

# Les moteurs asynchrones triphasés

BOÎTE À OUTILS ADEL BAGGHI<sup>1</sup>

*Élaborée pour les classes de lycées professionnelles, cette fiche d'aide au choix de motorisations électriques constitue une approche de premier niveau pour le dimensionnement et le choix d'un moteur à courant alternatif. Elle fait suite à celles précédemment publiées dans les numéros 111 et 112 de Technologie.*

**MOTS-CLÉS** qualité, processus, normes

La fonction convertir l'énergie électrique en énergie mécanique est réalisée par un moteur.

L'énergie électrique se présente sous deux formes : source alternative ou source continue. Nous trouverons deux types de moteurs : à courant alternatif ou à courant continu.

Le choix d'un moteur asynchrone triphasé dépend de nombreux critères tels que : le couple résistant, l'inertie, le réseau et l'ambiance.

Ce choix dépend mécaniquement de la machine à entraîner.

## Réseau d'alimentation

### Appel de courant admissible

En basse tension, le choix d'un moteur et de son mode de démarrage dépendent souvent de la puissance installée du réseau d'alimentation qui définit l'appel du courant admissible. **Première règle** : les caractéristiques nominales d'un moteur doivent être en rapport avec l'usage qui en sera fait.

**Deuxième règle** : limitation des troubles dus au démarrage (cas des moteurs alimentés directement sur un réseau de distribution publique).

### Chute de tension

La tension d'un réseau peut varier dans certaines limites. On admet, d'après la norme C15100,  $\pm 5\%$ , et dans le cas de réseau alimenté par transformateur jusqu'à  $\pm 10\%$ .

Le couple d'un moteur est proportionnel au carré de la tension, et le courant à la tension. Lorsque cette dernière varie de  $\pm 5\%$  ou de  $\pm 10\%$ , on obtient les valeurs suivantes :

| U nominal                   | 0,90 U <sub>n</sub> | 0,95 U <sub>n</sub> | 1,05 U <sub>n</sub> | 1,10 U <sub>n</sub> |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Couple (T <sub>n</sub> )    | 0,81                | 0,88                | 1,12                | 1,21                |
| Glissement (g)              | 1,24                | 1,13                | 0,90                | 0,83                |
| Courant (I <sub>n</sub> )   | 1,10                | 1,05                | 0,95                | 0,90                |
| Démarrage (I <sub>d</sub> ) | 0,90                | 0,95                | 1,05                | 1,10                |

## Fréquence

La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est directement proportionnelle à la fréquence d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de pôles.

$n$  (tr/s) : vitesse de synchronisme,  
 $f$  (Hz) : fréquence du réseau,  
 $n = \frac{f}{p}$   
 $p$  : nombre de paires de pôles,  
 $p = 1$  pour 2 pôles,  
 $p = 2$  pour 4 pôles, etc.

## Puissance

Le moteur asynchrone qui convient le mieux à une application est toujours celui qui fonctionne près de la puissance nominale, car c'est à ce moment que son facteur de puissance ( $\cos \varphi$ ) et son rendement sont les meilleurs.

## La machine entraînée

Selon la nature de l'organe entraîné, un certain nombre de grandeurs mécaniques doivent être connues.

## Puissance et couple

La puissance, le couple et la vitesse sont liés par la relation fondamentale :

$$P = T \times \Omega$$

$P$  : puissance en watts (W),

$T$  : Couple en newtons-mètres (Nm),

$\Omega$  : vitesse angulaire en radians par seconde (rd/s).

## Inertie au démarrage

Durant la période de démarrage, le moteur doit fournir :

- l'énergie nécessaire pour vaincre le couple résistant ;
- l'énergie cinétique pour la mise en mouvement des parties à l'arrêt (machine entraînée plus le rotor du moteur).

## Couples résistants

Le démarrage d'une machine par un moteur ne peut avoir lieu que si le couple moteur est à chaque instant supérieur au couple résistant de la machine entraînée, et ce à toutes les vitesses (sinon le moteur s'arrête : on dit qu'il cale).

$$C_{\text{Moteur}} > C_{\text{résistant}}$$

## Choix d'un moteur et de son démarrage

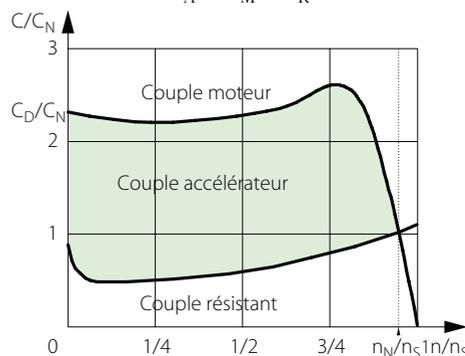
Le choix d'un moteur asynchrone et celui de son démarrage sont intimement liés. Le couple au décollage doit être strictement supérieur au couple résistant de décollage de la machine entraînée. Industriellement, on se donne une marge de sécurité :

$$C_{MD} > 5/3 C_{RD}$$

En effet, il y a souvent ce que l'on appelle un « dur » au décollage, c'est-à-dire une résistance mécanique supplémentaire de la machine à l'arrêt.

Le couple accélérateur est la différence qui existe à chaque instant, durant le démarrage, entre le couple moteur et le couple résistant :

$$C_A = C_M - C_R$$



1. Professeur certifié en électrotechnique au lycée Évariste-Galois de Noisy-le-Grand.

## Machine entraînée

### Couple de démarrage (Td)

Il est exprimé par rapport au couple nominal  $T_d = 0,5 \text{ à } 1T_n$ .

### Conditions de mise en route

Elle s'exprime surtout en fonction de l'inertie de la machine donnée par le  $J(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ .

### Ordre de grandeur de la puissance

Petite : 5,5 kW environ.

Moyenne: 5,5 à 10 kW.

Grande : 100 kW environ.

## Moteur asynchrone

### Types de rotor

Le circuit électrique : c'est un enroulement fermé sur lui-même et donnant lieu à deux technologies :

- rotor à cage d'écurieul (ou rotor en court-circuit) ;
- rotor bobine (ou rotor à bagues).

Il existe plusieurs types de rotor à cage.

### Rotor à simple cage

Le rotor à simple cage est utilisé pour les moteurs de faibles puissances.

Le couple de démarrage ( $T_d$ ) est faible.

Le courant de démarrage ( $I_d$ ) est élevé par rapport au courant nominal ( $I_n$ )  $T_d \uparrow - I_d \downarrow$

### Rotor à cage multiple

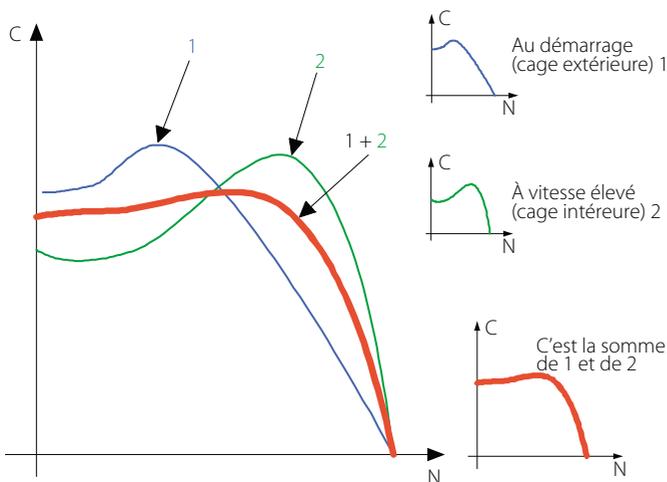
Deux ou trois cages sont superposées réunies ou non par une fente.

### Rotor à cage profondes

Les conducteurs sont de faibles largeur par rapport à la hauteur.

### Utilité des rotors à cages multiples et rotor à encoches profondes

Amélioration du démarrage = réduction du courant d'appel.



### Rotor bobine (ou rotor à bagues)

### Isolation des enroulements statoriques

Les conducteurs sont en cuivre émaillé.

Pendant la phase de fabrication, on renforce le bobinage par application d'un vernis et on le colle car, quand un moteur tourne, il y a des vibrations dues au 50 Hz (Force de Laplace). S'il y a frottement, le vernis risque de partir, il se produirait alors un défaut sur le bobinage.

Il existe ainsi trois classes d'isolation :

| Classe d'isolation                              | B   | F   | H   |
|---|-----|-----|-----|
| Échauffement moyen $\Delta\theta$ °K            | 80  | 105 | 125 |
| Température limite du bobinage $\theta$ maxi °C | 125 | 155 | 180 |

La classe d'isolation la plus utilisée est la classe F.

Les échauffements dus aux extrêmes de tension  $\pm 10 \%$  entraîne une variation de  $15 \text{ °K}$ .

### Contraintes liées à l'environnement

Le moteur asynchrone à un indice de protection IP23 ou IP55 généralement.

Les conditions normales d'utilisation des moteurs standard sont une température comprise entre  $-16 \text{ °C}$  et  $+40 \text{ °C}$  et une altitude inférieure à 1000 m.

Pour des conditions différentes d'emploi, on déclassera la machine selon les données constructeur.

### Refroidissement

Les machines fonctionnant à vitesse variable doivent être ventilées extérieurement à basse vitesse.

Si la machine est plus rapide que 3000 tr/min, on fait une ventilation forcée (le bruit des turbines de refroidissement serait trop fort).

### Contraintes liées à la charge mécanique et à la fixation

Il y a deux types de fixations :

- fixation par socle (normale) ;
- fixation par bride (le moteur est tenu par le flasque, donc pas de problème d'alignement).

### Application numérique

Nous cherchons à déterminer un moteur capable d'entraîner une machine dont le couple résistant est évalué à environ 9 N·m à une fréquence de rotation d'environ 1430 tr/min. Le réseau est de 400 volts.

### Choix du moteur

À partir de la documentation fournie (tableau suivant) :

- la vitesse angulaire du moteur est :

$$\Omega = \frac{2 \leftrightarrow \pi \leftrightarrow n}{60} = \frac{2 \leftrightarrow \pi \leftrightarrow 1430}{60} = 149,6 \text{ rd/s};$$

- la puissance mécanique nécessaire est :

$$P = T \leftrightarrow \Omega = 9 \leftrightarrow 149,6 = 1346,40 \text{ W};$$

Le choix se portera alors sur le moteur de type LS 90L de puissance nominale 1,5 kW.

Le glissement est ainsi de :

$$g = \frac{n - n'}{n} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 5,3 \%;$$

L'intensité de démarrage :

$$\frac{I_d}{I_n} = 5, \text{ soit } I_d = 5 \leftrightarrow I_n = 5 \leftrightarrow 3,43 \cup 17 \text{ A};$$

$$\text{avec } I_n = \frac{Pa}{U \leftrightarrow \sqrt{3} \leftrightarrow \cos \varphi} = \frac{1923}{400 \leftrightarrow \sqrt{3} \leftrightarrow 0,81}$$

$$\text{et } Pa = \frac{Pu}{\eta} = \frac{1500}{0,78} = 1923 \text{ W}$$

| Type    | Puissance nominale $P_n$ (kW) | Vitesse nominale $N_n$ (tr/min) | Facteur de puissance $\cos \varphi$ | Rendement $\eta$ (%) | $I_d/I_n$ |
|---------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|
| LS 90S  | 1,1                           | 1415                            | 0,81                                | 76                   | 5         |
| LS 90L  | 1,5                           | 1420                            | 0,81                                | 78                   | 5,9       |
| LS 90 L | 1,8                           | 1410                            | 0,83                                | 79                   | 5,7       |
| LS 100L | 2,2                           | 1430                            | 0,81                                | 78                   | 5,3       |
| LS 100L | 3                             | 1420                            | 0,78                                | 79                   | 5,1       |