulle.  $P_u=0$

Sa vitesse de rotation est légèrement supérieure à sa vitesse de rotation nominale, l'intensité du courant dans l'induit  $I_0$  est très faible devant sa valeur nominale ( $I_0 \ll I_{in}$ ) et la tension d'alimentation  $U_{i0}$  de l'induit est réglée à sa valeur nominale ( $R I_0 \ll U_{i0}$ ).

L'expression de la vitesse à vide  $\Omega_0$  s'écrit :

$$\Omega_0 = \frac{U_{i0} - R_i I_0}{k\varphi} \approx \frac{U_{i0}}{k\varphi} \quad (**)$$

La vitesse à vide  $\Omega_0$  se règle en fonction de la tension d'alimentation ou du flux inducteur  $\varphi$ .

#### 3.11.1. Emballement du moteur à CC

Lorsque l'induit est sous tension ; le moteur tourne à vide, si on élimine le courant inducteur :  $\Phi$  tend vers zéro alors d'après l'expression (\*\*) la vitesse tend vers l'infini.

$I_{ex} \longrightarrow 0$  alors  $\Omega \longrightarrow \infty$  on dit que le moteur s'emballé. La machine s'arrêtera

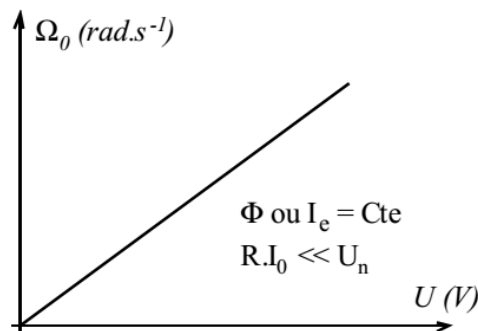
Ainsi à vide, il ne faut jamais supprimer le courant d'excitation  $I_{ex}$  lorsque l'induit est sous tension.

### 3.11.2. Fonctionnement à flux constant

A vide pour un fonctionnement à flux constant (on fixe la valeur du courant inducteur à une valeur constante) on a donc  $k' = \frac{1}{k\varphi}$  est constant ainsi l'expression de la vitesse (\*\*\*) devient :

$$\Omega_0 \approx \frac{U_{i0}}{k\varphi} = k' \cdot U_{i0}$$

Si on trace la caractéristique  $\Omega_0=f(U_i)$  on obtient une droite qui passe par l'origine



### 3.12. Démarrage du moteur à CC

A l'instant de démarrage du moteur à cc sous tension nominale ; il fait appel à un courant de démarrage très important :

$$I_{id} \gg I_{in}$$

Le problème qui apparait est la surintensité du courant de démarrage lors l'alimentation de l'induit directement par la tension nominale.

Ainsi l'instant de démarrage le moteur étant immobile  $\Omega = 0 \Leftrightarrow E = 0$

L'équation (\*) devient :

$$U_{id} = R_i I_{id}$$

Dès que le moteur commence à tourner,  $E$  augmente et  $I_d$  diminue jusqu'à  $I_n$ .

Pour limiter le courant de démarrage on a deux procédés :

**On utilise des rhéostats de démarrage  $R_h$ .** qui va être inséré en série avec l'enroulement d'induit. A l'instant de démarrage  $R_h$  est à sa valeur maximale. Une fois le moteur commence à tourner la résistance  $R_h$  va être diminué et éliminé après que le moteur atteint sa vitesse nominale.

**On démarre sous une tension d'alimentation réduite :** l'induit est alimenté avec une tension réduite  $U_{id} \ll U_{in}$  dès que le moteur commence à tourner on augmente la tension d'induit progressivement jusqu'à atteindre la tension nominale.

### 3.13. Fonctionnement en charge d'un moteur à CC

A flux constant l'expression de la vitesse s'écrit :

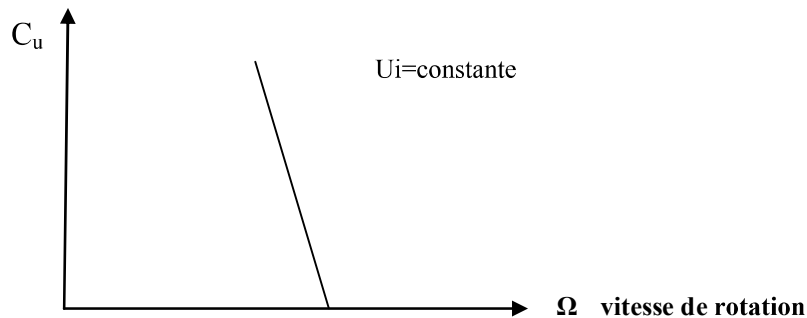
$$\Omega = k' (U_i - R_i I_i)$$

La vitesse d'un moteur à courant continu dépend :

- La tension d'alimentation de l'induit.
- L'intensité du courant d'induit imposée par la charge que le moteur à cc entraîne.

La caractéristique mécanique d'un moteur à cc le couple utile en fonction de la vitesse

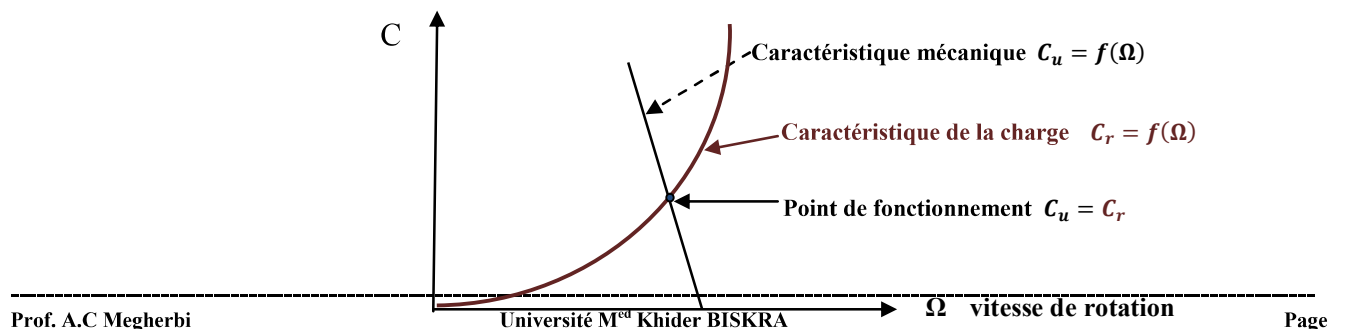
$C_u = f(n)$  est représentée dans la figure 3.9



**Fig. 3.9. Caractéristique mécanique  $C_u = f(\Omega)$  d'un moteur à courant continu**

#### 3.13.1. Point de fonctionnement

En régime établi, le moment du couple utile délivré par le moteur est égal au moment du couple résistant  $C_r$  que lui oppose la charge mécanique.



### Fig. 3.10. Point de fonctionnement mécanique d'un moteur à courant continu

Le point d'intersection de la caractéristique mécanique et la caractéristique de la charge ( le couple résistant ) constitue le point de fonctionnement du moteur :

$$C_u = C_r$$

Cette équation détermine le point de fonctionnement du moteur.

### 3.14. Bilan de puissance d'un moteur à cc

Le bilan de puissance d'un moteur à cc peut être schématisé dans la figure 3.10

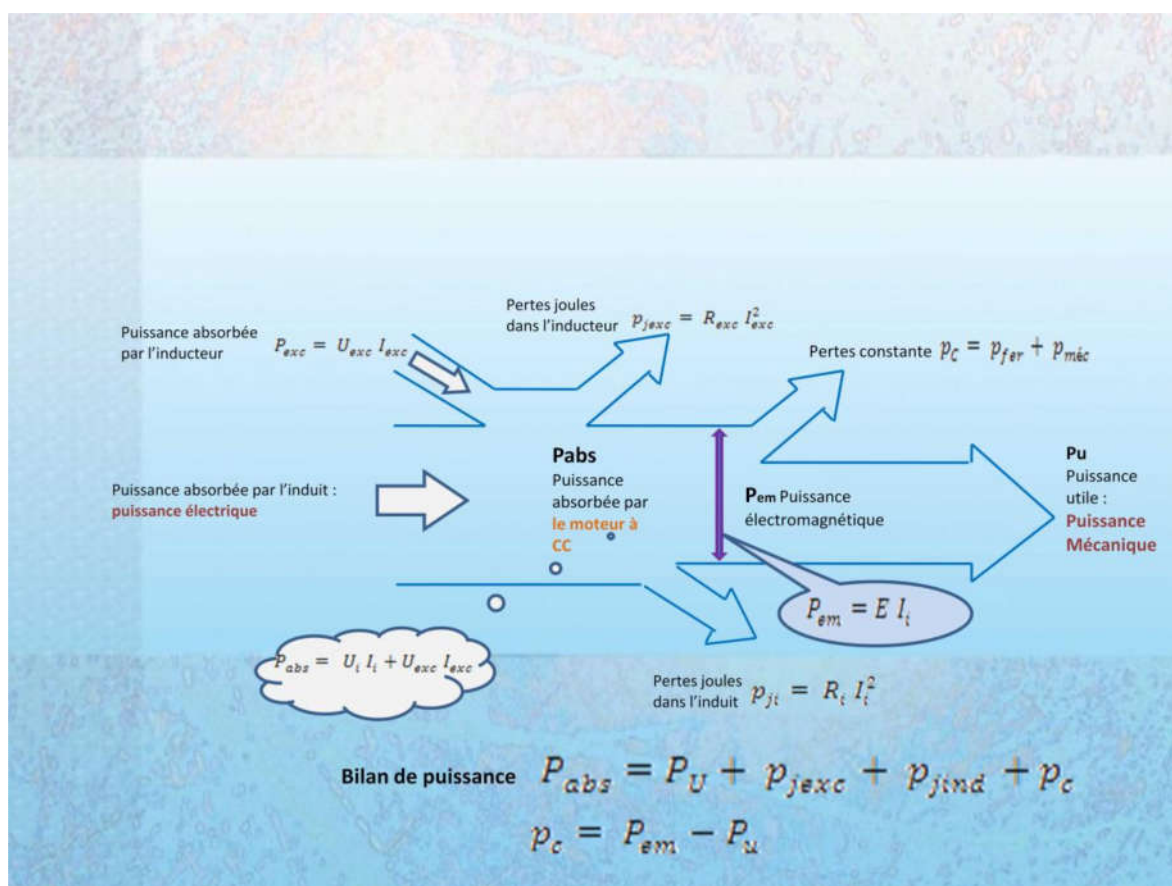


Fig. 3.11. Le bilan de puissance du moteur à courant continu

Dans le mode de fonctionnement moteur d'une machine à courant continu

La puissance absorbée par le moteur :  $P_{abs} = \text{puissance électrique}$

$$P_{abs} = U_i I_i + U_{exc} I_{exc}$$

La puissance utile est une puissance mécanique :

$$P_u = C_u \cdot \Omega$$

D'après ce bilan les pertes constantes  $p_c = P_{em} - P_u$

$$P_{em} = P_{abs} - p_{jexc} - p_{ji}$$

$$P_{em} = E \cdot I_i$$

### 3.15. Les couples

La relation entre le couple et la puissance est définie par :

$$C = \frac{P}{\Omega}$$

$\Omega$  c'est la vitesse de rotation exprimée en rad/s.

A partir du bilan de puissance; on peut définir les couples :

#### Couple électromagnétique

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega}$$

$$P_{em} = E \cdot I_i$$

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E \cdot I_i}{\Omega} = \frac{k \cdot \varphi \cdot \Omega \cdot C_{em}}{\Omega} = \frac{P_{em}}{\Omega}$$

$$C_{em} = k \cdot \varphi \cdot I_i$$

#### Couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega}$$

#### Couple de pertes $C_p$

$p_c$  représente la somme des pertes mécaniques et des pertes magnétiques dans le moteur.

$$p_c = P_{em} - P_u$$

$C_p$  est le moment du couple de pertes correspondant à cette puissance perdue

$$C_p = \frac{p_c}{\Omega}$$

Ainsi l'équation du couple peut s'écrire aussi :

$$C_p = C_{em} - C_u$$

### 3.16. Le rendement d'un moteur à cc

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{C_u \cdot \Omega}{U_i I_i + U_{exc} I_{exc}}$$

### 3.17. Les différents types de machines à courant continu [(détails) voir séance de cours]

Selon le type de raccordement possibles entre les enroulements rotoriques et statoriques on obtient les différents types existants, on peut distinguer cinq modes d'excitation des moteurs à courant continu :

- excitation indépendante ;
- excitation en dérivation ;
- excitation en série ;
- excitation composée ;
- excitation par aimants permanents.