

Comparaison des moteurs

	Moteur à courant continu	Moteur synchrone	Moteur asynchrone
Constitution du stator	<ul style="list-style-type: none"> - Enroulements inducteurs (machine de forte puissance jusqu'à plusieurs MW) - Aimants (machines jusqu'à quelques kW) 	<ul style="list-style-type: none"> - Enroulements du stator pour la création d'un champ tournant - Conducteurs de forte section 	<ul style="list-style-type: none"> - Enroulements du stator pour la création d'un champ tournant - Conducteurs de forte section
Constitution du rotor	Enroulements rotoriques d'induit constitués de conducteurs de forte section car les courants d'induits sont importants	<ul style="list-style-type: none"> - Enroulements d'excitation (électroaimant) pour les machines de forte puissance (moteurs ou alternateurs) - Aimants (machines jusqu'à quelques kW) 	<ul style="list-style-type: none"> - Enroulements rotoriques (machines à bagues) : forte puissance, circuit électrique accessible pour modifier le comportement de la machine (pilotage par le rotor) - Rotor à cage pour des machines simples, robustes, pilotables par le stator
Vitesse du rotor	Variable suivant la tension d'induit, mais limitée en raison des commutations de courant au niveau du collecteur	Variable de l'arrêt jusqu'à une vitesse maximale réglée par la fréquence des grandeurs statoriques (directement proportionnelle)	Variable de l'arrêt jusqu'à une vitesse maximale réglée par la fréquence des grandeurs statoriques (au glissement près)
Conséquence d'une augmentation du couple de charge	<p><u>Moteur série:</u> Diminution de la vitesse rotorique Autorégulation de la puissance électrique consommée</p> <p><u>Moteur shunt:</u> Très faible diminution de la vitesse rotorique, augmentation du courant d'induit</p>	Pas de diminution de la vitesse rotorique (synchronisme) en contrôlant l'angle interne Perte de contrôle au-delà d'une limite	Faible diminution de la vitesse de rotation (augmentation du glissement)

CHAPITRE 5. LES CRITÈRES DE CHOIX D'UN MOTEUR

Le choix de la technologie utilisée dépend de l'utilisation :

- Utilisation sédentaire : Accès facile à une alimentation électrique : le moteur électrique sera choisi;
- Utilisation embarquée : Stockage de l'électricité difficile, recharge longue, autonomie recherchée : le moteur thermique sera choisi (transports);
- . Concernant le transport, il y a des exceptions : le ferroviaire : généralisation des moteurs électriques grâce à l'alimentation des caténaires et aux directions définies (ce qui n'est pas vrai pour l'automobile);
- . Émergence des véhicules automobiles hybrides : association d'un moteur thermique et d'un moteur électrique. Permet de concilier les avantages des deux moteurs. Apport du moteur électrique lors des démarrages et des reprises (demande de fort couple).

Ce chapitre représente **le minimum** de ce qui doit être compris pour être capable de mener un **projet de choix d'un moteur** ou **le maximum** de ce qui est **tolérable** pour comprendre ce qu'il y a dedans.

Comparaison Moteur électrique / Moteur thermique

	Moteur électrique	Moteur thermique
Rendement	Plus Les rendements des moteurs électriques dépassent les 80%	Moins Les rendements des moteurs thermiques atteignent au maximum 50%
La densité d'énergie	Moins Les meilleures batteries : 1 kWh/l Les plus utilisées : 0.1 kWh/l	Plus La densité d'énergie du gasoil 36000kJ/l soit 10 kWh/l
Le couple moteur	Plus Pour une puissance utile de 70kW Moteur électrique peut fournir 400 Nm, c.à.d. un couple max dès les vitesses faibles ou nulles	Moins Pour une puissance utile de 70kW Moteur thermique peut fournir un couple de 100 Nm, c.à.d. couple max à proximité de sa vitesse maximale
La réversibilité	Plus Fonctionnement en mode moteur ou génératrice	Moins Le moteur thermique en fonctionnement génératrice qui produirait du carburant n'existe pas
Le prix d'énergie	Egale Prix du kWh faible environ 0,11€/kWh, stable	Egale Prix du gasoil : 1 – 1,5 €/l (0,1-0,15 €/kWh), instable
Robustesse	Plus Mouvement de rotation créé directement dans la machine (couple constant) Peu de frottement-	Plus Mouvement de rotation créé à partir d'un mouvement de translation (couple non constant) Frottements importants

LES CRITERES DE CHOIX D'UN MOTEUR ASYNCHRONE

Le choix d'un moteur asynchrone et de son mode de démarrage dépendent de la puissance installée du réseau d'alimentation (qui définit l'appel du courant admissible).

La chute de tension au démarrage doit être \leq à $\pm 5\%$ de la tension réseau.

La tension d'alimentation du moteur doit être compatible avec celle du réseau.

Le moteur asynchrone doit être choisi pour fonctionner à puissance nominale, c'est à cette puissance que le rendement du moteur et le $\cos\phi$ sont les meilleurs

Le démarrage d'un moteur asynchrone ne peut avoir lieu que si le couple moteur est à chaque instant supérieur au couple résistant de la machine à entrainer. (Le couple résistant d'une machine définit l'effort que la charge mécanique oppose au maintien de sa mise en mouvement. Il s'exprime en Newton mètre (Nm)).

Couple résistant, puissance et réseau constituent les facteurs principaux pour le choix d'un moteur asynchrone triphasé et son mode de démarrage.

Remarque : En critère de choix on ajoute en plus l'inertie ?

L'inertie est une résistance des objets pesants au mouvement qui leur est imposé. Elle est d'autant plus importante que la masse de la charge est grande et s'oppose à la mise en mouvement.

Elle est caractérisée par le moment d'inertie J , qui s'exprime en kg/m^2 .

L'inertie définit donc le couple nécessaire pour mettre en mouvement d'une masse m .

I. CARACTERISTIQUES DE LA MACHINE ENTRAINEE

-Moment de giration MD^2 : il est équivalent au moment d'inertie et correspond à l'inertie du rotor. Il intervient dans les phases de démarrage et d'arrêt du moteur.

Exercice 1.5. On se propose d'étudier une pompe centrifuge à axe horizontale dont les caractéristiques sont les suivantes : Débit = 110 l/sec. Hauteur manométrique totale : 4 m. MD^2 sur l'arbre à 1500 tr/min : 4,31 kg.m² Fonctionnement prévisionnel : 4500 h/an. 40.000 cycles en service S4

Calculer le moment d'inertie de la pompe centrifuge J_{pompe} à 1500 tr/min

Moment d'inertie J_{pompe} à 1500 tr/min

$$J_{pompe} = \frac{MD^2}{4} = \frac{4,31}{4} = 1,0775 \text{ kg.m}^2 \text{ Pompe centrifuge}$$

-Courbe du couple résistant C_r : il est dû au frottement mécanique, par exemple les paliers, mais aussi lorsque le moteur est en charge et qu'il doit vaincre le couple résistant au démarrage.

Donner le type de couple résistant de la machine entraînée. Machine centrifuge,

$$C_r = k \times \Omega^2$$

-Puissance nominale d'entraînement P_e : elle est en rapport avec l'ensemble des composants du moteur en particulier l'axe (clavette, diamètre de l'axe).

Calculer la puissance d'entraînement P_e

$$P_e = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot h}{1000 \cdot \eta} = \frac{1000 \cdot 110 \cdot 9,8 \cdot 4}{1000 \cdot 0,6} = 7,2 \text{ kW} \text{ Appareils de pompage}$$

-Fréquence de rotation : elle est régie par le nombre de paires de pôles et la fréquence du réseau (50 Hz en France). $N_s = 1500 \text{ tr/min} \rightarrow 2p = 4$

-Position de l'axe B ou V : la mécanique intérieure est conçue soit pour un axe vertical ou un axe horizontal. « Par exemple, pour un moteur conçu pour être posé horizontalement, en cas de pose verticale les roulements cassent à cause du poids. »

Forme de fixation : B3 Axe horizontale

-Type de service S : il est en rapport avec l'échauffement des enroulements lors des périodes de marche et d'arrêt du moteur. . Service intermittent à démarrage.

-Facteur de marche k_m : Il est lié au type de service, et donc de l'échauffement des enroulements du moteur qui risquent de surchauffer. $k_m = \frac{t_s(h/j)}{24h/jour}$

$t_s(h/j)$: Nombre d'heures par jour. $t_s(h/j) = \frac{4500 \times h}{250 \times j} = 18h/j$. 250 jours de fonctionnement par an

$$\text{an } k_m = \frac{t_s(h/j)}{24h/jour} = \frac{18}{24} = 75\%$$

-Conditions d'utilisation : elles intègrent l'altitude, la température ambiante. « Par exemple, si la température ambiante est élevée, les enroulements moteur montent plus haut et plus vite en température pouvant causer la casse du moteur. Pour l'altitude, si l'on imagine une très forte altitude (montagne), la ventilation du moteur sera mauvaise car l'air se fait rare en hauteur, il s'en suit donc une surchauffe si l'on pousse le moteur au maximum »

Pour $t_a = 50^\circ C \rightarrow \frac{k_t}{k_a} = 0,9$ et pour une altitude < 1000 m ; $k_a = 1$

Correction de la puissance P_e en tenant compte de k_t , k_a et k_n

$$k_n = \frac{n_s}{n} \cong 1 \rightarrow P_m = P_e \times \frac{k_n}{k_t k_a} = 7,2 \times \frac{1}{0,9 \cdot 1} = 8kW, \text{ Après correction } P_m = 8kW : \text{ Puissance}$$

minimale. Durée de vie : $P_m = 8kW \rightarrow d = \frac{10^5 h}{4500h/an} = 22.ans$ Classe B. Sur catalogue on

trouve $P_m = 9kW$. Niveau sonore environ 70 dB (bruit d'une conversation courante)

II. Alimentation électrique :

-Tension disponible U_{nom} : elle correspond à la tension entre phase.

Elle est directement liée à la création du champ magnétique permettant la rotation du rotor.

$U = 400V$; Variations de tension négligeable

-Pointe de courant admissible I_p : les enroulements doivent pouvoir supporter une certaine pointe d'intensité, par exemple au démarrage, ou à un problème quelconque.

Pointe de courant : $I_p = 100A$ (cahier de charge) ; $I_{pmax} = 60A$ (Fournit par le constructeur du moteur). $I_{pmax} < I_p \rightarrow I_{pmax} < 100A$ Condition de démarrage remplie

-Variation de tension U'/U_n : on peut imaginer une baisse de tension sur le réseau qui induirait une perte de couple du moteur ($C_e = (3pV^2/w) * (g/r^2)$) suivi d'un arrêt du moteur qui n'arrive plus à entraîner la charge. Cela peut avoir de grave conséquence sur une chaîne de production, par exemple.

Variations de la tension négligeable (Cahier des charges), $0,95 \times 400 \leq U \leq 1,05 \times 400$

-Fréquence d'alimentation f : elle est liée à la fréquence de rotation qui elle-même est liée au nombre de paires de pôles. « Une mauvaise fréquence d'alimentation ne pourrait pas faire tourner le moteur ou bien l'endommagerait. »

-Chute de tension admissible ΔU : idem que pour la variation de tension, le moteur doit pouvoir maintenir un certain couple afin de ne pas décrocher.

$U = 400V \rightarrow \Delta u = 32V$ Type de raccordement B, $\cos \varphi = 0,8$

-Caractéristique de la ligne alimentant le moteur : elle doit correspondre aux caractéristiques du moteur indiquées sur la plaque signalétique afin d'alimenter correctement les enroulements du stator pour faire fonctionner le moteur. Étoile ou triangle

III. Eléments de choix du moteur :

-déterminer l'indice de protection IP : il sert par exemple à définir le niveau d'étanchéité de la carcasse si le moteur est implanté en milieu humide ou bien encore contre la poussière si le moteur se situe dans un milieu sale.

IP23, IK07 local de pompes

-Déterminer la classe des isolants : elle permet au moteur d'entraîner une charge plus importante malgré une température des enroulements élevée. Classe B

Le moteur choisi indique :

-Les côtes d'encombrement : elles servent à avoir les dimensions du moteur (la carcasse), cela permet d'effectuer un choix de l'emplacement du moteur, il faut que le local qui l'accueille ne soit pas trop petit pour des problèmes de refroidissement, par exemple.

-Les côtes de fixation : elles permettent de connaître les dimensions des pattes de fixation du moteur

-Les grandeurs mécanique et électrique : elles régissent les différents choix de couplages, de tension/courant, de la fréquence réseau etc... pour faire fonctionner le moteur dans de bonnes conditions.

$$\text{Surclassement } P_{\text{mot}} = \frac{P_m}{0,9} = \frac{9}{0,9} = 10 \text{ kW}$$

Pas de moteur de 10 kW sur le catalogue, on choisit un moteur de 11kW Hauteur d'axe : 160 mm

Le moteur LS 160M de 11kW convient

Moteur fermé standard, carcasse en aluminium, rotor à cage type LS160M IP55 B3

11kW;230/400;50Hz;

$$I_n = 22A; \frac{C_d}{C_n} = 2,1; \frac{I_d}{I_n} = 5; N_n = 1440 \text{ tr / min}; \cos \varphi = 0,87$$

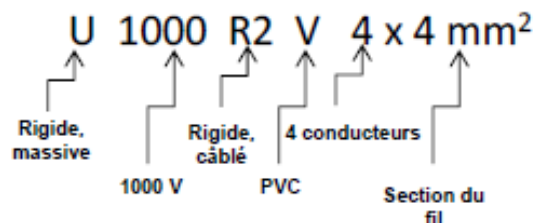
$$C_n = 37 \text{ Nm}; C_r = 44 \text{ Nm}; J_{\text{moteur}} = 0,05375 \text{ Kg m}^2; \eta = 0,89; m = 80 \text{ kg}$$

Démarrage retenu

Démarrage étoile-triangle

$$I_{d\Delta} = 37A; C_{d\Delta} = 51 \text{ Nm}; C_{r\Delta} = 9 \text{ Nm}; N_c = 1275 \text{ tr / min}; t_d = 4,9 \text{ sec}$$

Câble retenu



$$P_{nom} = 11kW; \eta = 0,87$$

$$Q = 0,2 \times P_{nom} \times \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 0,2 \times 11 \times \left(\frac{1}{0,87} - 1 \right) = 0,33m^3 / h$$

Le volume du local doit être tel que le renouvellement d'air $Q = 0,33m^3 / h$ soit suffisant pour assurer le fonctionnement normal du moteur

Exploitation Courbe de couples (Couple moteur et couple résistant)

Pour que le moteur entraîne une machine, il lui faut un couple de démarrage.

Celui-ci doit d'une part décoller la masse (de moment d'inertie J) de la machine et d'autre part vaincre le couple résistant relatif à la machine.

On désigne par C_a le couple d'accélération (qui n'existe que pendant la mise en vitesse de la masse d'inertie J) et C_r le couple résistant de la machine (qui se maintient durant tout le fonctionnement du moteur)

Ainsi le Couple de démarrage C_d peut se calculer : $C_d = C_a + C_r$

Courbe de Couple d'un moteur asynchrone

Couple moteur (Démarrage direct)

Au moment du démarrage, le couple moteur est en moyenne de 1,5 à 2 fois le couple nominal.

Corrigé

Données:

Actuellement $P_{abs} = 365kW; \cos \varphi_a = 0,7 \Leftrightarrow Q_{abs} = P_{abs} \tan \varphi_a = 372374VAR$

Machine à acheter $U = 575V; P_{uM} = 50 \times 736 = 36,8kW; \eta_M = 0,88; P_{absM} = \frac{P_{uM}}{\eta_M} = 41818W$

Etat futur: $P_{prev} = P_{abs} + P_{absM} = 406818W$

$$Q_{prev} = P_{prev} \tan \varphi' = 196900VAR \Leftrightarrow \cos \varphi' = 0,9 \rightarrow \tan \varphi' = 0,484$$

Propositions :

Option n°1: Moteur asynchrone $\cos \varphi_{mas} = 0,89$ **Prix: 1250€** $0,09 \times 1250€$

Option n°2: Moteur synchrone 1 $\cos \varphi_{ms1} = 1$ **Prix: 1885€** $0,12 \times 1885€$

Option n°3: Moteur synchrone 2 $\cos \varphi_{ms2} = 0,8$ **Prix: 2006€** $0,12 \times 2006€$

Il faut ajouter un ensemble de condensateurs pour chaque option

Prix: 22 euros / kVAR + 1,10 euro / kVAR, groupe de 5 kVAR

Option n°1: Moteur asynchrone

$$P_{amas} = P_{absM} = 41818W$$

$$Q_{mas} = P_{amas} \tan \varphi_{mas} = 2142VAR \Leftrightarrow \cos \varphi_{mas} = 0,89AR$$

$$Q_c = Q_{prev} - (Q_{mas} + Q_{abs}) = -197800VAR$$

$$n = \frac{197800}{5000} \cong 40 \Leftrightarrow Q_c = 40 \times 5000 = 200kVAR$$

$$\text{Prix Option n°1} = 1250\text{€} + 0,09 \times 1250\text{€} + 22\text{€} \times 200\text{kVA} + 1,1\text{\$} \times 200 = 5982,5\text{€}$$

Option n°2: Moteur synchrone n°1

$$P_{ams1} = P_{prev} = \boxed{41818W}$$

$$Q_{ms1} = P_{ams1} \tan \varphi_{ms1} = \boxed{0VAR} \Leftrightarrow \cos \varphi'_{ms1} = 1$$

$$Q_c = Q_{prev} - (Q_{ms1} + Q_{abs}) = \boxed{-175474VAR}$$

$$n = \frac{175474}{5000} \cong 36 \Leftrightarrow Q_c = 36 \times 5000 = \boxed{-180kVAR}$$

$$\text{Prix Option n°2} = 1885\text{€} + 0,12 \times 1885\text{€} + 22\text{€} \times 180\text{kVAR} + 1,1\text{€} \times 180 = \boxed{6269,2\text{€}}$$

Option n°3: Moteur synchrone n°2

$$P_{ams2} = P_{prev} = 41818W$$

$$Q_{ms2} = P_{ams2} \tan \varphi_{ms2} = -31363,5VAR \Leftrightarrow \cos \varphi'_{ms2} = -0,8$$

$$Q_c = Q_{prev} - (Q_{ms2} + Q_{abs}) = -144110,5VAR$$

$$n = \frac{144110,5}{5000} \cong 29 \Leftrightarrow Q_c = 29 \times 5000 = 145kVAR$$

$$\text{Prix Option n°3} = 2006\text{€} + 0,12 \times 2006\text{€} + 22\text{€} \times 145\text{kVAR} + 1,1\text{€} \times 145 = 5596,2\text{€}$$

On choisit l'option n°3: 5596,2€

FIN