

MACHINE A COURANT CONTINU

Sources : 1. Sciences physiques en BTS, <http://nicole.cortial.net>
 2. Moteur à courant continu, terminale STI, Claude Divoux, 1/12/1999
 Synthèse, mise en forme et commentaires : Hamdi Hocine

GENERALITES

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. Il trouve son utilisation, entre autres dans :

- L'électronique de faible signaux (radio, vidéo, entraînement en rotation de la parabole, etc.);
- La traction électrique;
- L'automobile (démarreur, rétroviseur électrique, lave-glace, etc.).



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Force contre électromotrice induite

Si le flux est constant cette f_{cem} peut s'écrire : $E_{(V)} = k \cdot n$ (tr/s)

n : vitesse de rotation du rotor en tr/s.

k : coefficient qui dépend de la structure de la machine

Couple électromagnétique

La puissance électromagnétique reçue par l'induit est le produit de la f_{cem} par le courant induit I

$$P_{em(W)} = E_{(V)} \cdot I_{(A)}$$

Or on sait que la relation qui lit le couple à la puissance est : $C = P / \Omega$, par conséquent

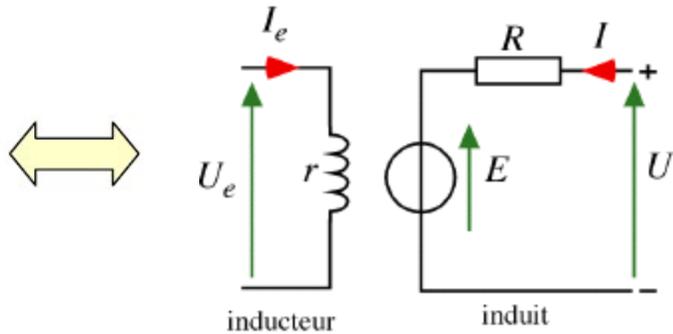
$$C_{em(N.m)} \equiv C_e = P_{e(W)} / \Omega \text{ (rd/s)}$$

(avec Ω la vitesse angulaire du rotor en rd/s, et P_e la puissance électrique ou électromagnétique).

Et puisque $\Omega = 2\pi \cdot n$ (où n est la fréquence ou vitesse de rotation en tr/s).

Donc : $C_e = E_{(V)} \cdot I_{(A)} / \Omega = E_{(V)} \cdot I_{(A)} / (2\pi \cdot n) = k \cdot n \cdot I_{(A)} / (2\pi \cdot n) \rightarrow C_{e(N.m)} = (k/2\pi) \cdot I_{(A)}$ (pour un flux constant)

MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU



Nous nous limiterons dans ce chapitre aux machines à excitation indépendante (aimant permanent ou stator bobiné parcouru par une intensité constante donc *alimenté par une tension continue constante*, ce qui revient à supposer que le flux est constant)

On peut écrire la loi d'ohm électrique :

$$U = E + R \cdot I + e_B \qquad E = k \cdot n$$

$$C = (k/2\pi) \cdot I = k' \cdot I$$

e_B : chute de tension due aux contacts balais-collecteur (elle est en général négligée)

Si on suppose que le moteur est alimenté avec une tension constante U , on peut tracer la caractéristique mécanique $C=f(n)$ du moteur :

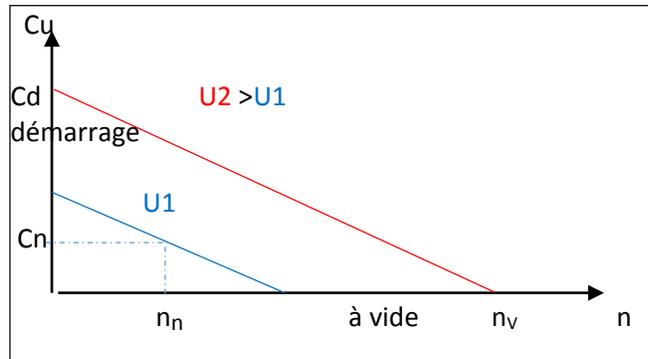
$$C = k' \cdot I = k' \cdot (U - E) / R$$

$$C = k' \cdot (U / R - k \cdot n / R)$$

Cette caractéristique est représentée par la courbe ci-contre.

A vide :

le couple utile est nul : $C_{uv} = 0$,
 La vitesse à vide est : $\Omega_v = U / k$
 $P_c = U_v I_v$



FONCTIONNEMENT A VIDE

A vide la seule puissance absorbée sert à compenser les pertes. La puissance utile est nulle.

$$I_0 \ll I_n \quad R I_0 \ll U \text{ et finalement } \Omega_0 = (U - R I_0) / K \Phi \approx U / K \Phi$$

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

Attention : à vide, il ne faut jamais supprimer le courant d'excitation le lorsque l'induit est sous tension, car le moteur peut s'emballer. En effet si $I_e \rightarrow 0$ alors $\Phi \rightarrow 0$ et $\Omega_0 \rightarrow \infty$ d'où emballement.

Si Φ tend vers 0, le couple électromagnétique aussi, il arrivera un moment où le couple sera inférieur au couple résistant et la machine s'arrêtera.

DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU

Courant de démarrage

Au démarrage la vitesse est nulle $\leftrightarrow n = 0 \rightarrow E = 0$. On peut alors écrire :

$$U = R \cdot I_d \text{ (} I_d \text{ : courant au démarrage, } R \text{ : résistance du rotor ou induit).}$$

R est faible pour les grosses machines (de l'ordre de quelques dixièmes d'Ohms) et relativement grande pour les petits moteurs. Ce qui impose de prévoir un circuit permettant de minimiser ce courant de démarrage (qui peut atteindre 20 fois I_n). On utilise soit un rhéostat de démarrage soit un démarrage à tension réduite (1/4 à 1/8 de U_n). En général on accepte $I_d = 1,5 I_n$.

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 courants de Foucault).
- **Pertes Joules** : pertes par effet Joule dans les résistances de l'induit et de l'inducteur

$$P_j = R_{ind} \cdot I_{ind}^2 + R_{induc} \cdot I_{induc}^2 = R \cdot I^2 + R_e \cdot I_e^2 \cong R \cdot I^2$$

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

Le rendement

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

- **La puissance absorbée** : C'est la puissance électrique absorbée du réseau par le moteur.

$$P_a = U \cdot I \text{ (} U I \text{ en monophasé et } U I \sqrt{3} \text{ en triphasé)}$$

Remarque : Sur la machine asynchrone (donc en triphasé) cela correspond à la puissance apparente (somme des puissance active et réactive) et qui va servir au calibrage. Si on veut la puissance mécanique ou active fournie par le réseau on multiplie par $\cos\phi$ (qui vaut 1 en continu : pas de déphasage entre courant et tension, donc $\sin\phi = 0$ donc pas de puissance réactive).

- **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 : $\eta = P_u / P_a$

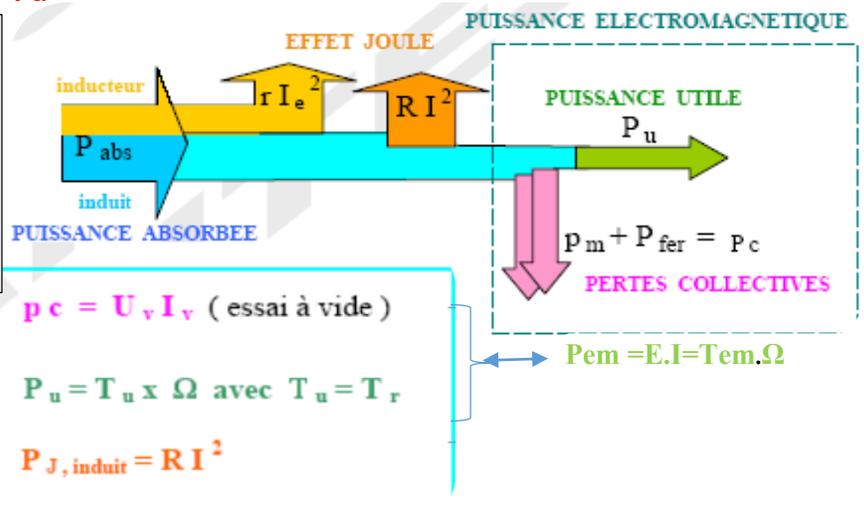
Remarques

- Toute l'énergie absorbée à l'inducteur et dissipée par effet joule. On peut omettre l'inducteur dans le bilan des puissances, alors P_{je} n'apparaît pas et $P_a = U \cdot I$.
- Si le moteur est à aimants permanents, U_e , I_e et P_{je} n'existent pas.

$$P_{abs} = U_e I_e + U I$$

$$= r I_e^2$$

absorbée par l'induit



REVERSIBILITE

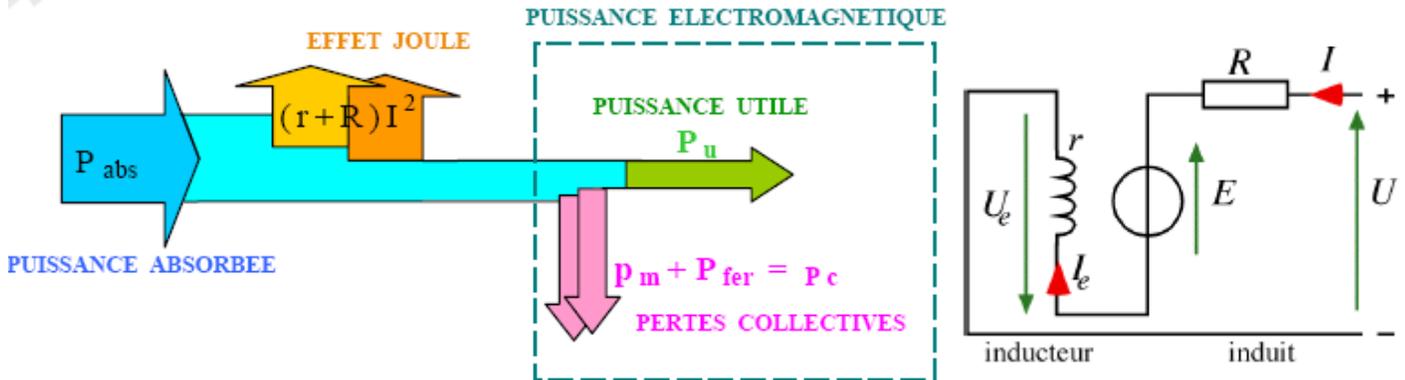
A flux Φ constant, E ne dépend que de Ω et I ne dépend que de T_{em} .

La f.é.m. de la machine et l'intensité du courant dans l'induit sont deux grandeurs indépendantes. On peut donc donner le signe souhaité au produit $E.I$.

La machine peut donc indifféremment fonctionner en moteur ($P_{em} > 0$) ou en génératrice ($P_{em} < 0$).

MOTEUR A EXCITATION SERIE

Il n'y a que deux relations qui changent suite à la mise en série de r et R : $U = E + (R+r) I$, et $P_a = UI$. Le bilan des puissances reste inchangé.



CONCLUSIONS

- Si l'inducteur n'est pas à aimants permanents, son alimentation aura un impact sur le champ magnétique donc sur le flux Φ .
- A flux Φ constant, E ne dépend que de Ω et I ne dépend que de T_{em} . Donc la f.é.m. de la machine et l'intensité du courant dans l'induit sont deux grandeurs indépendantes.
- C'est la charge couplée au moteur qui impose le courant d'induit I .
- La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation de l'induit et inversement proportionnelle au flux. Le réglage de la vitesse est indépendant de la charge.

EMPLOI ET IDENTIFICATION

Moteur à excitation indépendante

Ce moteur est caractérisé par une vitesse réglable par tension et indépendante de la charge.

En association avec un convertisseur statique (hacheur) fournissant une tension réglable, la vitesse peut varier sur un large domaine. Il fournit un couple important à faible vitesse (machines-outils, levage). En petite puissance, il est souvent utilisé en asservissement avec une régulation de vitesse.

Moteur à excitation en série

Ce moteur possède un fort couple de démarrage. Il convient très bien dans le domaine des fortes puissances (1 à 10 MW) pour obtenir un fonctionnement satisfaisant en faible vitesse (traction, laminoirs). En petite puissance il est employé comme démarreur des moteurs à explosion.

Remarque

De par ses difficultés de réalisation et son coût d'entretien le moteur à courant continu tend à disparaître dans le domaine des fortes puissances pour être remplacé par le moteur synchrone autopiloté (ou moteur auto-synchrone).

Identification

Exemple :

LSK 1604 indique la série LSK ;
160 de hauteur d'axe ; 4 pôles.

Observer les paramètres de puissance, vitesse, courant, pour les tensions de 440V et 44V. Tout est dans un rapport de 10.

IEC 34.1.1990				MADE IN FRANCE	
MOTEUR A COURANT CONTINU		DIRECT CURRENT MOTOR			
TYPE: LSK 1604 S 02		N° 700000/10		9/1992 M 249 kg	
Classe / Ins class H		IM 1001		IP 23 IC 06	
M _{nom} / Rated torque		301 N.m		Altit. 1000 m Temp. 40 °C	
	kW	min⁻¹	V	A	V A
Nom./Rat.	36,3	1150	440	95,5	360 3
	3,63	115	44	9,55	360 3
	36,3	1720	440	95,5	240
T système peinture: I		Induit / Arm.		Excit. / Field	
○ Service / Duty S1		DE 6312 2RS C3		NDE 6312 2RS C3 ○	

EXERCICE

Énoncé

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

Flux constant $k = 4.8$; résistance d'induit $R = 0.5$; couple de pertes collectives $T_p = 1$ mN (constant quelle que soit la vitesse) ; la charge mécanique accouplée oppose un couple résistant T_r de 10 mN à 157.08 rad/s.

1. Calculer le courant de démarrage (sans circuit de démarrage) de la machine si la tension $U=120$ 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.

Corrigé succinct

1. $I_D = U/R = 120 / 0.5 = 240$ A.

2. $E = (k/2\pi) \cdot \Omega = (4.8 / 2\pi) \cdot 157.08 = 0.764 \times 157.08 = 120$ V.

3. Il faut tout d'abord calculer le courant d'induit :

- $P_{em} = \Omega \cdot C_{em} = E \cdot I \rightarrow I = \Omega \cdot C_{em} / E = \Omega \cdot C_{em} / k \cdot n = \Omega \cdot C_{em} / k \cdot \Omega / 2\pi = 2\pi \cdot C / k = (2\pi / 4.8) \cdot C = 1,3 C$

En régime permanent (à vitesse nominale constante) le couple moteur C_m est égal au couple résistant C_r (et la puissance mécanique utile : $P_u = C_m \cdot \Omega$ est égale à la puissance requise par la charge : $P_r = C_r \cdot \Omega$).

Par conséquent $C_m (\equiv C) = C_r = 10$ N.m $\rightarrow I = 1.3 \cdot 10 = 13$ A.

- Donc $P_j = R \cdot I^2 = 84.5$ W.

- Pour calculer le rendement on doit d'abord calculer la puissance apparente absorbée :

$P_a = U \cdot I = 1560$ W (en triphasé la puissance apparente s'exprime en VA et l'active en watt).

- Calcul des pertes constantes :

$P_c = T_p \cdot \Omega = 1 \text{ Nm} \times 157.08 \text{ rad/s} = 157.08$ W.

- Donc le rendement vaut $\eta = P_u / P_a = (P_a - P_c - P_j) / P_a = 0.845 = 84,5 \%$