

FICHE 47 : *Choix d'une machine électrique*

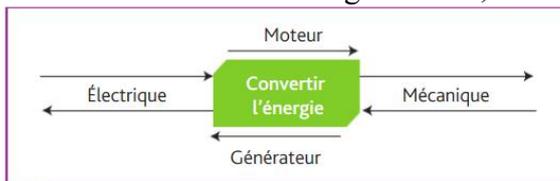
I. Définitions

Les machines synchrones brushless (ou moteur sans balais) n'utilisent pas de collecteurs mais un modulateur qui crée, en fonction de la position du rotor, des courants triphasés produisant le couple entraînant le moteur en rotation. Le couple produit est proportionnel au courant de phase, au champ magnétique dans l'entrefer entre le rotor et le stator et au rayon du rotor. **La commande en courant** permet d'imposer le couple à vitesse de rotation quelconque imposée par la charge dans la limite de la puissance nominale, **la commande en tension** permet d'imposer la vitesse de rotation à couple quelconque dans la limite de la puissance nominale. L'absence des frottements des balais permet d'atteindre des rendements plus élevés, proches des 80 %. Cependant, ces machines nécessitent un modulateur électronique pour convertir la tension continue provenant de la batterie en tension triphasée, ce qui augmente leur coût.

a. Convertisseur électromécanique ou machine électrique

On définit une machine électrique comme étant un dispositif de conversion « électrique → mécanique » ou « mécanique → électrique » [documents 4 et 5] :

- En fonctionnement moteur, la conversion est électrique → mécanique ;
- En fonctionnement générateur, la conversion est mécanique → électrique



4 Principe d'un convertisseur électromécanique.



5 Machine à courant continu 8,9 W.

b. Choisir une machine électrique

Pour choisir une machine électrique, il faut connaître les caractéristiques des énergies entrantes et sortantes.

Pour l'énergie électrique :

- La nature de l'alimentation (continue, alternative monophasée, alternative triphasée...)
- Les caractéristiques des grandeurs tension et courant
- La puissance

Pour l'énergie mécanique :

- Le couple
- La fréquence de rotation ou de vitesse de déplacement
- La puissance

D'autres critères doivent néanmoins être pris en compte :

- L'environnement (définition de l'ip : indice qui détermine le degré de protection du matériel contre la pénétration des corps solides ; de l'ik : indice de protection qui détermine le degré de protection du matériel contre les chocs d'origine mécanique, de la classe de température, de l'altitude de fonctionnement, de la nature de l'atmosphère...)

- Le service de fonctionnement
- Les dimensions de la machine (hauteur d'axe...)
- La position de fonctionnement (verticale, horizontale)

Voici quelques exemples de convertisseurs électromécaniques :

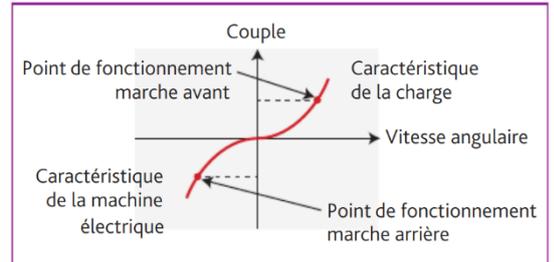
- Machine à courant continu (moteur ou dynamo)
- Machine asynchrone triphasée (moteur ou générateur)
- Machine synchrone triphasée (moteur ou alternateur)
- Machine spéciale (moteur asynchrone à deux vitesses, moteur pas à pas, moteur linéaire...).



c. Point de fonctionnement

Dans un plan mécanique, le point de fonctionnement fixe la valeur du couple T pour une vitesse angulaire donnée Ω [document 6].

Dans tous les cas, c'est la charge qui impose le point de fonctionnement d'une machine électrique.



6 Point de fonctionnement de l'association machine électrique-charge mécanique.

d. Point nominal de fonctionnement

C'est le point de fonctionnement en régime permanent prévu par le constructeur du moteur.

e. Notion de charge

Pour une **machine électrique**, on appelle charge le dispositif mécanique qui impose le point de fonctionnement. Par exemple, pour une grue de levage, c'est la vitesse de déplacement qui impose la fréquence de rotation à la montée et la masse à déplacer qui impose le couple.

Pour un **générateur**, on appelle charge le dispositif électrique qui impose la caractéristique « tension-courant ».

Par exemple, pour une grue de levage, c'est la vitesse de déplacement qui impose la fréquence de rotation à la descente et la masse à déplacer qui impose le couple.

Lorsqu'il est nécessaire d'adapter les caractéristiques de la machine électrique à celles de la charge, on utilise un réducteur de vitesse-multiplicateur de couple (ou multiplicateur de vitesse-réducteur de couple).

II. Critères de choix électriques

a. La nature du réseau

- Alternatif monophasé, triphasé avec ou sans neutre, polyphasé.
- Continu.
- ...

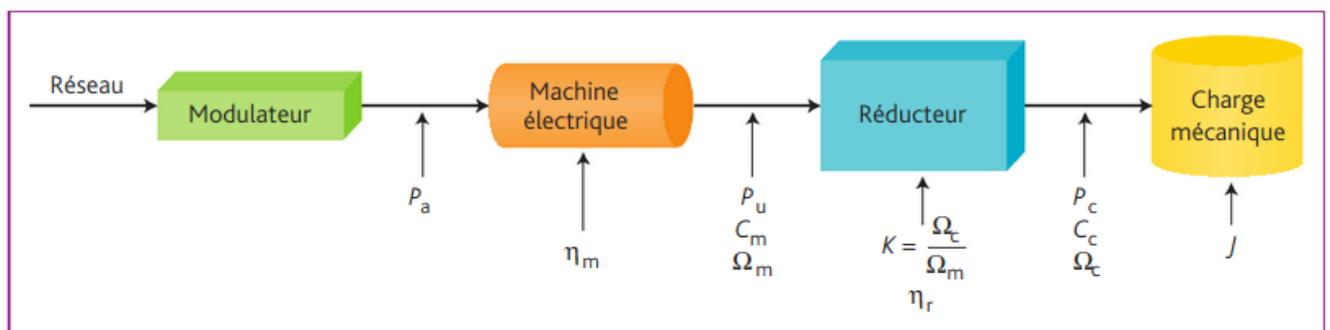
b. Les caractéristiques

- Tension.
- Fréquence.
- Puissance.
- ...

III. Critères de choix mécaniques

Le choix d'un convertisseur électromécanique dépend essentiellement du type de charge (couple, vitesse, accélération, cycle de fonctionnement).

a. Chaîne d'énergie de transmission



7 Chaîne d'énergie de transmission.

On doit, à l'aide des lois de la mécanique, déterminer les paramètres P_U , Ω_m et T_m .

Sur le document 7 :

P_a : puissance absorbée par la machine électrique (W ou kW).

η_m : rendement de la machine électrique ($\eta_m = P_u/P_a$).

P_u : puissance utile fournie par la machine électrique sur l'arbre (W ou kW) ($P_u = C_m \times \Omega_m$).

C_m : couple utile sur l'arbre de la machine électrique ou couple résistant opposé par la charge (N·m).

Ω_m : vitesse angulaire de rotation de la machine électrique ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$).

K : rapport de réduction du réducteur ($K = \Omega_c/\Omega_m$).

η_r : rendement du réducteur ($\eta_r = P_c/P_u$).

P_c : puissance demandée par la charge (W ou kW).

Ω_c : vitesse angulaire de rotation de la charge ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$).

C_c : couple résistant de la charge (N·m).

J : moment d'inertie de la charge ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

b. Le moment d'inertie

L'inertie caractérise les masses en mouvement (paramètre dynamique). C'est par son inertie qu'un système s'oppose aux changements de vitesse que l'on veut lui imposer. La grandeur physique associée à l'inertie pour un mouvement de rotation est le moment d'inertie J en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

c. Étude de la dynamique

L'étude dynamique est hors programme. Cependant, ce complément d'information permet de comprendre l'aspect des effets de la dynamique lors du choix d'une machine électrique.

Équation fondamentale :

$$C_m = C_a + C_r \text{ et } C_a = J \times \frac{d\Omega}{dt}$$

C_m : couple fourni par la machine électrique (N·m)

C_a : couple accélérateur (N·m)

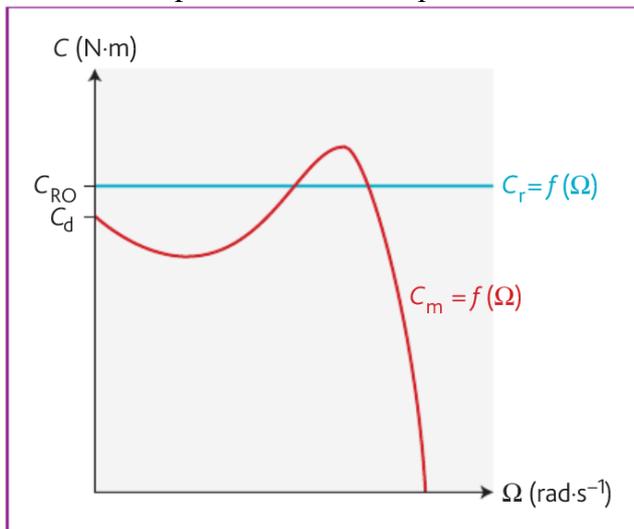
C_r : couple résistant opposé par la charge (N·m)

J : moment d'inertie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)

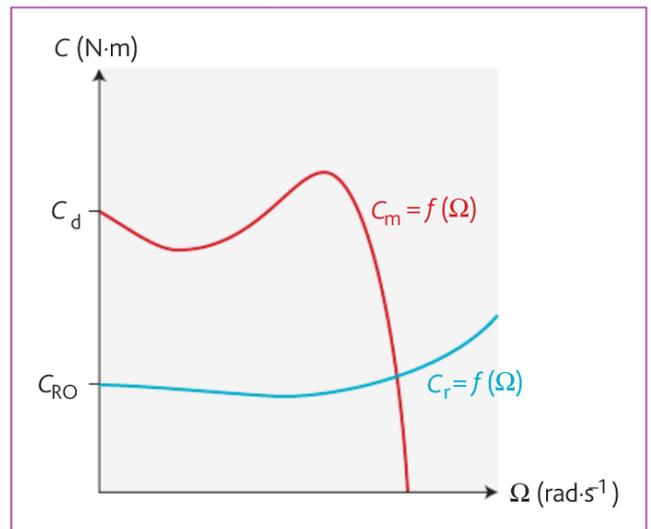
Conditions de démarrage : la machine ne peut démarrer que si le couple de démarrage de la machine est supérieur au couple résistant de la charge.

$$C_d > C_m \Rightarrow C_a = J \frac{d\Omega}{dt} \Leftrightarrow C_m - C_r = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Exemples : l'accélération est d'autant plus importante lorsque le couple moteur C_m est grand devant le couple résistant C_r et que l'inertie J est faible [documents 8 et 9].



8 Le moteur ne démarre pas : $C_d < C_{RO}$.



9 Le moteur démarre : $C_d > C_{RO}$.



d. Régime établi (point de fonctionnement)

En régime établi, la vitesse est constante. Donc le couple d'accélération est nul.

$$\text{Si } \Omega = \text{cte} \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0 \Rightarrow C_m = C_r$$

Fonctionnement stable de la machine

Le point de fonctionnement stable de la machine est le point où les couples moteur et résistant sont égaux [document 10].

Remarque : la machine est généralement choisie afin que le point de fonctionnement A soit le plus proche possible du fonctionnement en régime nominal.

Ralentissement de la machine électrique et de sa charge

Le ralentissement de l'ensemble machine électrique + charge est obtenu lorsque la valeur du couple fournie par la machine électrique devient inférieure à celle qu'impose la charge à une vitesse donnée. La charge devient alors « entraînée ». L'accélération angulaire est négative.

Le ralentissement du système est d'autant plus fort que le moment d'inertie J est faible et que la récupération d'énergie (ou sa dissipation par frottement) est grande. L'accélération angulaire est négative, donc il y a ralentissement de la machine [document 11].

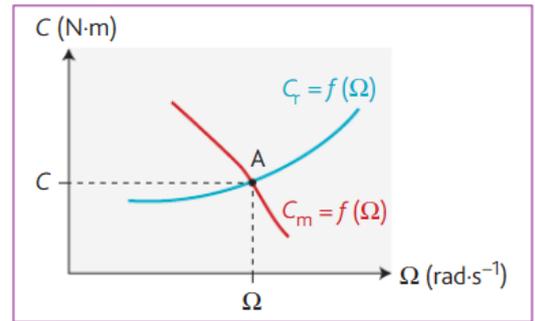
Freinage

Pour réaliser un freinage, on ajoute à l'instant t_0 un couple de freinage C_f .

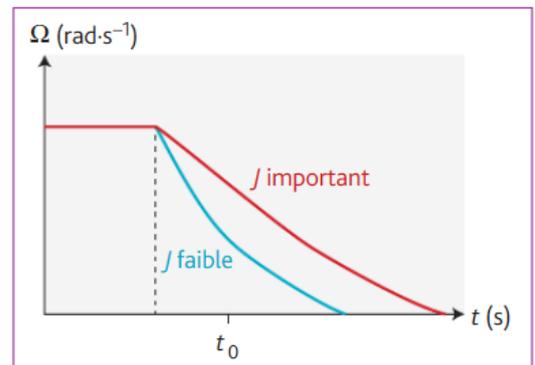
Le couple de freinage peut être produit par :

- un élément mécanique ;
- un système électrique extérieur (frein à poudre, frein à courant de Foucault) ;
- la machine électrique elle-même ;
- une injection de courant continu ;
- un fonctionnement en génératrice.

En cas de coupure réseau, seul le frein mécanique assure l'immobilisation de la charge



10 Point de fonctionnement stable.



11 Temps d'arrêt en fonction de l'inertie du moteur et de sa charge.

IV. Quadrants de fonctionnement d'une machine électrique

Les divers fonctionnements sont caractérisés par :

- Une marche en moteur (quadrants 1 et 3), la machine électrique fournit une puissance mécanique ;
- Une marche en générateur (quadrants 2 et 4), la machine électrique absorbe une puissance mécanique.

L'analyse de fonctionnement peut se résumer par le tableau ci-dessous.

Sens de rotation	Vitesse	Couple	Puissance	Quadrant	Travail machine électrique	Charge
Sens 1	+	+	+	1	moteur	résistante
	+	-	-	2	générateur	entraînée
Sens 2	-	-	+	3	moteur	résistante
	-	+	-	4	générateur	entraînée