

ABB drives

# Guide technique No. 7 Dimensionnement d'un système d'entraînement



# Guide technique No. 7

## Dimensionnement d'un système d'entraînement

---

© Copyright 2012 ABB. Toutes les dispositions,  
indications et caractéristiques sont susceptibles de  
modification sans préavis.

3BFE64494236 REV C FR 21.2.2012



# Table des matières

---

<b>Chapitre 1 - Introduction .....</b>	<b>7</b>
Généralités.....	7
<b>Chapitre 2 - Système d'entraînement .....</b>	<b>8</b>
<b>Chapitre 3 - Principales étapes de la procédure de dimensionnement ....</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 4 - Le moteur asynchrone (c.a.) .....</b>	<b>11</b>
4.1 Principes fondamentaux.....	11
4.2 Courant moteur .....	13
4.2.1 Plage à flux constant.....	14
4.2.2 Zone de défluxage .....	15
4.3 Puissance moteur.....	16
<b>Chapitre 5 - Lois élémentaires de la mécanique.....</b>	<b>17</b>
5.1 Mouvement de rotation .....	17
5.2 Réducteurs et moment d'inertie .....	20
<b>Chapitre 6 - Différents types de charge.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre 7 - Capacité de charge du moteur .....</b>	<b>25</b>
<b>Chapitre 8 - Sélectionner le convertisseur de fréquence et le moteur ....</b>	<b>26</b>
8.1 Application de pompage/ventilation (exemple).....	26
8.2 Application à couple constant (exemple) .....	29
8.3 Application à puissance constante (exemple) .....	31
<b>Chapitre 9 - Transformateur d'entrée et redresseur du convertisseur de     fréquence .....</b>	<b>35</b>
9.1 Redresseur.....	35
9.2 Transformateur .....	36
<b>Chapitre 10 - Index .....</b>	<b>38</b>



# Chapitre 1 - Introduction

---

## Généralités

Dimensionner un système d'entraînement nécessite de prendre en compte de très nombreux facteurs et de connaître tous les éléments constitutifs du système: réseau électrique, machine entraînée, contraintes d'environnement, moteurs et variateurs de vitesse, etc. Le temps que vous consacrez à bien dimensionner votre système d'entraînement peut vous faire gagner beaucoup d'argent par la suite.

## Chapitre 2 - Système d'entraînement

---

Un système d'entraînement c.a. comporte, en général, un transformateur d'entrée ou une alimentation électrique, un convertisseur de fréquence, un moteur c.a. et la charge entraînée. Le convertisseur de fréquence comprend lui-même un redresseur, un circuit c.c. et un onduleur.

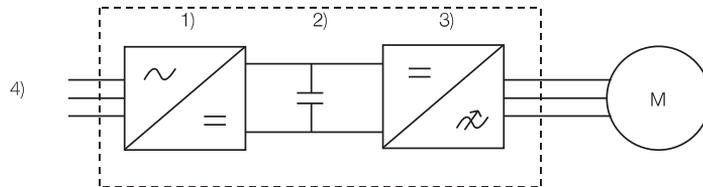


Figure 2.1 Convertisseur de fréquence avec 1) un redresseur, 2) un circuit c.c., 3) un onduleur et 4) l'alimentation électrique.

Dans les systèmes multi-entraînements, un redresseur séparé est souvent utilisé. Les onduleurs sont raccordés directement à un circuit c.c. commun.

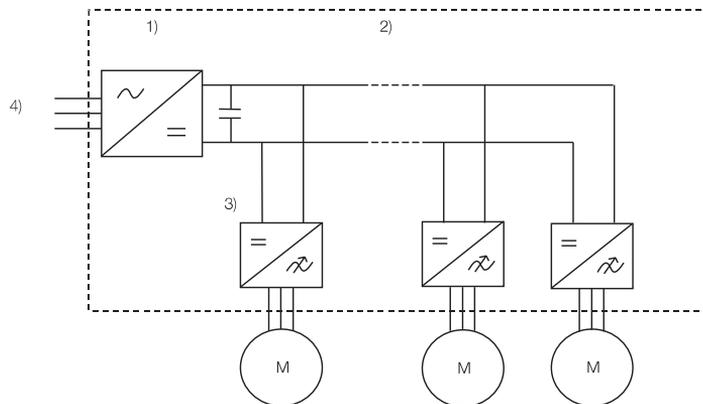


Figure 2.2 Système d'entraînement avec 1) une section redresseur séparée, 2) un circuit c.c. commun, 3) des sections onduleurs et 4) l'alimentation électrique.

# Chapitre 3 - Principales étapes de la procédure de dimensionnement

---

Dans ce chapitre, nous décrivons les principales étapes du dimensionnement du moteur et du convertisseur de fréquence.

## 1) Vérification des caractéristiques du réseau

Pour sélectionner votre convertisseur de fréquence et votre moteur, vous devez connaître le niveau de la tension réseau (380 V à 690 V) et sa fréquence (50 Hz ou 60 Hz). La fréquence du réseau n'est pas un facteur de limitation de la plage de vitesse de l'application.

## 2) Détermination des caractéristiques de l'application

Couple de démarrage? Plage de vitesse utilisée? Type de la charge entraînée? Nous décrivons par la suite les types de charge les plus courants.

## 3) Sélection du moteur

Un moteur électrique doit être considéré comme une source de couple. Il doit offrir une bonne tenue aux surcharges et être capable de fournir un certain niveau de couple. Par exemple, le couple maximum du moteur doit être environ 30% supérieur au couple demandé par la charge. Par contre, la capacité thermique du moteur ne doit pas être dépassée.

## 4) Sélection du convertisseur de fréquence

Le convertisseur de fréquence est sélectionné en fonction des caractéristiques du réseau et du moteur sélectionné. Il doit pouvoir fournir le courant et la puissance requis. Il faut tirer profit de sa capacité de surcharge pour les cycles transitoires.

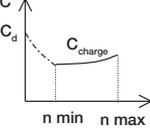
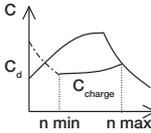
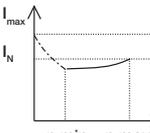
Dimensionnement	Réseau	Convertisseur	Moteur	Charge
				
1) Vérifiez les caractéristiques du réseau et de la charge	$f_N = 50\text{Hz}, 60\text{Hz}$ $U_N = 380\dots690\text{V}$			
2) Choisissez un moteur selon: - la capacité thermique - la plage de vitesse - le couple au maximum requis				
3) Choisissez un convertisseur de fréquence selon: - le type de charge - le courant permanent et maximum - le réseau				

Figure 3.1 Principales étapes de la procédure de dimensionnement.

# Chapitre 4 - Le moteur asynchrone (c.a.)

Les moteurs asynchrones sont très répandus dans l'industrie. Nous décrivons dans ce chapitre leurs principales caractéristiques.

## 4.1 Principes fondamentaux

Un moteur asynchrone convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Cette conversion est basée sur l'induction électromagnétique. Du fait du phénomène d'induction, le moteur asynchrone présente un glissement par rapport à la vitesse de synchronisme. Le glissement est défini au point de fonctionnement nominal du moteur (fréquence ( $f_n$ ), vitesse ( $n_n$ ), couple ( $C_n$ ), tension ( $U_n$ ), courant ( $I_n$ ) et puissance ( $P_n$ )). Au point de fonctionnement, le glissement est:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100 \% \quad (4.1)$$

où  $n_s$  est la vitesse de synchronisme:

$$n_s = \frac{2 * f_n * 60}{\text{nombre de pôles}} \quad (4.2)$$

Lorsqu'un moteur est alimenté par un réseau à tension et fréquence constantes, sa courbe de couple a la forme suivante:

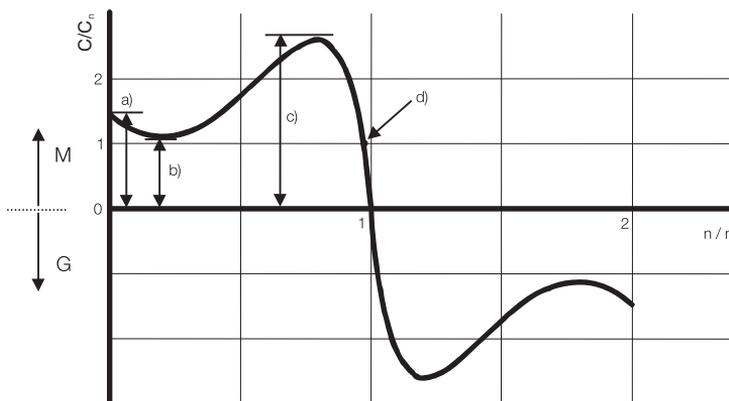
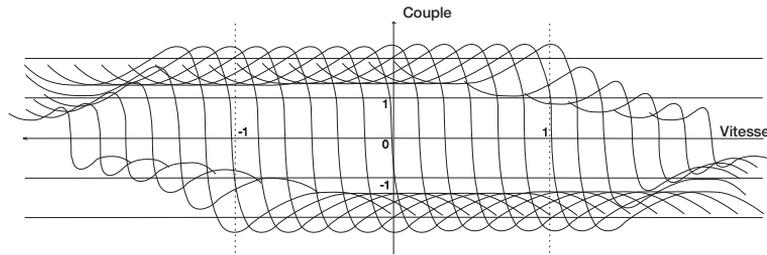


Figure 4.1 Courbe type couple/vitesse d'un moteur asynchrone raccordé au réseau (démarrage direct). Sur le graphique a) est le couple de démarrage, b) le couple minimum, c) le couple moteur maximum,  $C_{max}$  et d) le couple nominal du moteur.

Le couple maxi d'un moteur asynchrone standard ( $C_{max}$ , également appelé couple de décrochage) est en général 2 à 3 fois le couple nominal. Le couple maxi est obtenu au glissement  $s_{max}$  qui est supérieur au glissement nominal. Pour obtenir les meilleures performances d'un moteur asynchrone, le glissement moteur doit se situer entre  $-s_{max}$  et  $s_{max}$ . Pour cela, il faut réguler la tension et la fréquence. Cette régulation peut se faire avec un convertisseur de fréquence.



**Figure 4.2** Courbes couple/vitesse d'un moteur asynchrone alimenté par un convertisseur de fréquence.  $C_{max}$  est disponible pour des surcharges transitoires sous le point de défluxage. Les convertisseurs de fréquence, cependant, limitent en général le couple maximum disponible à 70% de  $C_{max}$ .

La plage de fréquence en-dessous de la fréquence nominale est appelée plage à flux constant. Au-dessus de la fréquence/vitesse nominales, le moteur fonctionne dans la zone de défluxage. Dans celle-ci, il peut fonctionner à puissance constante, raison pour laquelle elle est parfois appelée plage à puissance constante.

Le couple maxi d'un moteur asynchrone est proportionnel au carré du flux magnétique ( $C_{max} \sim \Psi^2$ ). Cela signifie que le couple maxi est pratiquement constant dans la plage de flux constant. Au-delà du point de défluxage, la diminution du couple maxi est inversement proportionnelle au carré de la fréquence.

$$\left( C_{max} \sim \left( \frac{f_n}{f_{act}} \right)^2 \right)$$

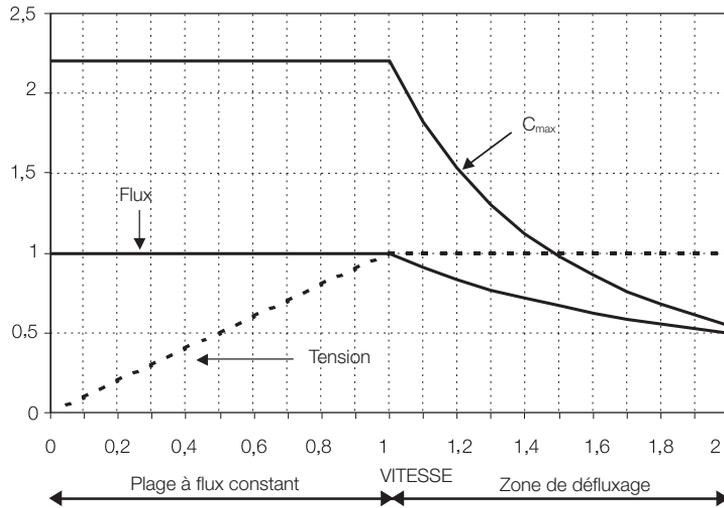


Figure 4.3 Couple maxi, tension et flux en fonction de la vitesse relative.

## 4.2 Courant moteur

Le courant d'un moteur asynchrone a deux composantes: le courant réactif ( $i_{sd}$ ) et le courant actif ( $i_{sq}$ ). La composante de courant réactif inclut le courant magnétisant ( $i_{magn}$ ) alors que le courant actif est la composante de courant qui produit le couple. Les composantes de courants réactif et actif sont perpendiculaires.

Le courant magnétisant ( $i_{magn}$ ) reste à peu près constant dans la plage à flux constant (en-dessous du point de défluxage). Dans la zone de défluxage, le courant magnétisant diminue proportionnellement à la vitesse.

Le courant magnétisant dans la plage à flux constant correspond approximativement au courant réactif ( $i_{sd}$ ) au point de fonctionnement du moteur.

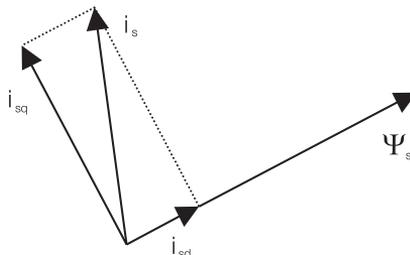


Figure 4.4 Le courant statorique ( $i_s$ ) est composé du courant réactif ( $i_{sd}$ ) et du courant actif ( $i_{sq}$ ) qui sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre. Le flux statorique est désigné  $\Psi_s$ .

### 4.2.1 Plage à flux constant

En-dessous du point de défluxage, les composantes du courant peuvent être calculées comme suit:

$$i_{sd} = I_n \left( \sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \left[ \sqrt{\left(\frac{C_{max}}{C_n}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{C_{max}}{C_n}\right)^2 - \left(\frac{C_{charge}}{C_n}\right)^2} \right] \right) \quad (4.3)$$

$$i_{sq} = I_n \left( \frac{C_{charge}}{C_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.4)$$

$\varphi_n$  est l'angle de déphasage entre puissance active et réactive.  $\cos(\varphi_n)$  est le facteur de puissance. Le courant moteur total est:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.5)$$

On peut voir qu'à couple moteur nul, la composante de courant actif est nulle. Avec des valeurs de couple proches du nominal, le courant devient environ proportionnel au couple. Le courant moteur total peut être estimé comme suit:

$$i_m = \frac{C_{charge}}{C_n} * I_n, \text{ lorsque } 0,8 * C_n \leq C_{charge} \leq 0,7 * C_{max} \quad (4.6)$$

#### Exemple 4.1:

Le courant nominal d'un moteur de 15 kW est 32 A et son facteur de puissance 0,83. Quel est le courant magnétisant du moteur au point de fonctionnement? Quel est le courant total à un couple de 120% en-dessous du point de défluxage?

#### Solution 4.1:

Au point de fonctionnement, le courant magnétisant est calculé comme suit:

$$i_{sd} = I_n \sin(\varphi_n) = 32 * \sqrt{1 - 0,83^2} \text{ A} = 17,8 \text{ A}$$

La formule d'estimation pour le courant moteur total à un couple de 120% donne:

$$i_m = \frac{C_{charge}}{C_n} * I_n = 1,2 * 32 \text{ A} = 38,4 \text{ A}$$

Cette formule a été utilisée car le couple remplissait la condition  $0,8 * C_n \leq C_{charge} \leq 0,7 * C_{max}$

### 4.2.2 Zone de défluxage

Au-dessus du point de défluxage, les composantes de courant dépendent également de la vitesse.

$$I_{sd} = I_n \left( \frac{n_n}{n} \left( \sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \sqrt{\left( \frac{C_{max}}{C_n} \right)^2 - 1} \right) - \cos(\varphi_n) \sqrt{\left( \frac{C_{max}}{C_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2 - \left( \frac{C_{charge}}{C_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2} \right) \quad (4.7)$$

$$I_{sq} = I_n \left( \frac{C_{charge}}{C_n} * \frac{n_n}{n} \right) \cos(\varphi_n) = I_n \left( \frac{P_{charge}}{P_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.8)$$

Le courant moteur total est:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.9)$$

Le courant moteur peut être calculé de manière relativement précise dans une zone de fonctionnement donnée. Le courant moteur devient proportionnel à la puissance relative. La formule suivante sert à calculer le courant:

$$i_m = \frac{C_{charge}}{C_n} * \frac{n_n}{n} I_n = \frac{P_{charge}}{P_n} I_n \quad (4.10)$$

Le résultat obtenu peut être utilisé lorsque:

$$0,8 * \frac{n_n}{n} * C_n \leq C_{charge} \leq 0,7 * \left( \frac{n_n}{n} \right)^2 * C_{max} \quad (4.11)$$

et

$$0,8 * P_n \leq P_{charge} \leq 0,7 * \frac{n_n}{n} * P_{max} \quad (4.12)$$

Dans la zone de défluxage, le courant supplémentaire requis pour maintenir un certain niveau de couple est proportionnel à la vitesse relative.

#### Exemple 4.2:

Le courant nominal du moteur est 71 A. Quelle quantité de courant est nécessaire pour maintenir 100% de couple à 1,2 fois la vitesse nominale ( $C_{max} = 3 * C_n$ )?

#### Solution 4.2:

Le courant peut être calculé en utilisant la formule suivante:

$$i_m = \frac{C_{charge}}{C_n} * \frac{n_n}{n} I_n = 1 * 1,2 * 71 = 85,2 \text{ A}$$

### 4.3 Puissance moteur

La puissance mécanique (utile) du moteur peut être calculée à partir de la vitesse et du couple avec la formule suivante:

$$P_n \text{ [W]} = C \text{ [Nm]} * \omega \text{ [rad/s]} \quad (4.13)$$

La puissance moteur étant souvent exprimée en kilowatts (1 kW = 1000 W) et la vitesse en tr/min (tours/minute,

1 tr/min =  $\frac{2 \pi}{60}$  rad/s), la formule suivante peut être utilisée:

$$P_n \text{ [kW]} = \frac{C \text{ [Nm]} * n \text{ [tr/min]}}{9550} \quad (4.14)$$

La puissance absorbée par le moteur peut être calculée à partir de la tension, du courant et du facteur de puissance:

$$P_{abs} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (4.15)$$

Le rendement du moteur correspond à la puissance utile divisée par la puissance absorbée:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{abs}} \quad (4.16)$$

#### Exemple 4.3:

Soit un moteur de puissance nominale de 15 kW et de vitesse nominale de 1480 tr/min. Quel est son couple nominal?

#### Solution 4.3:

Le couple nominal du moteur est calculé comme suit:

$$C_n = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96,8 \text{ Nm}$$

#### Exemple 4.4:

Quel est le rendement nominal d'un moteur de 37 kW ( $P_n = 37 \text{ kW}$ ,  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $I_n = 71 \text{ A}$  et  $\cos(\varphi_n) = 0,85$ )?

#### Solution 4.4:

Le rendement nominal est:

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_{abs}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\varphi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0,85} \approx 0,931$$

# Chapitre 5 - Lois élémentaires de la mécanique

---

## 5.1 Mouvement de rotation

Une des équations de base d'un moteur asynchrone décrit le rapport entre le moment d'inertie ( $J$  [ $\text{kgm}^2$ ]), la vitesse angulaire ( $\omega$  [ $\text{rad/s}$ ]) et le couple ( $C$  [ $\text{Nm}$ ]). Cette équation est la suivante:

$$\frac{d}{dt} (J \omega) = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = C_{\text{moteur}} - C_{\text{charge}} \quad (5.1)$$

Dans cette équation, on suppose qu'à la fois la fréquence et le moment d'inertie varient. La formule est cependant souvent donnée de sorte que le moment d'inertie est supposé constant:

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_{\text{moteur}} - C_{\text{charge}} \quad (5.2)$$

Le couple  $C_{\text{charge}}$  représente la charge du moteur, composée du frottement, de l'inertie et de la charge elle-même. Lorsque la vitesse moteur varie, le couple moteur est différent de  $C_{\text{charge}}$ . On peut considérer que le couple moteur est constitué d'une composante dynamique et d'une composante de charge:

$$C_{\text{moteur}} = C_{\text{dyn}} + C_{\text{charge}} \quad (5.3)$$

Si la vitesse et le moment d'inertie sont constants, la composante dynamique ( $C_{\text{dyn}}$ ) est nulle.

La composante de couple dynamique produite par l'accélération/décélération d'un moment d'inertie constant (la vitesse du moteur change de  $\Delta n$  [ $\text{tr/min}$ ] en  $\Delta t$  [ $\text{s}$ ],  $J$  est constant) est:

$$C_{\text{dyn},n} = J * \frac{2 \pi}{60} * \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (5.4)$$

La composante de couple dynamique produite par un moment d'inertie variable à vitesse constante  $n$  [ $\text{tr/min}$ ] est:

$$C_{\text{dyn},J} = n * \frac{2 \pi}{60} * \frac{\Delta J}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Si le moment d'inertie varie et qu'en même temps le moteur accélère, la composante de couple dynamique peut être calculée en utilisant un intervalle d'échantillonnage discret donné. Pour le dimensionnement thermique, il suffit cependant souvent de prendre en compte le moment d'inertie moyen pendant l'accélération.

**Exemple 5.1:**

Le moment d'inertie total de 3 kgm<sup>2</sup> est accéléré de la vitesse de 500 tr/min à 1000 tr/min en 10 secondes. Quel est le couple total nécessaire lorsque le couple de charge constant est de 50 Nm?

Combien de temps faut-il au moteur pour atteindre 0 tr/min si son alimentation électrique est coupée?

**Solution 5.1:**

Le moment d'inertie total est constant. La composante de couple dynamique requise pour l'accélération est:

$$C_{dyn} = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000 - 500}{10} \text{ Nm} = 15,7 \text{ Nm}$$

Le couple total pendant l'accélération est:

$$C = C_{dyn} + C_{charge} = (15,7 + 50) \text{ Nm} = 65,7 \text{ Nm}$$

Si l'alimentation électrique du moteur est coupée alors qu'il tourne à 1000 tr/min, le moteur décélère du fait du couple de charge constant (50 Nm). L'équation suivante s'applique:

$$3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{0 - 1000}{\Delta t} = -C_{charge}$$

Temps nécessaire pour passer de 1000 tr/min à 0 tr/min:

$$\Delta t = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000}{50} \text{ s} = 6,28 \text{ s}$$

**Exemple 5.2:**

L'accélération d'un ventilateur jusqu'à la vitesse nominale se fait à couple nominal. A la vitesse nominale, le couple moteur est de 87%. Le moment d'inertie du ventilateur est de 1200 kgm<sup>2</sup> et celui du moteur de 11 kgm<sup>2</sup>. La courbe de charge du ventilateur Ccharge est reprise à la figure 5.1.

La puissance nominale du moteur est de 200 kW et sa vitesse nominale de 991 tr/min.

Quel est le temps de démarrage de la vitesse nulle à la vitesse nominale?

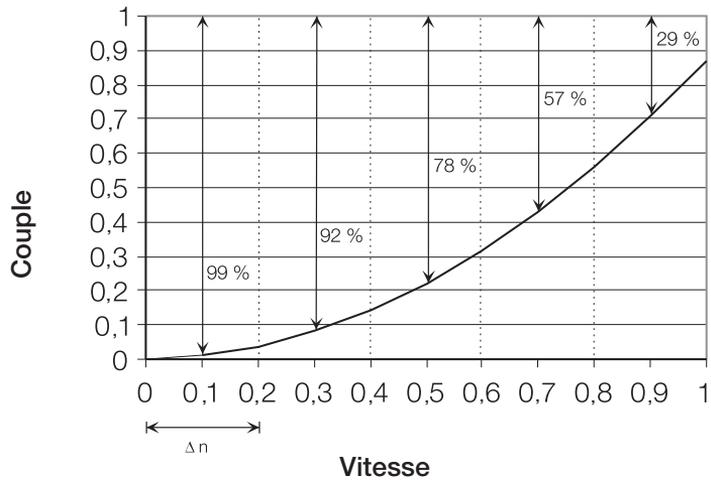


Figure 5.1 Courbe de couple d'un ventilateur. La vitesse et le couple sont illustrés en utilisant des valeurs relatives.

#### Solution 5.2:

Le couple nominal du moteur est:

$$C_n = \frac{9550 * 200}{991} \text{ Nm} = 1927 \text{ Nm}$$

Le temps de démarrage est calculé en divisant la plage de vitesse en cinq secteurs. Dans chaque secteur (198,2 tr/min) le couple est supposé constant et il est pris à partir du point médian du secteur. Cela se conçoit car le comportement quadratique est calculé comme étant linéaire dans le secteur.

Le temps nécessaire à l'accélération du moteur (ventilateur) à couple nominal peut être calculé avec la formule:

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{J_{\text{tot}} * \Delta n}{C_n - C_{\text{charge}}}$$

Temps d'accélération pour les différents secteurs de vitesse:

$$0-198,2 \text{ tr/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,99 * 1927} \text{ s} = 13,2 \text{ s}$$

$$198,2-396,4 \text{ tr/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,92 * 1927} \text{ s} = 14,3 \text{ s}$$

$$396,4-594,6 \text{ tr/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,78 * 1927} \text{ s} = 16,7 \text{ s}$$

$$594,6-792,8 \text{ tr/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,57 * 1927} \text{ s} = 22,9 \text{ s}$$

$$792,8-991 \text{ tr/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,29 * 1927} \text{ s} = 45,0 \text{ s}$$

Le temps de démarrage total entre 0 et 991 tr/min est approximativement de 112 secondes.

## 5.2 Réducteurs et moment d'inertie

Les réducteurs sont des éléments typiques des systèmes d'entraînement. Pour calculer le couple moteur et la plage de vitesse, les réducteurs doivent être pris en compte. Le rapport de réduction entre le côté charge et le côté moteur est calculé avec les équations suivantes (cf. fig. 5.2):

$$C_1 = \frac{C_2}{\eta} * \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (5.6)$$

$$J_1 = J_2 * \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad (5.8)$$

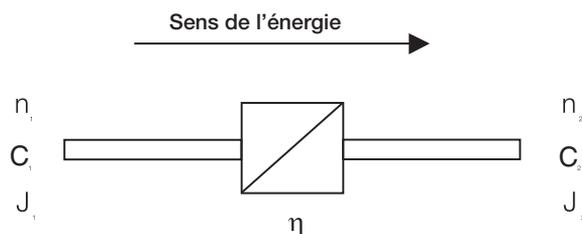


Figure 5.2 Réducteur de rendement  $\eta$ . Rapport de réduction  $n_1:n_2$ .

Les moments d'inertie ( $J$  [ $\text{kgm}^2$ ]) au sein du système doivent également être connus. Ils peuvent être calculés, mais difficilement avec précision. En général, les constructeurs de machines fournissent les valeurs requises.

### Exemple 5.3:

Un cylindre est une forme courante de charge (rouleaux, tambours, accouplements, etc.). Quelle est l'inertie d'un cylindre en rotation (masse=1600 kg, rayon=0,7 m)?

### Solution 5.3:

L'inertie du cylindre en rotation (de masse  $m$  [kg] et de rayon  $r$  [m]) est calculée comme suit:

$$J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} * 1600 * 0.7^2 \text{ kgm}^2 = 392 \text{ kgm}^2$$

Dans le cas d'un réducteur, le moment d'inertie de l'arbre moteur doit être recalculé. L'exemple suivant montre le calcul d'un système d'entraînement de levage. Dans les livres techniques, d'autres formules sont également données.

### Exemple 5.4:

Calculer le moment d'inertie sur l'arbre moteur du système d'entraînement de levage suivant.

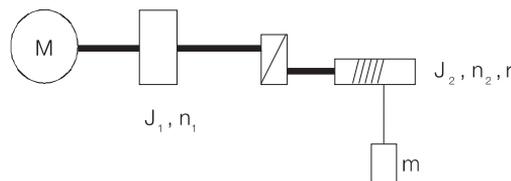


Figure 5.3 Système d'entraînement de levage de l'exemple 5.4.

### Solution 5.4:

Le moment d'inertie total est composé de  $J_1=10 \text{ kgm}^2$ ,  $J_2=30 \text{ kgm}^2$ ,  $r=0,2 \text{ m}$  et  $m=100 \text{ kg}$ .

Le moment d'inertie  $J_2$  et la masse  $m$  sont situés en sortie d'un réducteur de rapport  $\hat{2}$ .

Le moment d'inertie  $J_2$  est calculé en le multipliant par le carré de l'inverse du rapport de réduction. La masse  $m$  de l'engin de levage est calculée en la multipliant par le carré du rayon  $r$  et, parce que l'engin est en aval du réducteur, elle doit également être multipliée par le carré de l'inverse du rapport de réduction.

Ainsi, le moment d'inertie total du système est:

$$J_{\text{red}} = J_1 + \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 [J_2 + m r^2] = 18.5 \text{ kgm}^2$$

# Chapitre 6 - Différents types de charge

---

Certains types de charge sont caractéristiques dans les applications industrielles. Connaître le profil de la charge (plage de vitesse, couple et puissance) est essentiel pour bien sélectionner l'association moteur/convertisseur de fréquence pour l'application.

Nous décrivons les types de charge les plus courants. Une même application peut combiner plusieurs types de charge.

## 1. Couple constant

Une charge à couple constant est typique de volumes fixes à traiter. Ainsi, par exemple, les compresseurs à vis, les chargeurs et les convoyeurs sont des applications à couple constant typiques. Le couple est constant et la puissance est linéairement proportionnelle à la vitesse.

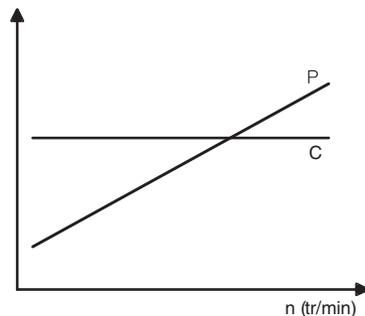


Figure 6.1 Courbes types de couple et de puissance d'une application à couple constant.

## 2. Couple quadratique

Les charges à couple quadratique sont les plus répandues, avec des applications comme les ventilateurs et les pompes centrifuges. Le couple est proportionnel au carré de la vitesse et la puissance au cube de la vitesse.

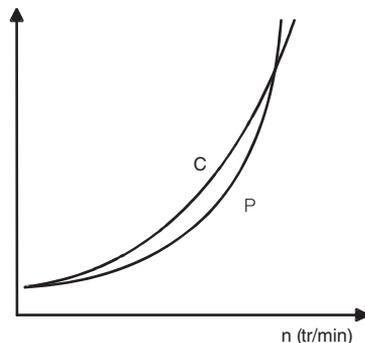
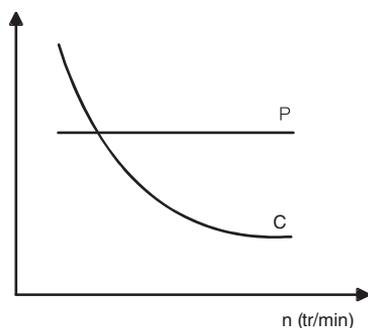


Figure 6.2 Courbes types de couple et de puissance d'une application à couple quadratique.

### 3. Puissance constante

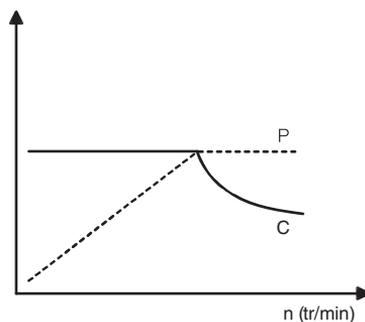
Une charge à puissance constante est typique d'une machine qui enroule ou déroule un matériau, le diamètre de la bobine variant au fur et à mesure de l'enroulage/déroulage. La puissance est constante et le couple est inversement proportionnel à la vitesse.



**Figure 6.3** Courbes types de couple et de puissance d'une application à puissance constante.

### 4. Puissance/couple constants

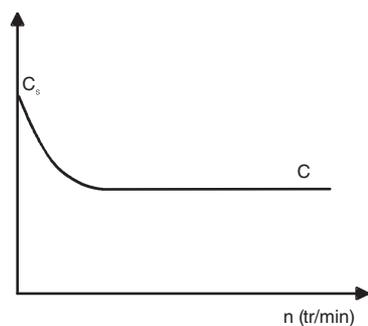
Ce type de charge est fréquent dans l'industrie du papier. Elle associe une charge à puissance constante et une charge à couple constant. Elle résulte souvent du dimensionnement du système pour obtenir une puissance donnée à une vitesse élevée.



**Figure 6.4** Courbes types de couple et de puissance d'une application à puissance/couple constants.

### 5. Couple de démarrage élevé

Certaines applications exigent un couple élevé à basse vitesse, facteur qui doit être pris en compte lors du dimensionnement. Parmi les applications courantes de ce type de charge, citons les extrudeuses et les pompes à vis.



**Figure 6.5** Courbe type de couple d'une application exigeant un surcouple de démarrage.

Il existe d'autres types de charge, plus difficiles à décrire d'une manière générale. Mentionnons, par exemple, les charges symétriques (cylindres, engins de levage, etc.) et asymétriques. La symétrie ou l'asymétrie du couple peut être, par exemple, fonction de l'angle ou du temps. Ces types de charge doivent être dimensionnés avec attention, en tenant compte des réserves de capacité de surcharge du moteur et du convertisseur de fréquence, de même que du couple moyen du moteur.

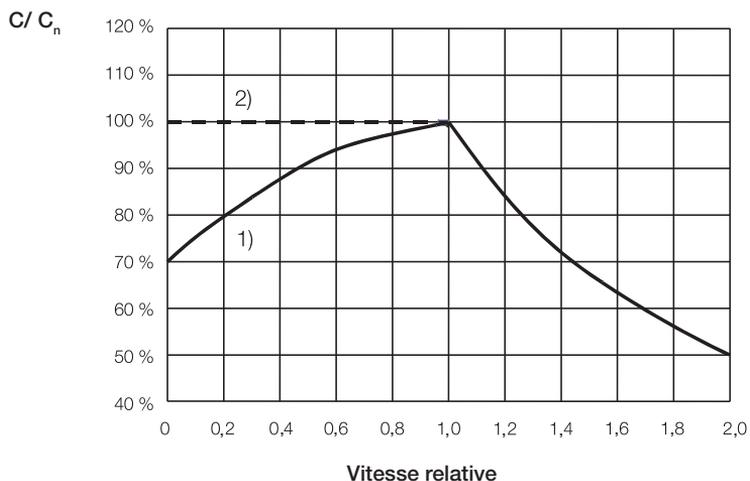
# Chapter 7 - Capacité de charge du moteur

La capacité thermique du moteur est un facteur de dimensionnement d'un système d'entraînement. Elle définit la capacité de charge à long terme du moteur.

Un moteur asynchrone standard étant autoventilé, sa capacité thermique baisse au fur et à mesure que sa vitesse de rotation diminue. Ce phénomène limite le couple permanent disponible à basse vitesse.

Un moteur à refroidissement séparé présente une meilleure capacité de charge à basse vitesse. Le refroidissement est souvent étudié pour que cette capacité soit la même qu'au point de fonctionnement.

Avec les deux modes de refroidissement, le couple est thermiquement limité dans la zone de défluxage.



**Figure 7.1 Capacité de charge type d'un moteur asynchrone à cage standard entraîné par un convertisseur de fréquence 1) sans refroidissement séparé et 2) avec refroidissement séparé.**

Un moteur c.a. peut être surchargé pendant de courtes périodes sans s'échauffer. Les surcharges transitoires sont principalement limitées par  $C_{max}$  (vérifier la réserve thermique).

En général, la capacité de surcharge transitoire d'un convertisseur de fréquence est plus problématique que celle du moteur. Les constantes de temps thermiques moyennes vont de 15 minutes (petits moteurs) à plusieurs heures (gros moteurs) selon la taille du moteur. Les constantes de temps thermiques des convertisseurs de fréquence (quelques minutes en moyenne) figurent dans les manuels des produits.

# Chapitre 8 - Sélectionner le convertisseur de fréquence et le moteur

---

Le moteur est sélectionné en fonction des caractéristiques de base de l'application. Plage de vitesse, courbes de couple, mode de refroidissement et capacité de charge du moteur sont des critères de base. Souvent, il est intéressant de comparer différents moteurs car le choix a une incidence sur la taille du convertisseur de fréquence.

Lors du choix du convertisseur de fréquence, plusieurs éléments interviennent. Les constructeurs proposent normalement des tableaux de sélection avec des correspondances puissance moteur/taille convertisseur.

Le courant de dimensionnement peut également être calculé lorsque la caractéristique de couple est connue. Les valeurs de courant correspondantes peuvent être calculées à partir du profil de couple et comparées aux limites de courant du convertisseur. Le courant nominal du moteur peut également servir. Ce n'est cependant pas toujours le meilleur critère de dimensionnement, car les moteurs peuvent notamment être déclassés (température ambiante, zone à risque, etc.).

La tension d'alimentation doit être vérifiée avant de sélectionner le convertisseur. Les variations de tension affectent la puissance utile à l'arbre du moteur. Si elle est inférieure à la valeur nominale, le point de défluxage s'établit à une fréquence plus basse et le couple maxi du moteur est réduit dans la zone de défluxage.

Le couple maxi disponible est souvent limité par le convertisseur de fréquence, facteur à prendre en compte dès la phase de sélection du moteur. Le convertisseur de fréquence peut limiter le couple moteur plus tôt que spécifié sur la fiche technique du constructeur du moteur.

Le couple maxi disponible est aussi affecté par les transformateurs, selfs, câbles, etc. du système, source de chute de tension et, donc, de réduction du couple maxi. Les pertes de puissance du système doivent également être compensées par le convertisseur de fréquence.

## 8.1 Application de pompage/ventilation (exemple)

Procédure de dimensionnement pour une application de pompage/ventilation:

- Vérifiez la plage de vitesse et calculez la puissance à vitesse maxi.

- Vérifiez le couple de démarrage requis.
- Choisissez le nombre de pôles du moteur. La fréquence d'exploitation la plus économique se situe souvent dans la zone de défluxage.
- Choisissez un moteur dont la puissance nominale est obtenue à la vitesse maxi, sans oublier la capacité thermique.
- Choisissez le convertisseur de fréquence sur la base des valeurs nominales pour application de pompage/ventilation. Si elles ne sont pas spécifiées, choisissez le convertisseur en fonction du courant moteur.

**Exemple 8.1:**

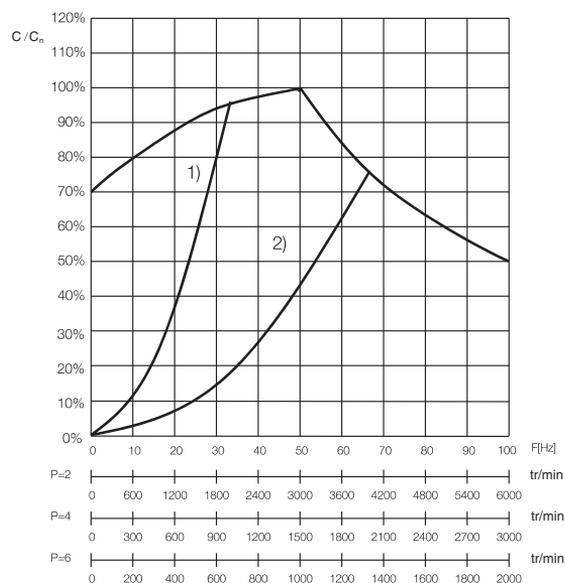
Une pompe de 150 kW tourne à 2000 tr/min. Couple de démarrage non requis.

**Solution 8.1:**

Le couple requis à 2000 tr/min est:

$$C = \frac{9550 * 150}{2000} \text{ Nm} = 716 \text{ Nm}$$

Un moteur 2 pôles ou 4 pôles sera sélectionné pour cette application.



**Figure 8.1** Courbes de charge du moteur dans une application de pompage/ventilation. Comparaison moteurs 1) 2 pôles et 2) 4 pôles.

1) moteur 2 pôles

Pour un moteur 2 pôles, la capacité de charge à 2000 tr/min selon la courbe est d'environ 95%. Le couple nominal du moteur doit être au moins:

$$C_n \geq \frac{716}{0,95} \text{ Nm} = 754 \text{ Nm}$$

Sélectionner le convertisseur de fréquence et le moteur

La puissance nominale correspondante doit être au moins:

$$P_n \geq \frac{754 * 3000}{9550} \text{ kW} = 237 \text{ kW}$$

Un moteur de 250 kW (400 V, 431 A, 50 Hz, 2975 tr/min et 0,87) est sélectionné. Le couple nominal moteur est:

$$C_n = \frac{250 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 803 \text{ Nm}$$

Le courant moteur à la vitesse de 2000 tr/min (plage à flux constant) est environ:

$$i_m = \frac{C_{\text{charge}}}{C_n} * I_n = \frac{716}{803} * 431 \text{ A} = 384 \text{ A}$$

Le courant nominal mini du convertisseur de fréquence est alors de 384 A.

2) moteur 4 pôles

Pour un moteur 4 pôles, la capacité de surcharge à 2000 tr/min est de 75%. Le couple nominal moteur mini est:

$$C_n \geq \frac{716 \text{ Nm}}{0,75} = 955 \text{ Nm}$$

La puissance mini d'un moteur 4 pôles est:

$$P_n \geq \frac{955 * 1500}{9550} \text{ kW} = 150 \text{ kW}$$

Un moteur de 160 kW (400 V, 305 A, 50 Hz, 1480 tr/min et 0,81) satisfait ces exigences. Le courant approximatif à la vitesse de 2000 tr/min (66,7 Hz) est:

$$i_m = \frac{C_{\text{charge}}}{C_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{\text{charge}}}{P_n} * I_n = \frac{150}{160} * 305 \text{ A} = 286 \text{ A}$$

Le courant exact doit être calculé si le courant nominal du convertisseur de fréquence sélectionné est proche du courant moteur approximatif.

Un moteur 4 pôles consomme moins de courant au point de fonctionnement de la pompe. Il constitue donc un choix plus économique qu'un moteur 2 pôles.

## 8.2 Application à couple constant (exemple)

Procédure de dimensionnement pour une application à couple constant:

- Vérifiez la plage de vitesse.
- Vérifiez le couple constant requis.
- Vérifiez les accélérations éventuelles. Si des accélérations sont requises, vérifiez les moments d'inertie.
- Vérifiez le couple de démarrage requis.
- Choisissez le moteur de sorte que le couple est sous la courbe de capacité thermique (ventilation séparée/autoventilation?). En général, la vitesse nominale du moteur est au milieu de la plage de vitesse utilisée.
- Choisissez un convertisseur de fréquence en fonction du courant de dimensionnement.

### Exemple 8.2:

Extrudeuse avec une plage de vitesse de 300 à 1200 tr/min. A 1200 tr/min, la charge est de 48 KW. Le couple de démarrage requis est de 200 Nm. Le temps d'accélération pour passer de la vitesse nulle à 1200 tr/min est de 10 s. Il s'agit d'un moteur autoventilé de tension nominale de 400 V.

### Solution 8.2:

Couple constant requis:

$$C = \frac{9550 * 48}{1200} \text{ Nm} = 382 \text{ Nm}$$

Choisir un moteur 4 pôles ou 6 pôles.

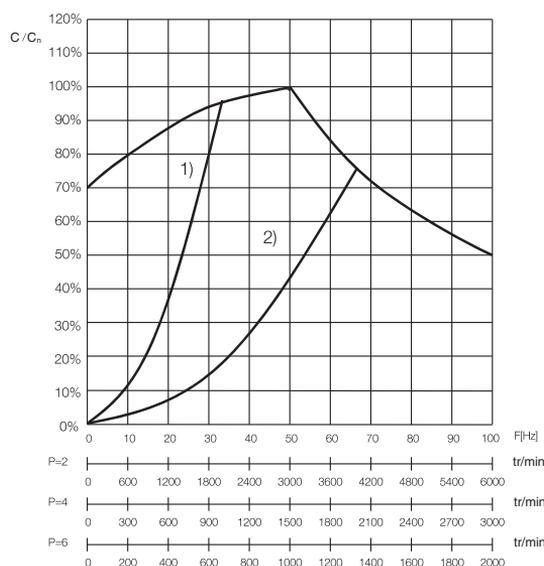


Figure 8.2 Courbes de charge moteur dans une application à couple constant. Comparaison entre un moteur 1) 4 pôles et 2) 6 pôles.

Sélectionner le convertisseur de fréquence et le moteur

1) Moteur 4 pôles

A 300 tr/min, la capacité thermique est de 80%.

Le couple nominal mini calculé est:

$$C_n \geq \frac{382}{0,8} \text{ Nm} = 478 \text{ Nm}$$

La puissance nominale moteur mini est:

$$P_n \geq \frac{478 * 1500}{9550} \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

Une solution adéquate est, par exemple, un moteur de 75 kW (400 V, 146 A, 50 Hz, 1473 tr/min et 0,82). Le couple nominal moteur est:

$$C_n = \frac{75 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 486 \text{ Nm}$$

Le courant moteur est approximativement ( $C/C_n \approx 0,8$ ):

$$i_m = \frac{C_{\text{charge}}}{C_n} * I_n = \frac{382}{486} * 146 \text{ A} = 115 \text{ A}$$

Selon le courant moteur calculé, un convertisseur de fréquence peut être sélectionné pour utilisation à couple constant.

Le couple de démarrage requis (200 Nm) ne pose aucun problème pour ce moteur.

Si le moment d'inertie du moteur est de 0,72 kgm<sup>2</sup>, le couple dynamique en accélération est:

$$C_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 0,72 \text{ Nm} = 9 \text{ Nm}$$

Ainsi, le couple total pendant l'accélération est de 391 Nm, ce qui est inférieur au couple nominal moteur.

2) Moteur 6 pôles

A 300 tr/min et 1200 tr/min, la capacité de charge du moteur est de 84%. Ainsi, le couple nominal mini du moteur 6 pôles est:

$$C_n \geq \frac{382 \text{ Nm}}{0,84} = 455 \text{ Nm}$$

La puissance nominale moteur mini est:

$$P_n \geq \frac{455 * 1000}{9550} \text{ kW} = 48 \text{ kW}$$

Un moteur adéquat serait par exemple un moteur de 55 kW (400 V, 110 A, 50 Hz, 984 tr/min et 0,82). Le couple nominal du moteur est:

$$C_n = \frac{55 * 9550}{984} \text{ Nm} = 534 \text{ Nm}$$

Le courant de dimensionnement peut être calculé à la vitesse de 1200 tr/min:

$$i_m = \frac{C_{\text{charge}}}{C_n} * \frac{n}{n_n} \quad I_n = \frac{P_{\text{charge}}}{P_n} * I_n = \frac{48}{55} * 110 \text{ A} = 96 \text{ A}$$

Le courant (continu) nominal du convertisseur de fréquence doit être supérieur à 96 A.

Le couple de démarrage requis est inférieur au couple nominal du moteur.

Si l'inertie du moteur est de 1,2 kgm<sup>2</sup>, le couple dynamique en accélération est:

$$C_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 1,2 \text{ Nm} = 15 \text{ Nm}$$

Le couple total requis pendant l'accélération est de 397 Nm, ce qui est inférieur au couple nominal du moteur.

Le courant d'un moteur 6 pôles est inférieur de 19 A à celui d'un moteur 4 pôles. L'association convertisseur de fréquence/moteur sélectionnée varie en fonction de la taille et du coût du moteur et du convertisseur de fréquence.

### 8.3 Application à puissance constante (exemple)

Procédure de dimensionnement pour une application à puissance constante:

- Vérifiez la plage de vitesse.
- Calculez la puissance requise. Les bobineuses sont des applications types à puissance constante.
- Dimensionnez le moteur pour utiliser la zone de défluxage.

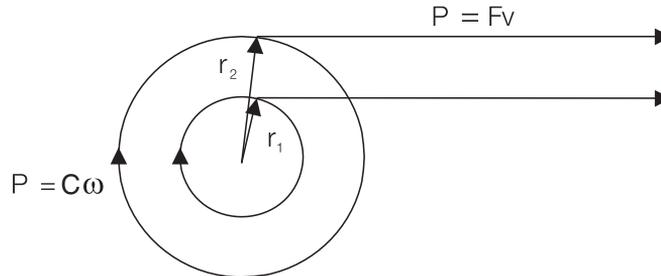
#### Exemple 8.3:

Une tréfileuse est commandée par un convertisseur de fréquence. La vitesse linéaire de la bobine est de 12 m/s et la traction du fil de 5700 N. Les diamètres de la bobine sont de 630 mm (vide) et 1250 (pleine). Le rapport de réduction du réducteur est de 7,12 et son rendement 0,98.

Sélectionnez un moteur et un convertisseur pour cette application.

**Solution 8.3:**

Pour une bobineuse, le principe est de maintenir constantes la vitesse linéaire  $V$  et la traction  $F$  du matériau enroulé au fur et à mesure que le diamètre varie.



**Figure 8.3 Schéma de principe d'une bobineuse.**

En mouvement rectilinéaire, la puissance est:  $P = Fv$

En mouvement de rotation, la puissance est:  $P = C\omega$

Le rapport entre la vitesse linéaire et la vitesse angulaire est le suivant:

$$v \text{ [m/s]} = \omega * r = \frac{2 \pi * n \text{ [tr/min]} * r}{60} \Leftrightarrow n \text{ [tr/min]} = \frac{60 * v}{2 \pi * r}$$

Le couple est égal au produit de la force de traction par le rayon:  
 $C = Fr$

En utilisant les formules précédentes, le moteur peut être sélectionné:

$$Fv = 5700 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 68,4 \text{ kW}$$

Couple sans bobine (diamètre mini)

$$C_1 = 5700 \text{ N} * \frac{0,63}{2} \text{ m} = 1796 \text{ Nm}$$

Vitesse de rotation à diamètre mini

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0,63} \text{ tr/min} = 363,8 \text{ tr/min}$$

Couple à bobine pleine (diamètre maxi)

$$C_2 = 5700 \text{ N} * \frac{1,25}{2} \text{ m} = 3563 \text{ Nm}$$

Vitesse de rotation à diamètre maxi

$$n_2 = \frac{12 * 60}{\pi * 1,25} \text{ tr/min} = 183,3 \text{ tr/min}$$

Le réducteur doit être pris en compte avant de choisir le moteur. Les vitesses, les couples et la puissance doivent être recalculés:

$$P = \frac{P}{\eta_{\text{réd}}} = \frac{68,4}{0,98} \text{ kW} = 69,8 \text{ kW}$$

$$C_1 = \frac{1796}{0,98} * \frac{1}{7,12} \text{ Nm} = 275 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 363,8 * 7,12 \text{ tr/min} = 2590 \text{ tr/min}$$

$$C_2 = \frac{3563}{0,98} * \frac{1}{7,12} \text{ Nm} = 511 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 183,3 * 7,12 \text{ tr/min} = 1305 \text{ tr/min}$$

#### 1) Moteur 2 pôles

Si un moteur 2 pôles est sélectionné, sa capacité de charge à 1305 tr/min est d'environ 88 % et 97 % à 2590 tr/min. La puissance nominale mini du moteur est :

$$P_n \geq \frac{511 * 3000}{0,88 * 9550} \text{ kW} = 182 \text{ kW}$$

Un moteur de 200 kW (400 V, 353 A, 50 Hz, 2975 tr/min et 0,86) est sélectionné. Le couple nominal moteur est:

$$C_n = \frac{200 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 642 \text{ Nm}$$

Le courant de dimensionnement est calculé pour un couple de 511 Nm:

$$i_m = \frac{C_{\text{charge}}}{C_n} * i_n = \frac{511}{642} * 353 \text{ A} = 281 \text{ A}$$

#### 2) Moteur 4 pôles

Si un moteur 4 pôles est sélectionné, on note sur la courbe de charge que la capacité de charge à 1305 tr/min est d'environ 98% et 60% à 2590 tr/min. La puissance nominale moteur mini est:

$$P_n \geq \frac{511 * 1500}{0,98 * 9550} \text{ kW} = 82 \text{ kW}$$

Sélectionner le convertisseur de fréquence et le moteur

Un moteur de 90 kW (400 V, 172 A, 50 Hz, 1473 tr/min et 0,83) est sélectionné. Le couple nominal moteur est:

$$C_n = \frac{90 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 584 \text{ Nm}$$

Dans ce cas, le dimensionnement se fait sur la base du courant moteur à 1305 tr/min. Le courant moteur est:

$$i_m = \frac{C}{C_n} I_n = \frac{511}{584} * 172 \text{ A} = 151 \text{ A}$$

Avec un moteur 2 pôles, la zone de défluxage (puissance constante) n'est pas utilisée, ce qui induit un surdimensionnement inutile. Un moteur 4 pôles est plus approprié pour cette application.

# Chapitre 9 - Transformateur d'entrée et redresseur du convertisseur de fréquence

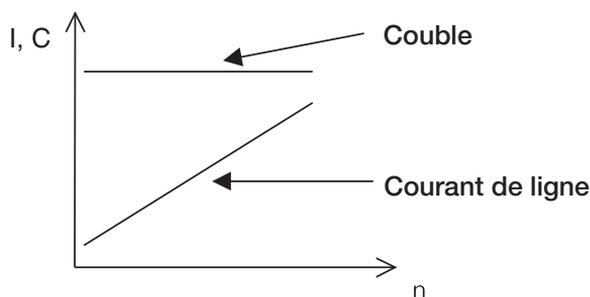
---

Il existe plusieurs modèles de redresseur pour les convertisseurs de fréquence. Le modèle utilisé peut limiter les possibilités de fonctionnement.

Un redresseur traditionnel est à diodes 6 ou 12 pulses. Il n'autorise que le fonctionnement en mode moteur avec passage de la puissance dans un seul sens.

Dans certaines applications, le fonctionnement en mode générateur est également nécessaire, avec récupération de l'énergie de freinage. Pour le fonctionnement en mode générateur de courte durée, la solution traditionnelle consiste à dissiper l'énergie récupérée sous forme thermique sur une résistance de freinage. Pour un fonctionnement en mode générateur permanent, un redresseur 4 quadrants est requis.

Le transformateur d'entrée et le redresseur sont dimensionnés selon la puissance à l'arbre moteur et les pertes du système. Ex., si un couple élevé à basse vitesse est produit, la puissance mécanique est cependant assez faible. Ainsi, des surcharges élevées ne signifient pas forcément une puissance élevée du point de vue du redresseur.



**Figure 9.1** Courant de ligne dans une application à couple constant. Le courant de ligne est réduit à basse vitesse.

## 9.1 Redresseur

Les redresseurs sont dimensionnés en fonction de la puissance à l'arbre moteur. Le redresseur d'entrée d'un mono-entraînement peut être sélectionné avec la formule suivante :

$$S_{\text{redresseur}} = \frac{P_{\text{moteur}}}{0,9} \quad (9.1)$$

Dans les systèmes d'entraînement avec circuit c.c. commun, il peut y avoir fonctionnement simultané en modes moteur et générateur. La puissance du redresseur est alors calculée ainsi :

$$S_{\text{redresseur}} = \frac{\sum P_{\text{moteur}}}{0,9} - 0,9 \sum P_{\text{générateur}} \quad (9.2)$$

## 9.2 Transformateur

La puissance d'un transformateur d'entrée peut être calculée comme suit :

$$S_{\text{transfo}} = P_{\text{total}} * \frac{1,05}{k} * \frac{1}{\eta_r} * \frac{1}{\cos(\alpha)} * \frac{1}{\eta_c} * \frac{1}{\eta_i} * \frac{1}{\eta_m} \quad (9.3)$$

où :

$P_{\text{total}}$  est la puissance totale à l'arbre moteur

$k$  est la capacité de charge du transformateur (facteur  $k$ )

1,05 est la chute de tension du transformateur (impédance)

$\eta_r$  est le rendement du redresseur

$\cos(\alpha)$  est l'angle de commande du redresseur (=1,0 pour un redresseur à diodes)

$\eta_c$  est le rendement de la self c.a. (si incluse)

$\eta_i$  est le rendement de l'onduleur

$\eta_m$  est le rendement du moteur

En général, la puissance totale à l'arbre est multipliée par un coefficient de 1,2 à 1,35.

### Exemple 9.1:

Dans une application à couple constant, la puissance maxi requise à l'arbre est de 48 kW à 1200 tr/min. Un moteur de 55 kW et un onduleur de 70 kVA ont été sélectionnés.

Spécifiez le redresseur et le transformateur d'entrée. Un redresseur à diodes 6 pulses est utilisé (rendement 0,985), une self c.c. est intégrée au circuit c.c., le rendement de l'onduleur est de 0,97 et le rendement du moteur 0,95.

**Solution 9.1:**

Pour le redresseur, la puissance calculée est :

$$S_{\text{redresseur}} = \frac{48}{0,9} \text{ kVA} = 53,3 \text{ kVA}$$

Le rendement de la self est inclus dans le rendement de l'onduleur. Du fait du redresseur à diodes,  $\cos(\alpha) = 1$ . La puissance du transformateur d'entrée ( $k=0,95$ ) est:

$$S_{\text{transfo}} = 48 * \frac{1,05}{0,95} * \frac{1}{0,985} * \frac{1}{0,97} * \frac{1}{0,95} \text{ kVA} = 58,4 \text{ kVA}$$

# Chapitre 10 - Index

---

4 quadrants 35

## A

accélération 31, 32, 33  
accouplement 23  
alimentation 10, 11  
alimentation électrique 10  
autoventilé 27

## C

capacité de surcharge 11  
capacité thermique 27  
charge 10  
circuit c.c. 10  
convertisseur de fréquence 10  
couple 13, 14  
couple constant 24  
couple de décrochage 14  
couple de démarrage 11, 13, 25  
couple maximum 13, 14  
couple minimum 13  
couple quadratique 24  
courant actif 15  
courant réactif 15  
cube 24  
cycle 11

## D

décélération 20

## F

facteur de puissance 16  
fréquence 11, 13  
frottement 18

## G

glissement 15

## I

induction 15

## K

kilowatt 18

## M

mécanique 18  
mode générateur 37  
mode moteur 37  
moment d'inertie 19  
moteur 13  
moteur asynchrone 13  
moteur c.a. 10

## O

onduleur 38, 39

## P

plage de flux 14  
plage à flux constant 14  
plage de vitesse 9  
point de fonctionnement 13, 16  
pompes centrifuges 24  
profil de la charge 24  
puissance 13, 18  
puissance à l'arbre 28  
puissance constante 14, 25

## Q

quadratique 24

## R

redresseur 10, 37  
redresseur à diodes 37  
réducteur 22, 23  
refroidissement séparé 27  
rendement 18  
rouleau 23

## T

tambour 23  
tension 13  
tension d'alimentation 11, 28  
transformateur 10  
transformateur d'entrée 10  
type de charge 24

## V

ventilateur 20, 24  
vitesse 13  
vitesse angulaire 16

## Z

zone de défluxage 14



# Contactez-nous

Pour information plus détaillée, veuillez contacter votre représentant ABB local, ou visiter:

[www.abb.com/drives](http://www.abb.com/drives)

[www.abb.com/drivespartners](http://www.abb.com/drivespartners)

© Copyright 2012 ABB. Toutes les dispositions, indications et caractéristiques sont susceptibles de modification sans préavis.

3BFE64494236 REV C FR 21..2.2012 # 16117