

Machine asynchrone

Technologie, choix et alimentation des machines asynchrones

Objectif

Choisir un moteur asynchrone à partir d'un cahier des charges.

Pré-requis

- ❑ *Mécanique de base (couple, vitesse, accélération, inertie et énergie cinétique)*
- ❑ *Loi fondamentale de la dynamique*
- ❑ *Lecture et utilisation des notices constructeurs*
- ❑ *Lecture des schémas électriques aux normes*

Savoirs associés

- *Technologie des machines asynchrones*
- *Alimentation des machines asynchrones*
- *Démarrages des machines asynchrones*
- *Freinages des machines asynchrones*
- *machines asynchrones multi-vitesses*

Sommaire

Introduction :

I. Organisation de la machine

1. Stator
2. Rotor bobiné
3. Rotor à cage
4. Rotor à double cage
5. Rotor à encoches profondes
6. Organes mécaniques (voir schémas ci-après)
7. Vues en coupe

II. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation

1. Démarrage direct
2. Limitation du courant de démarrage
3. Freinage des machines asynchrones
4. Machines asynchrones à plusieurs vitesses

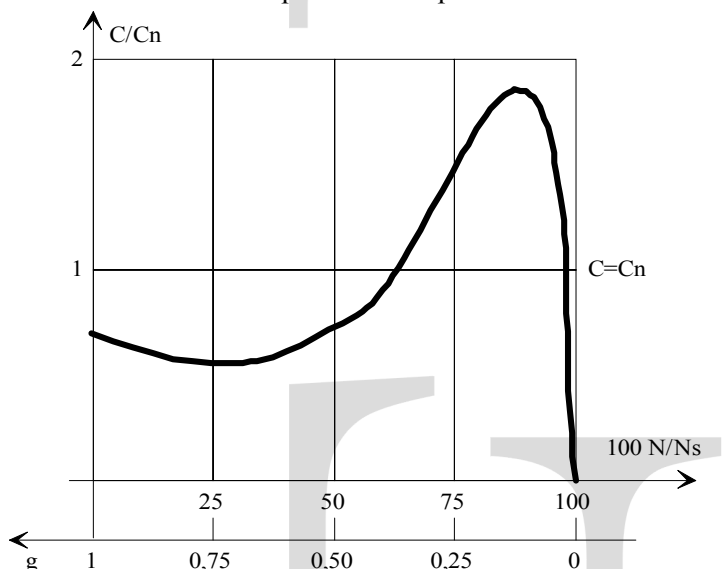
III. Méthode et guide de sélection d'une machine asynchrone

Travail personnel

Autocorrection

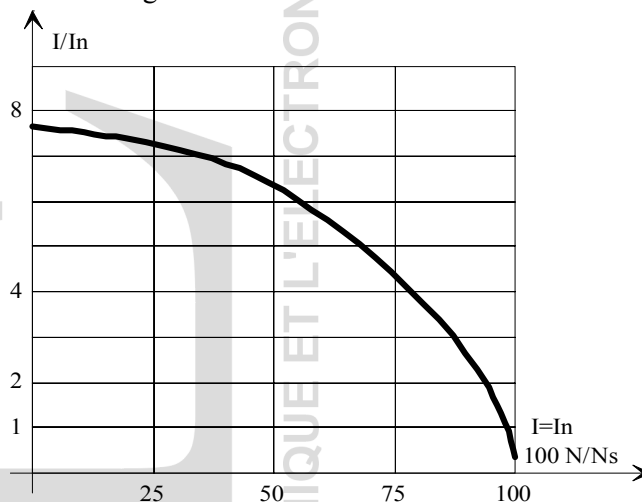
Introduction :

Le **moteur asynchrone** est de beaucoup le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Son seul point noir est l'énergie réactive, toujours consommée pour magnétiser l'entrefer. Les **machines triphasées**, alimentées directement sur le réseau, représentent la grande majorité des applications ; supplantant les machines monophasées aux performances bien moindres et au couple de démarrage nul sans artifice. Les **caractéristiques** de courant absorbé et de couple de cette machine sont bien connues (voir courbes types ci-joint). Elles font apparaître très clairement une **pointe d'intensité** de 5 à 10 fois I_n ainsi qu'un **à-coup de couple** au démarrage.



La **pointe d'intensité** est nuisible pour le réseau d'alimentation et il sera quelquefois nécessaire de la réduire. L'**à-coup de couple** est gênant pour la mécanique entraînée il peut même avoir des conséquences destructives.

Les **caractéristiques** de courant absorbé et de couple de cette machine sont bien connues (voir courbes types ci-joint). Elles font apparaître très clairement une **pointe d'intensité** de 5 à 10 fois I_n ainsi qu'un **à-coup de couple** au démarrage.



I. Organisation de la machine

L'organisation d'une machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants :

- le stator (partie fixe) constitué de disques en tôle magnétique portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.
- le rotor (partie tournante) constitué de disques en tôle magnétique empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement bobiné ou injecté.
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles

1. Stator

Les **différents types de moteurs asynchrones** ne se distinguent que par le rotor ; dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.

2. Rotor bobiné

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l'axe de la machine de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques.

Les extrémités des enroulements rotoriques sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires (résistances, électronique de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux ; en effet les pertes rotor pendant la phase de démarrage valant approximativement $\frac{1}{2} J\omega^2$ ne sont pas toujours supportées par les cages.

3. Rotor à cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

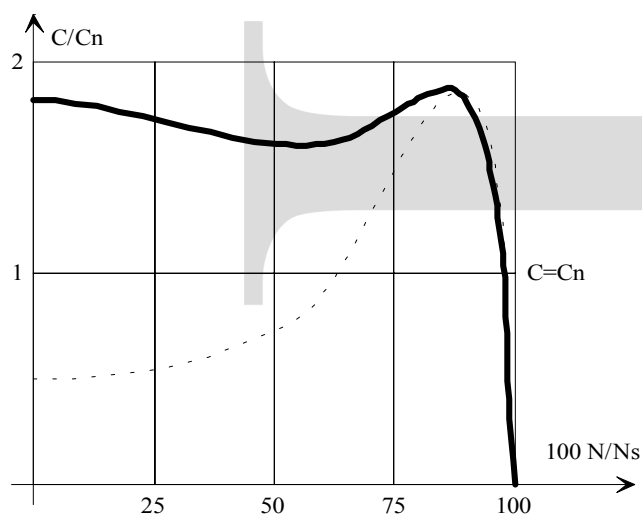
Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400 V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium.

On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand (soit en pratique, $N_b \geq 8x_p$), la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service.

Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

4. Rotor à double cage



Le rotor comporte deux cages coaxiales. L'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer. L'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer.

Au démarrage, le courant rotorique, de fréquence égale à la fréquence f du réseau d'alimentation, se situe essentiellement dans la cage externe, du fait de la faible pénétration des courant dans l'épaisseur du rotor (effet de peau). Sa relativement forte résistance réduit l'appel de courant et accroît le couple de démarrage. Au contraire, lorsque le moteur atteint son

régime nominal de fonctionnement, normalement caractérisé par un faible glissement g donc une fréquence rotorique basse, la cage interne de faible résistance est parcourue par la presque totalité du courant rotorique ce qui réduit le glissement donc les pertes rotoriques. On peut ainsi, obtenir des couples de démarrage C_d de deux à trois fois supérieurs à ceux du rotor à simple cage sans trop augmenter le glissement nominal.

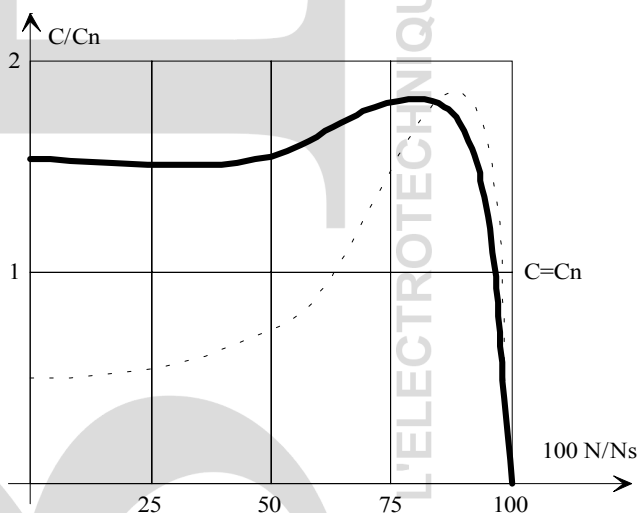
5. Rotor à encoches profondes

Le rotor à double cage est beaucoup plus difficile à construire que le rotor à simple cage et est donc d'un coût plus élevé. On peut pallier cet inconvénient, tout en gardant une partie de ses avantages, en construisant une cage rotorique simple avec des barres très plates s'enfonçant profondément dans le circuit magnétique.

Lors du démarrage, les lignes de courant se concentrent près de la périphérie et tendent ainsi à assigner une section de conducteur apparente réduite et par conséquent une résistance rotorique importante.

En revanche, en **marche normale**, cet effet disparaît et les lignes de courant, en occupant la pleine section de la barre, retrouvent un circuit de faible résistance.

Ce type de moteur, dit à encoches profondes, est très utilisé, notamment dans le cas des moteurs à haute tension à fort couple de démarrage. Il présente cependant l'inconvénient d'entraîner une augmentation du coefficient de dispersion des enroulements, donc une diminution du facteur de puissance du moteur, et bien sûr, d'exiger un diamètre de rotor plus important. Pour remédier à ce dernier inconvénient, on a parfois fait appel à des conducteurs ayant des formes plus compliquées, en trapèze, voire en L (la base du L étant en fond d'encoche).



6. Organes mécaniques (voir schémas ci-après)

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr

☎ : 01 45 14 28 28

📠 : 01 48 73 63 15

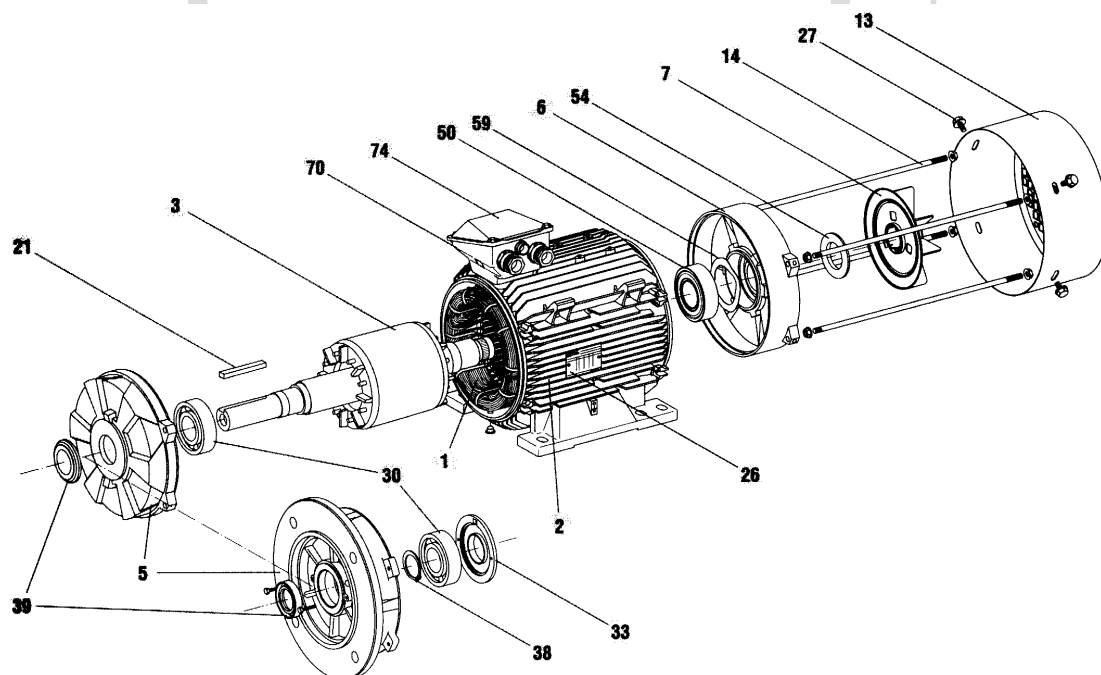
Le stator auto-porteur reçoit de chaque côté un flasque sur lequel le rotor sera positionné grâce à des roulements à billes ou à rouleaux suivant le type de charge (axiale ou radiale). Un ventilateur est placé en bout d'arbre sur le rotor pour le refroidissement de la machine. Il peut être remplacé par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes.

Le Site



ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

7. Vues en coupe



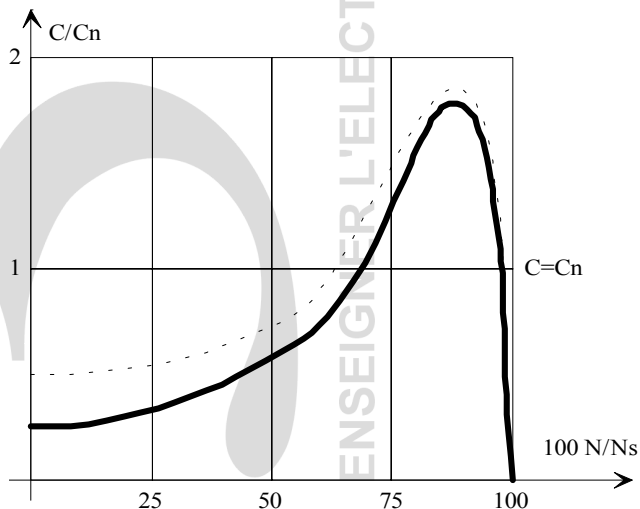
- | | | |
|-------------------------------|--|--|
| 1 : Stator bobiné | 21 : Clavette | 38 : Circlips de roulement côté accouplement |
| 2 : Carter | 26 : Plaque signalétique | 39 : Joint côté accouplement |
| 3 : Rotor | 27 : Vis de fixation du capot | 50 : Roulement arrière |
| 5 : Flasque côté accouplement | 30 : Roulement côté accouplement | 54 : Joint arrière |
| 6 : Flasque arrière | 33 : Chapeau intérieur côté accouplement | 59 : Rondelle de précharge |
| 7 : Ventilateur | | 70 : Corps de boîte à bornes |
| 13 : Capot de ventilation | | 74 : Couvercle de boîte à bornes |
| 14 : Tiges de montage | | |

II. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation

1. Démarrage direct

a. Caractéristiques en régime permanent

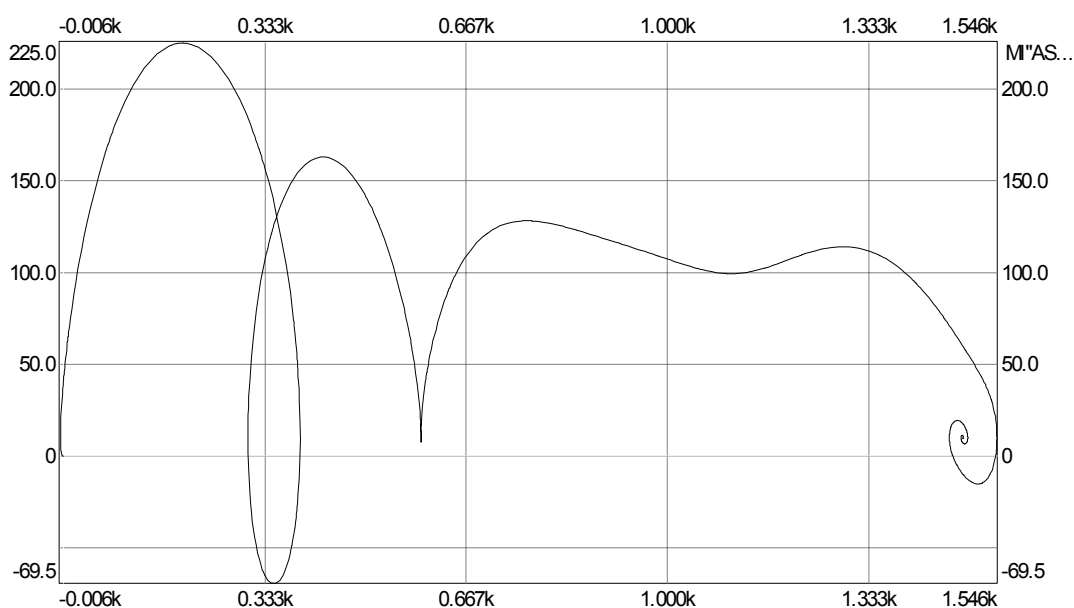
Il semble assez naturel de vouloir raccorder la machine sur le réseau basse tension 230/400 V 50 Hz (deux couplages sont alors possibles : étoile (Y) qui impose une tension simple à chaque enroulement ou triangle (D) qui impose une tension composée à chaque enroulement) mais il ne faut pas perdre de vue que plus la tension d'un réseau est faible, plus sa puissance de court circuit est faible, donc son impédance interne élevée. Cela signifie pour un moteur d'une puissance donnée, que la chute de tension due au courant de démarrage sera d'autant plus importante que son alimentation se fera par un réseau de tension faible. Ces

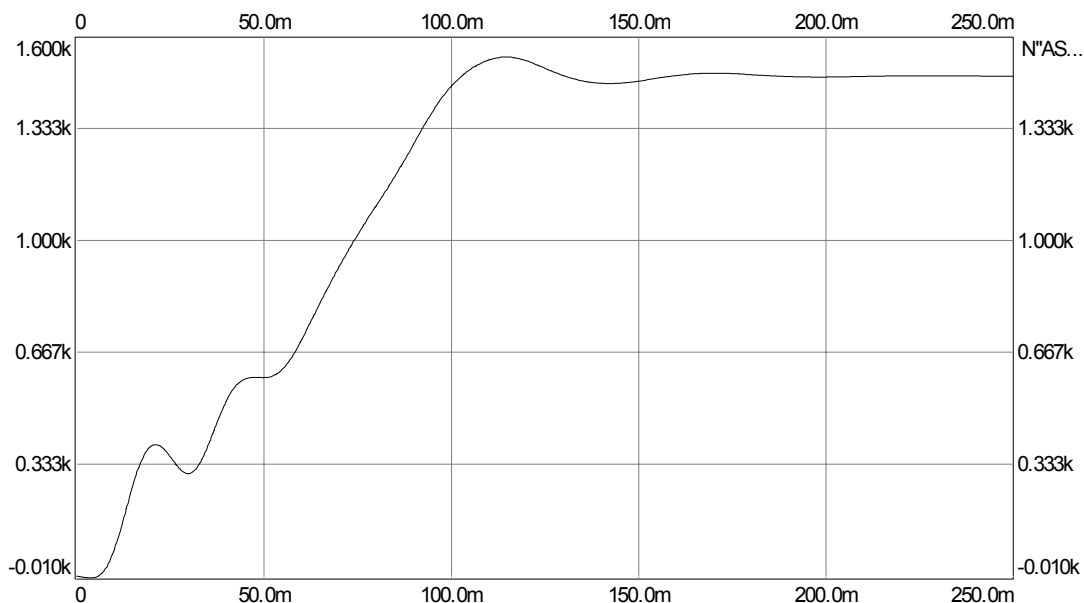


chutes de tension peuvent devenir insupportables pour le réseau comme pour le couple moteur (voir graphe ci-dessus pour une chute de tension de 20% moteur à cage simple). Lorsque le couple de démarrage est le critère le plus important, il faudra veiller à limiter la chute de tension pendant la phase de démarrage à 3% max. Ceci correspond à une diminution du couple de 6 à 8%. Il est souvent intéressant pour des moteurs de forte puissance d'opter pour des tensions d'alimentation plus élevées.

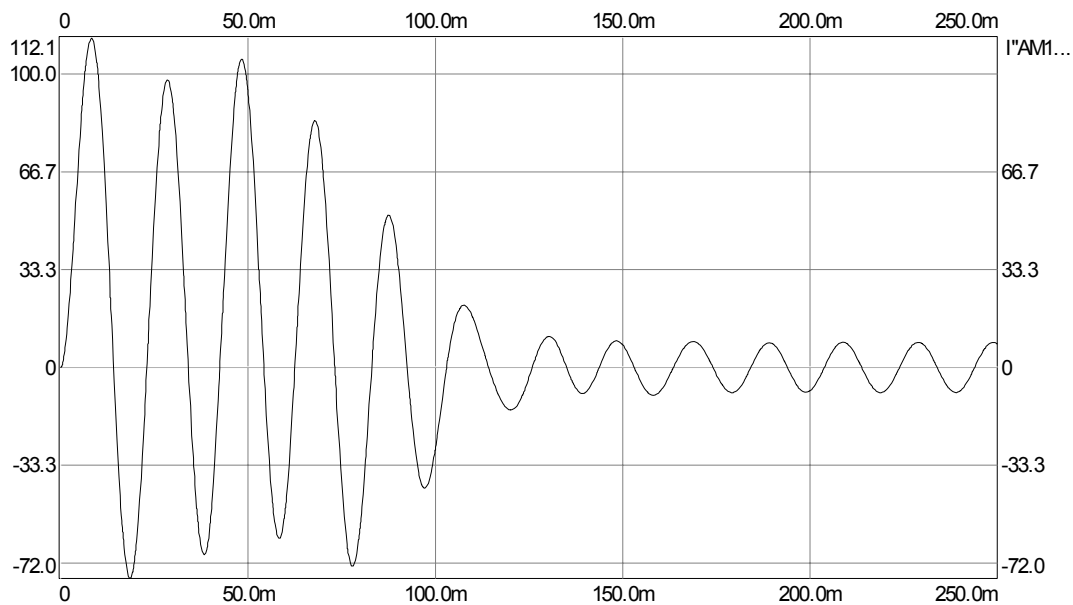
b. Caractéristiques en régime dynamique

La caractéristique couple/vitesse en régime établi ne permet pas de voir l'évolution des grandeurs pendant la phase de démarrage. Cette phase transitoire fait apparaître une caractéristique couple/vitesse quelque peu différente.





On retrouve ces ondulations de couple sur le relevé de l'évolution de la vitesse en fonction du temps (graphe ci-dessus). Sur le graphe ci-dessous voici le relevé de l'évolution du courant en fonction du temps. On y relève quelques valeurs : le courant de démarrage $I_d = 65A$ et le courant d'emploi $I_e = 7A$ pour un courant nominal indiqué sur la plaque signalétique de la machine de $I_n = 11 A$.



2. Limitation du courant de démarrage

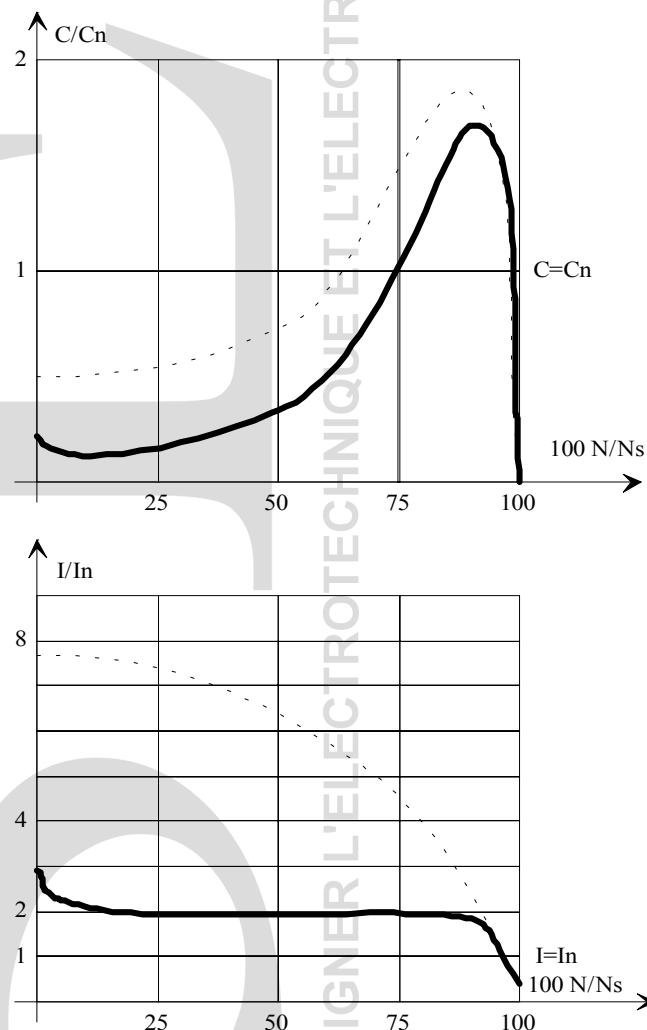
Pour les **moteurs à cage** la solution la plus couramment employée consiste à sous alimenter la machine pendant la phase de démarrage. Il faut cependant que la charge mécanique permette cette

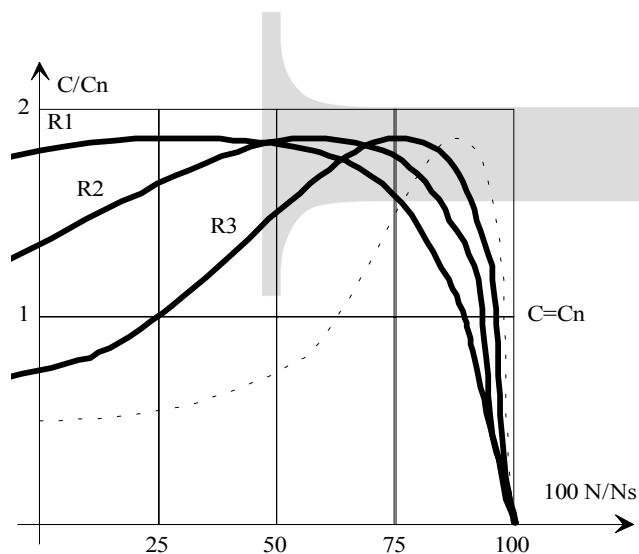
sous alimentation car diminuer la tension dans un rapport $1/n$ entraîne une diminution du couple dans un rapport $1/n^2$. Les solutions techniques sont les suivantes :

- **Démarrage étoile - triangle** : il nécessite la sortie des 6 bornes moteur et n'est envisageable que pour des petites puissances à cause de la brutalité des régimes transitoires lors des changements de couplage. C'est un procédé extrêmement simple et peu coûteux. Le couplage nominal de la machine doit être "triangle".
- **Insertion de résistances ou inductances statoriques** : cette méthode permet d'avoir plusieurs crans de démarrage. Les résistances sont de type métallique ou électrolytique à variation continue. Cette solution est de plus en plus abandonnée au profit de solutions électroniques d'un coût voisin, d'un volume moindre et d'un rendement bien meilleur.
- **Démarrage par autotransformateur** à une ou plusieurs prises : il permet l'obtention d'un couple moteur plus élevé qu'avec une inductance statorique. Cette solution est également abandonnée au profit de solutions électroniques d'un coût inférieur.

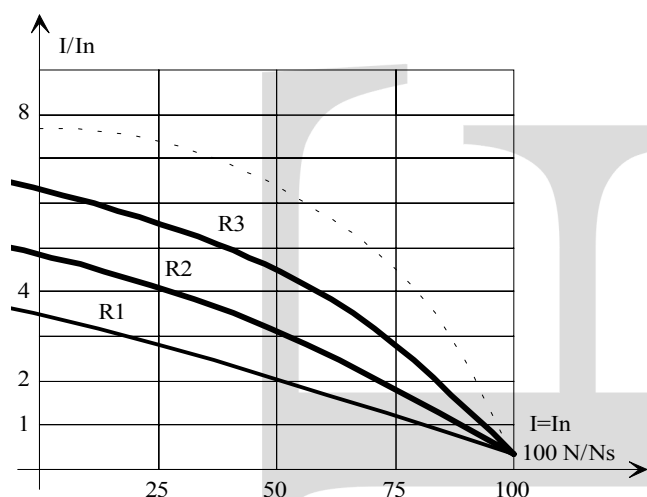
- **Démarrage par gradateur de tension** : il offre les mêmes performances que la solution précédente pour un coût et un encombrement moindre. Le couple résistant de la charge entraînée doit permettre un démarrage ; il sera donc nécessairement quadratique ($C_r = k\Omega^2$ ventilation pompe...). Des fonctionnalités supplémentaires peuvent lui être adjointes (démarrage à courant constant, dégomme de pompe, rampes d'accélération et de décélération...). Courbes sur le graphe ci-contre.

- **Utilisation d'un onduleur de tension** : Quoique plus souvent utilisé pour faire de la variation de vitesse, l'onduleur de tension peut permettre de faire un démarrage souple avec limitation du courant dans les situations où aucune baisse du couple n'est possible.





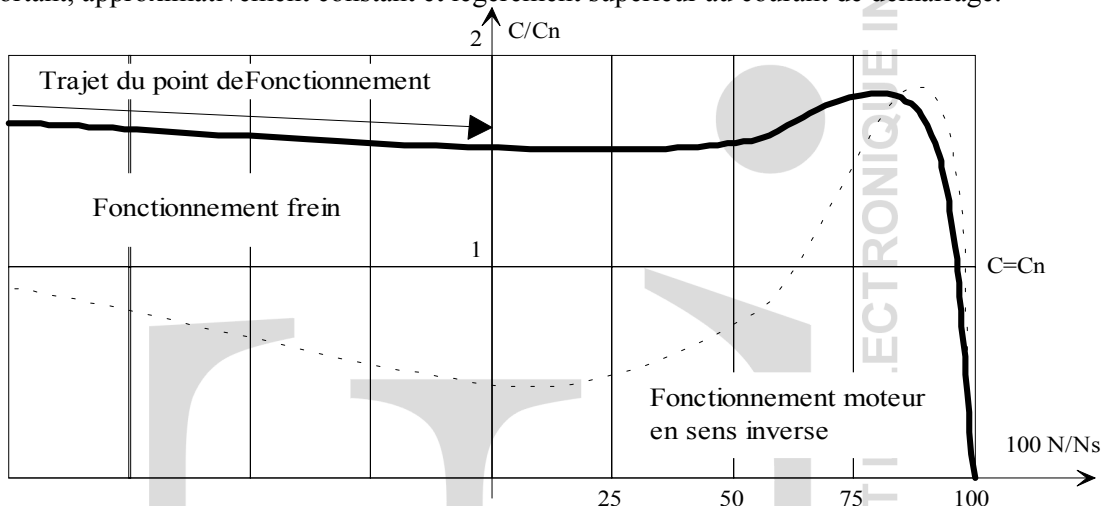
Pour les **moteurs à rotor bobiné**, on a la possibilité d'insérer, lors d'un démarrage, des résistances dans le circuit rotorique. Cette solution permet à la fois de diminuer le courant de démarrage et d'augmenter le couple moteur. Les résistances sont de type métallique ou électrolytique à variation continue. Dans ce cas, des solutions électroniques (gradateur rotorique) sont disponibles. Courbes sur le graphe ci-contre.



3. Freinage des machines asynchrones

a. Freinage par contre courant

Ce mode de freinage est obtenu par inversion de deux phases. Au moment de l'inversion, le glissement vaut presque 2, il se réduit ensuite rapidement sous l'effet du couple inverse par rapport au sens de rotation. Généralement, un dispositif électrique de coupure déconnecte le moteur du réseau au moment du passage à la vitesse nulle ($g=1$). Le couple de freinage moyen est, en général, supérieur au couple de démarrage pour des moteurs asynchrones à cage. La variation du couple de freinage dépend fortement de la conception de la cage rotorique. Ce mode de freinage implique un courant absorbé important, approximativement constant et légèrement supérieur au courant de démarrage.



Les sollicitations thermiques, pendant le freinage, sont 3 fois plus importantes que pour une mise en vitesse. Le nombre approximatif de freinage par heure permis par cette méthode peut être évalué comme suit :

$$N_f = \frac{3600 \left[1 - \left(\frac{P_u}{P_n} \right)^2 \right]}{t_f \left[4 \left(\frac{I_d}{I_u} \right)^2 - \left(\frac{P_u}{P_n} \right)^2 \right]}$$

Ou

N_f : nombre de freinages permis par heure

P_u : puissance utile du moteur

P_n : puissance nominale du moteur

t_f : temps de freinage (s)

I_d/I_u : courant de démarrage/courant utile de fonctionnement

Le temps de freinage approximatif peut être calculé au moyen de la formule suivante :

$$t_f = \frac{K_1 (J_m + J_{ch})}{0,45 (C_{\max} + C_d)}$$

Ou

t_f : temps de freinage (s)

K_1 : constante dépendant du nombre de pôles du moteur

Fréquence	Constante K_1 pour différentes polarités				
	2 Pôles	4 Pôles	6 Pôles	8 Pôles	10 Pôles
50 Hz	345	157	104	78	62
60 Hz	415	188	125	94	75

J_m : moment d'inertie du moteur (kg.m^2)

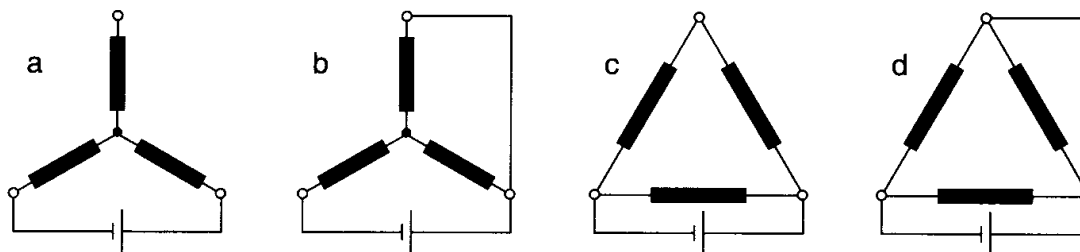
J_{ch} : moment d'inertie de la machine entraînée ramené à la vitesse du moteur (kg.m^2)

C_{max} : couple maxi du moteur (Nm)

C_d : couple de démarrage du moteur (Nm)

b. Freinage par injection de courant continu

Dans ce mode de freinage, le moteur asynchrone est couplé au réseau et le freinage est obtenu par coupure de la tension alternative et application d'une tension continue au stator. Quatre couplages des enroulements sur la tension continue peuvent être réalisés.



▲ Couplage des enroulements du moteur sur la tension continue

La tension continue d'alimentation statorique est généralement fournie par une cellule de redresseur branchée sur le réseau. Les sollicitations thermiques sont approximativement 3 fois moins élevées que pour le mode de freinage par contre-courant. L'allure du couple de freinage dans l'intervalle de vitesse (0, N_s) est similaire à celle de la courbe $C_e = f(n)$ et s'obtient par changement de variable d'abscisse en $N_f = N_s - N$. Le courant de freinage s'obtient par la formule :

$$I_f = K1_i \times I_d \times \sqrt{\frac{C_f - C_{fe}}{k_2 \times C_d}}$$

Les valeurs de $k1$ suivant les 4 couplages sont : $k1_a = 1.225$, $k1_b = 1.41$, $k1_c = 2.12$ et $k1_d = 2.45$
Quant au couple de freinage il est donné par :

$$C_f = \frac{\pi \cdot J \cdot n}{30 \cdot T_f}$$

formules dans laquelle :

I_f (en A) = courant continu de freinage

I_d (en A) = courant de démarrage dans la phase

C_f (en N-m) = couple de freinage moyen dans l'intervalle (N_s , N)

C_{fe} (en N-m) = couple de freinage extérieur

C_d (en N-m) = couple de démarrage

J (en kg.m^2) = moment d'inertie total ramené sur l'arbre moteur

n (en min^{-1}) = vitesse de rotation de l'arbre moteur

T_f (en s) = temps de freinage

$k1_i$ = coefficients numériques relatifs aux couplages a. b. c. et d. de la figure

k_2 = coefficients numériques tenant compte du couple de freinage moyen ($k_2 = 1.7$)

La tension continue à appliquer aux enroulements est donnée par :

$$U_f = k3_i \cdot k4 \cdot I_f \cdot R_1$$

formules dans laquelle :

Les valeurs de $k3$ pour les 4 schémas sont : $k3_a = 2$, $k3_b = 1.5$, $k3_c = 0.66$ et $k3_d = 0.5$

U_f (en V) = tension continue de freinage

I_f (en A) = courant continu de freinage

R_1 (en Ω) = résistance par phase statorique à 20° C

$k3_i$ = coefficients numériques relatifs aux schémas a, b, c et d

$k4$ = coefficient numérique tenant compte de l'échauffement du moteur ($k4 = 1.3$)

c. Freinage en génératrice asynchrone

Ce mode de freinage s'applique aux moteurs multi-vitesses lors du passage à la vitesse inférieure ou aux moteurs alimentés en fréquence variable lorsque celle-ci descend. Il est impossible d'obtenir l'arrêt complet du moteur par ce procédé. Les sollicitations thermiques sont approximativement identiques à celles qui sont obtenues par le démarrage à la vitesse inférieure dans le cas des moteurs à couplage Dahlander (rapport des vitesses 1 : 2). Le couple de freinage développé par la machine asynchrone, de vitesse inférieure, fonctionnant en génératrice asynchrone dans l'intervalle de vitesse ($2N_s$, N_s) est très important. Le couple maximal de freinage est sensiblement supérieur au couple de démarrage du moteur de vitesse inférieure.

d. Freinage mécanique

Des freins électro-magnétiques (excitation en courant continu ou en courant alternatif) peuvent être montés à l'arrière des moteurs. Ils peuvent venir en complément d'un freinage électrique pour l'arrêt complet du moteur et son maintien en position sans alimentation. Ces freins sont toujours à manque de courant c'est à dire que le freinage se fait en l'absence d'alimentation du frein.

Le dimensionnement et le choix de ce frein se font de la manière suivante :

La loi de la dynamique permet de déterminer le couple de freinage nécessaire pour immobiliser la charge en un temps donné par la norme ou le cahier des charges.

$$-C_f + /- C_r = J_T \frac{d\Omega}{dt}$$

Attention C_r le couple résistant de la machine entraînée peut être un couple de freinage (signe -) ou un couple d'accélération, dans le cas de charge entraînée (signe +). La détermination de C_f permet de choisir le frein.

Caractéristiques techniques

	Couple de freinage	Vitesse maxi 1)	Puissance électrique	Moment d'inertie du rotor et moyeu avec alésage d_{maxi}	Masse								
Taille	M mN	n tr/min	P ₂₀ W	I 10 ⁻⁴ kgm ²	kg	A	a	B	b	C	C ₁	C ₂	c
3	3	6000	18	0,077	0,6	64	0,2	77	22	36	58	29	8
4	6	5000	28	0,23	0,95	64	0,2	77	26	36	58	29	8
5	12	4800	35	0,68	1,8	64	0,2	77	35	36	58	29	9
6	26	4000	54	1,99	3,1	64	0,2	77	40	36	58	29	10,5
7	50	3800	71	4,02	5,4	77	0,2	90	48	37	63	43,5	16,5
8	100	3400	80	13,2	9,4	77	0,2	90	68	37	63	43,5	18
9	200	3000	110	24,2	15,5	77	0,2	90	75	37	63	43,5	18
10	400	3000	150	56,4	30	77	0,3	90	90	37	63	43,5	25
11	800	3000	210	242	55	77	0,5	90	120	37	63	43,5	30

Il existe deux types de freins : les freins de positionnement et les freins de secours qui se distinguent par le travail de friction admissible (ou énergie de friction). Cette énergie dissipée dans les garnitures de frein par échauffement vaut :

$$W_f = \frac{1}{2} \cdot J_T \cdot \Omega^2 \cdot \frac{C_{frein}}{C_{frein} + / - C_r}$$

Avec C_r positif si la charge aide le freinage et C_r négatif si la charge s'oppose au freinage (charge entraînée). W_f devra être inférieure à W_z pour des freinages répétitifs ou à W_{ze} et W_{zs} pour des freinages exceptionnels.

Taille	Valeurs de charge								Valeurs d'usure				
	Frein de positionnement Frein pour générateur tachymétrique				Frein de secours				Frein de positionnement Frein de secours			Frein pour générateur tachymétr.	
	W_z	W_{ze}	W_G	P_z	W_z	W_{zs}	W_{Gs}	P_z	$W_{0,1}$	V_N	V_g	$W_{0,1}$	V_g
	Travail de friction admis à chaque freinage en service répétitif J/frein	Travail de friction admis pour freinage isolé J/frein	Valeur limite du travail de friction J	Puissance de friction admise W	Travail de friction admis à chaque freinage en service répétitif J/frein	Travail de friction admis pour chaque freinage avec pointe de charge J/frein	Valeur limite du travail de friction du frein de secours J	Puissance de friction admise W	Travail de friction pour 0,1 mm d'usure. Données $\times 10^6$ J/0,1 d'usure	Multi-plicateur pour entrefer maxi	Multi-plicateur pour usure totale I	Travail de friction pur 0,1 mm d'usure. Données $\times 10^6$ J/0,1 d'usure	Multi-plicateur pour usure totale
2	100	200	600	25	—	—	—	—	6,0	—	3	—	—
3	250	500	1 500	50	—	—	—	—	7,0	2,5	15	7,0	2,5
4	500	900	2 700	70	—	—	—	—	11,0	3,5	16,5	11,0	3,5
5	1 000	1 800	5 400	105	—	—	—	—	17,9	4,5	18	17,9	4,5
6	2 000	3 500	10 500	155	—	—	—	—	29,4	5,5	19,5	29,4	5,5
7	2 800	5 000	15 000	250	2 800	11 000	22 000	250	33,3	6	21	33,3	6
8	5 300	10 000	30 000	300	5 300	20 000	40 000	300	46,6	6,5	22,5	46,6	6,5
9	8 000	20 000	60 000	370	8 000	40 000	80 000	370	57,5	9	30	57,5	9
10	13 800	30 000	90 000	450	13 800	60 000	120 000	450	76,9	12	36	76,9	12
11	27 700	50 000	150 000	900	27 700	100 000	200 000	900	111	13	39	111	13

On pourra déterminer le nombre de freinages jusqu'à usure de 0,1 mm

$$N_{\text{brefr}0,1} = \frac{W_{0,1}}{W_f}$$

On pourra également déterminer le nombre de freinages jusqu'au réglage de l'entrefer

$$N_{\text{brefr}N} = N_{\text{brefr}0,1} \cdot V_N$$

Et enfin le nombre de freinages jusqu'à usure totale

$$N_{\text{brefr}g} = N_{\text{brefr}0,1} \cdot V_g$$

Temps de réponse :

Les temps de réponse des freins dépendent également des influences extérieures. La température, les types de pare-étincelles, ainsi que l'entrefer entre le disque et l'électroaimant, suivant l'état d'usure du frein, déterminent le temps de réponse. Les temps indiqués au tableau sont des valeurs déterminées par de nombreux essais. Les valeurs réelles seront légèrement modifiées vers le haut ou vers le bas, suivant le procédé de montage. Par des moyens électriques et mécaniques, il est possible de réduire notablement les temps de freinage.

Temps de réponse

Taille	Commande côté courant continu				Commande côté courant alternat.	
	Frein avec disque standard		Frein avec disque à commande rapide		Frein avec disque standard	
	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]
2	20	13	—	—	20	80
3	25	15	30	10	25	90
4	30	20	35	15	30	150
5	40	35	50	20	40	200
6	60	60	70	25	60	500
7	80	100	85	50	80	700
8	100	200	110	80	100	1000
9	150	250	170	120	150	1300
10	200	400	230	250	200	3000
11	300	500	350	350	300	3100

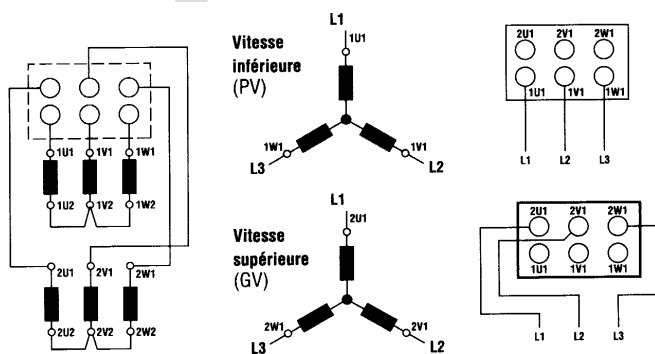
t₁ = durée d'appel du disque (temps écoulé de la mise sous tension jusqu'à chute du couple à 10% de M_{nom})

t₂ = durée d'établissement du couple (temps écoulé de la coupure du courant jusqu'à montée du couple à 90% du couple de freinage nominal)

4. Machines asynchrones à plusieurs vitesses

Il est possible d'obtenir un nombre discret de vitesses en utilisant deux enroulements statoriques ou en modifiant le nombre de pôles apparent du stator.

■ Double enroulements statoriques séparés



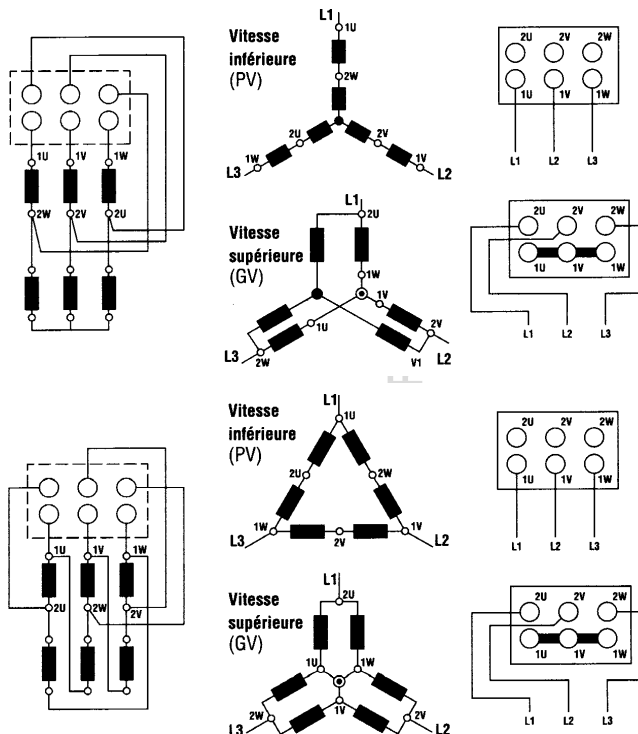
Lorsque l'on souhaite obtenir deux vitesses qui ne sont pas dans un rapport de 2 à 1, on munit le stator de deux enroulements (toujours montés en étoile pour éviter les courants induits) que l'on alimente séparément. Il serait théoriquement possible d'envisager plus de deux enroulements séparés mais pratiquement cela induirait une augmentation des dimensions externes de la machine ainsi qu'une dégradation trop

importante des performances (augmentation de l'inductance de fuite au niveau des encoches).

■ Couplage de pôles système Lindström/Dahlander

Il est possible d'obtenir des moteurs à deux vitesses dans un rapport $\frac{1}{2}$ avec un enroulement statorique constitué de 3 x 2 demi-enroulements qui par couplage feront apparaître un nombre de paires de pôles simples ou doubles. Un certain nombre de solutions est alors envisageable :

- Montage à couple quadratique : Lorsque le couple résistant varie en fonction du carré de la vitesse les enroulements sont connectés en étoiles indépendantes pour la grande vitesse YY et en étoile série pour la petite vitesse Y. Dans les catalogues le symbole est YY/Y.
- Montage à couple constant : Lorsque le couple résistant est à peu près le même aux deux vitesses, les enroulements sont connectés en étoile parallèle pour la grande vitesse YY et en triangle série pour la petite vitesse D. Dans les catalogues le symbole est YY/D.



■ Couplage de pôles système PAM (Pole-Amplitude-Modulation)

Avec ce système il est possible d'obtenir des moteurs à deux vitesses qui ne sont pas nécessairement dans un rapport 1/2. Les couplages externes sont les mêmes que pour le système Lindström/Dahlander.

■ Mixage des techniques

En plaçant dans un stator deux enroulements à changement de pôles on peut avoir jusqu'à 4 vitesses pour un même moteur. C'est le maximum réalisable pratiquement.

III. Méthode et guide de sélection d'une machine asynchrone

(Ce guide doit vous aider dans le choix d'une machine asynchrone)

Le choix d'un moteur asynchrone seul doit permettre l'entraînement de la machine accouplée avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir :

- Le nombre de quadrants de fonctionnement
- Le couple sur toute la plage de vitesse : caractéristique $C_r = f(\Omega)$
- La vitesse désirée
- L'accélération et la décélération souhaitées

Et le respect des normes pour le réseau d'alimentation énergétique :

- La puissance de démarrage disponible
- La consommation d'énergie réactive
- Le taux d'harmoniques imposé au réseau
- La compatibilité électromagnétique

1. Il faut donc déterminer la **puissance** nécessaire à notre application au point de fonctionnement

$$P_u = C_e \cdot \Omega = C_r \cdot \Omega$$

(La Caractéristique couple/vitesse de la machine entraînée doit être connue tout comme la vitesse désirée)

2. Il faut également déterminer le **couple** nécessaire à notre application pour **les accélérations et décélérations** :

$$C_e - C_r = J_T \frac{d\Omega}{dt}$$

(Les accélérations et décélérations souhaitées doivent être connues. L'inertie de la machine entraînée doit être connue et celle du moteur doit être estimée.)

La mise en vitesse de l'ensemble moteur + charge se fera en un temps que l'on peut calculer par la formule simplifiée suivante :

$$t_d = \frac{\pi}{30} \frac{n_f \cdot J_T}{C_a}$$

ou

t_d : temps de démarrage (s)

n_f : vitesse finale (tr/min)

J_T : inertie totale ramenée sur l'arbre moteur

C_a : couple accélérateur moyen c'est le couple moyen développé par le moteur durant la phase de démarrage diminué du couple résistant moyen pendant la même période (C_r).

$$C_a = \frac{1}{n_f} \int_0^{n_f} (C_e(n) - C_r(n)) dn$$

qui peut se simplifier pour une estimation en :

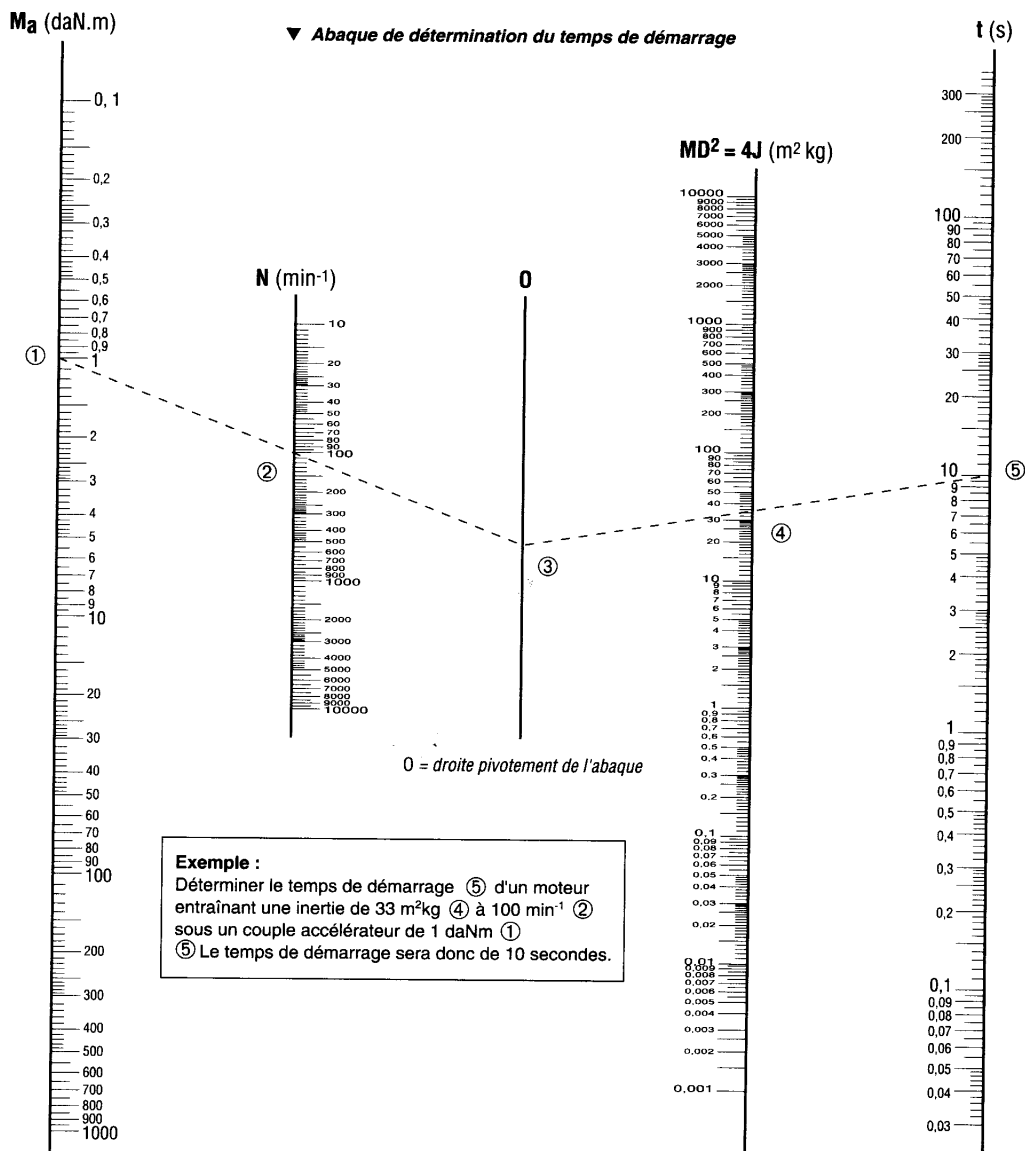
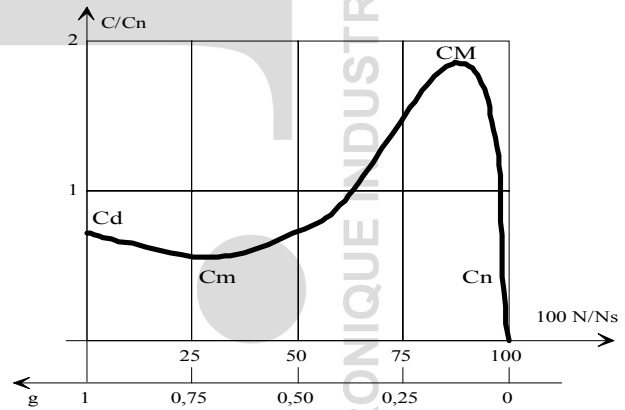
$$C_a = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} - C_r$$

C_d : couple de démarrage

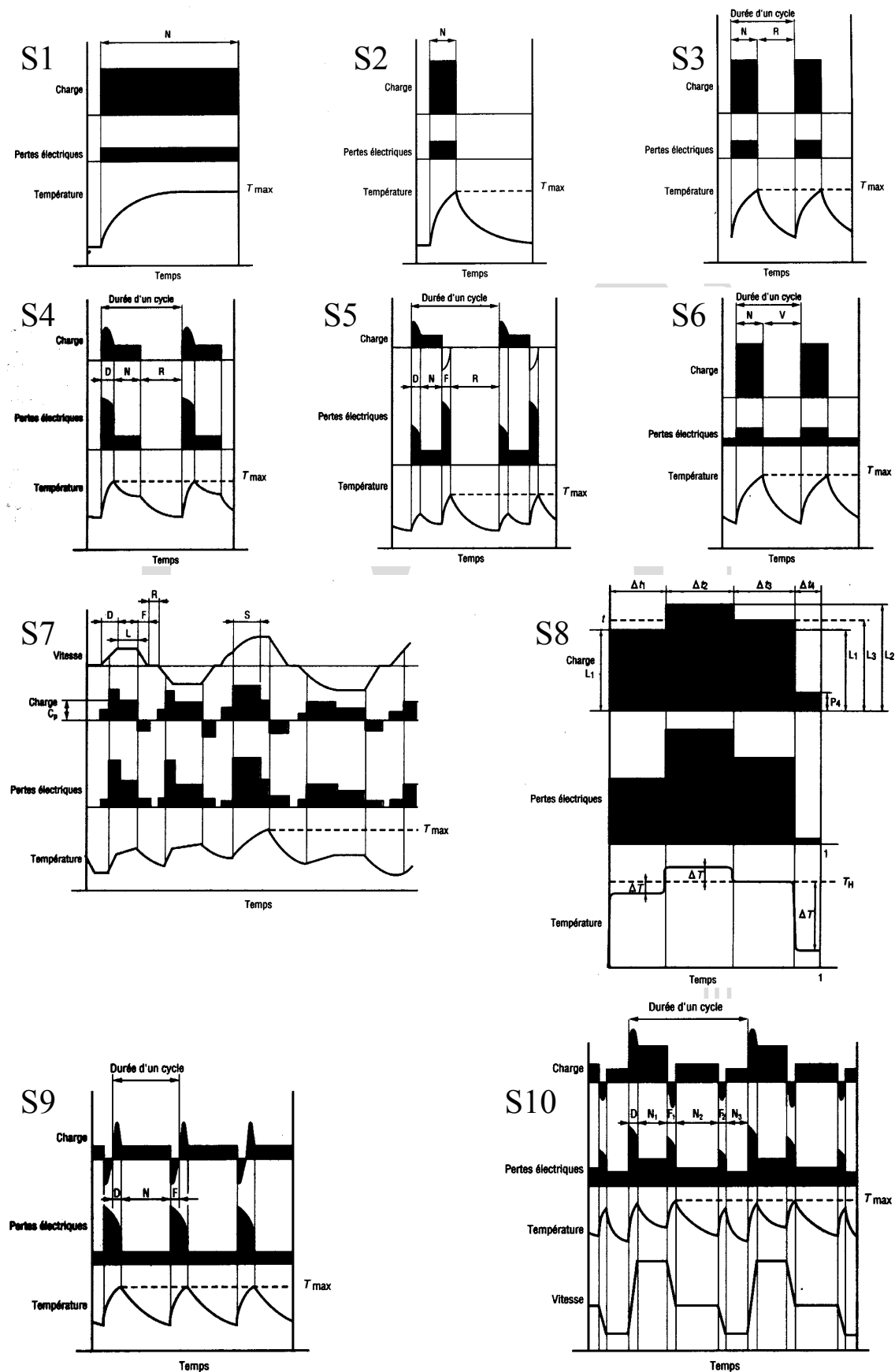
C_m : couple d'accrochage

C_M : couple maximal ou de décrochage

C_n : couple nominal



3. Il faut ensuite définir le **type de service** pour le moteur :



- a) **Service continu - Service type S1** : Fonctionnement à charge constante nominale d'une durée suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint. Fdm (facteur de marche) = 1 et n (nombre de démarrages équivalent par heure) ≤ 6 .
- b) **Service temporaire - Service type S2** : Fonctionnement à charge constante nominale pendant un temps déterminé N, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un repos d'une durée suffisante pour rétablir à 2° C près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement. Fdm selon cahier des charges et n = 1.
- c) **Service Intermittent périodique - Service type S3** : Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale N et une période de repos R. Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative. Fdm = $N/N+R$ et n = 0.
- d) **Service intermittent périodique à démarrage - Service type S4** : Suite de cycles de service identiques comprenant une période appréciable de démarrage D, une période de fonctionnement à charge constante nominale N et une période de repos R. Fdm = $N+D/N+D+R$ et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule.
- e) **Service intermittent périodique à freinage électrique - Service type S5** : Suite de cycles de service périodiques comprenant chacun une période de démarrage D, une période de fonctionnement à charge constante nominale N, une période de freinage électrique rapide F et une période de repos R. Fdm = $N+D+F/N+D+F+R$ et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule.
- f) **Service ininterrompu périodique à charge intermittente - Service type S6** : Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale N et une période de fonctionnement à vide V. Il n'existe pas de période de repos. Fdm = $N/N+V$ et n = 0. Calcul de P pour régime intermittent.
- g) **Service ininterrompu périodique à freinage électrique - Service type S7** : Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de démarrage D, une période de fonctionnement à charge constante L et une période de freinage électrique F. Il n'existe pas de période de repos. Fdm = 1 et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule.
- h) **Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et vitesse - Service type S8** : Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante L1 correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'une ou plusieurs périodes de fonctionnement à d'autres charges constantes L2 L3 correspondant à différentes vitesses de rotation. Il n'existe pas de période de repos. Fdm = 1 et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule. Calcul de P pour régime intermittent.
- i) **Service à variations non périodiques de charge et de vitesse - Service type S9** : Service dans lequel la charge et la vitesse ont une variation non périodique dans la plage de fonctionnement admissible. Ce service inclut fréquemment des surcharges appliquées qui peuvent être largement supérieures à la pleine charge. Pour ce service type, des valeurs appropriées à pleine charge devront être considérées comme bases du concept de surcharge. Fdm = 1 et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule. Calcul de P pour régime intermittent.
- j) **Service à régimes constants distincts - Service type S10** : Service comprenant au plus quatre valeurs distinctes de charges (ou charges équivalentes), chaque valeur étant appliquée pendant une

durée suffisante pour que la machine atteigne l'équilibre thermique. La charge minimale pendant un cycle de charge peut avoir la valeur zéro (fonctionnement à vide ou temps de repos). $F_{dm} = 1$ et $n = 0$. Calcul de P pour régime intermittent.

Détermination de la puissance apparente en fonction des services S2 à S10:

$$P_a = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left[\frac{I_d}{I_n} \times P_n \right]^2 + (3600 - n \times t_d) P_u^2 \times F_{dm}}{3600}}$$

Dans laquelle :

t_d : temps de démarrage avec un moteur de puissance P_n (s)

n : nombre de démarrages équivalent par heure $n = n_D + 3.n_F + 0,5.n_i$

n_D : nombre de démarrages dans l'heure

n_F : nombre de freinages électriques dans l'heure

n_i : nombre d'impulsion (démarrage incomplet jusqu'à 1/3 de la vitesse finale) dans l'heure

F_{dm} : facteur de marche (%) = durée de fonctionnement à P_u / durée totale du cycle

I_d/I_n : appel de courant avec un moteur de puissance P_n

P_u : puissance utile du moteur pendant le cycle d'utilisation hors démarrage

P_n : puissance nominale du moteur pressenti

Pour les régimes à charges intermittentes :

$$P_u = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

- Les P_i inférieures à $\frac{P_n}{2}$ (puissance nominale moteur) seront remplacées par $\frac{P_n}{2}$
- Aucun des P_i ne dépassera $2 \times P$
- Le temps de démarrage réel ne dépasse pas 5 s
- Le couple accélérateur reste toujours suffisant sur la période de démarrage

4. Il est possible de sélectionner un moteur en fonction de la **puissance** et de la **vitesse** désirée.

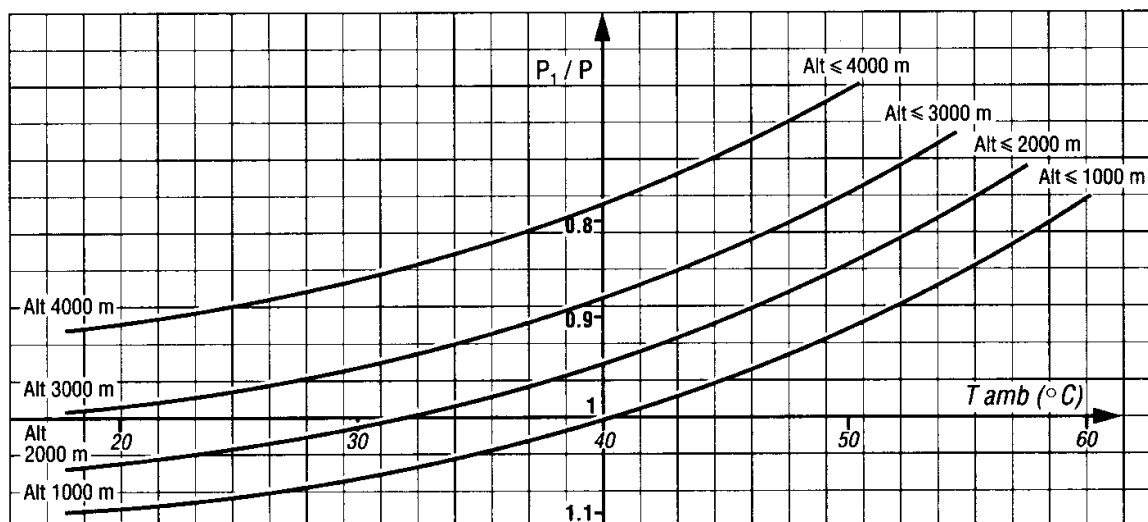
Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales suivantes (norme CEI 34-1)

- Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- Altitude inférieure à 1000 m,
- Pression atmosphérique : 1050 m bar,
- Mode de refroidissement IC 411,
- Taux harmonique < 10%,
- Déséquilibre de tension < 2%,
- Tension d'alimentation de 230 V / 400 V 50 Hz +/- 10%,
- Chute de tension maximale entre le point de livraison et le point d'utilisation < 4%,
- Classe d'isolation F,
- Degrés de protection IP 55.

Pour des conditions d'emploi différentes, on appliquera le(s) coefficient(s) de correction de la puissance avant de prédéterminer notre moteur.

5. Prise en compte d'une température ou/et d'une altitude différente.

▼ **Table des coefficients de correction.**



6. Prise en compte d'un mode de refroidissement différent.

La Publication IEC 34-6 fait état des modes de refroidissement des machines tournantes. Pour la désignation de ces modes, on a recours à deux codes de symbolisation, l'un simplifié, pour les types de machines les plus courantes refroidies à l'air, l'autre complet, pour des types de machines présentant des systèmes plus complexes de refroidissement. Le mode de refroidissement est symbolisé par les lettres IC (International Cooling) suivies, dans le cas du code simplifié, d'un groupe de deux ou trois chiffres ou, dans le cas d'un système complet, d'un groupe d'une lettre et de deux lettres et chiffres significatifs pour chaque circuit de refroidissement.

code simplifié **IC 411** ou système complet **IC 4 A 1 A 1**

Disposition du circuit		Fluide de refroidissement		Mode de circulation	
0	Libre circulation	A	Air	0	Convection
1	Canalisation d'aspiration	F	Fréon	1	Autocirculation
2	Canalisation de refoulement	H	Hydrogène	2	Réservé
3	2 canalisations ci-dessus	N	Azote	3	Réservé
4	Refroidie par la surface	C	Dioxyde de carbone	4	Réservé
5	Echangeur incorporé à air	W	Eau	5	Circulation forcée intégrée
6	Echangeur ajouté à air	U	Huile	6	Circulation forcée ajoutée
7	Echangeur incorporé	S	Autre fluide (à préciser)	7	Circulation indépendante
8	Echangeur ajouté	Y	Fluide non choisi ...	8	Déplacement relatif
9	Echangeur séparé			9	

Quelques exemples du code simplifié :

- Le premier chiffre indique la disposition du circuit de refroidissement.
- Le deuxième chiffre indique la manière dont est fournie la puissance nécessaire à la circulation de l'air.

Code	Description sommaire
IC 01	Machine ouverte auto refroidie Ventilateur monté sur l'arbre.
IC 06	Machine ouverte avec ventilation indépendante montée sur la machine.
IC 11	Machine auto-ventilée. L'air de refroidissement est canalisé à l'entrée. Le ventilateur est monté sur l'arbre.
IC 17	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée. L'air est fourni et sa circulation est assurée par un réseau de distribution indépendant.
IC 21	Machine auto-ventilée. L'air de refroidissement est canalisé à la sortie. Le ventilateur est monté sur l'arbre.
IC 27	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à la sortie, un dispositif d'aspiration indépendant fait circuler l'air.
IC 31	Machine auto-ventilée dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée et à la sortie.
IC 37	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée et à la sortie. Un réseau de distribution indépendant fournit l'air et le fait circuler.
IC 41	Moteur fermé à carcasse ventilée. Ventilateur externe monté sur l'arbre.
IC 51	Moteur fermé carcasse à tubes avec deux ventilateurs externe et interne.

Quelques exemples du système complet décrivant deux circuits de refroidissement

- Le premier chiffre indique la disposition du circuit de refroidissement.
- La première lettre indique la nature du fluide primaire
- Le deuxième chiffre indique le circuit de refroidissement primaire dans la machine
- La deuxième lettre indique la nature du fluide secondaire
- Le troisième chiffre indique le circuit de refroidissement secondaire, externe, qui est à la température la plus basse dans l'échangeur thermique.

L'air et l'eau, les fluides de refroidissement les plus usuels, sont symbolisés respectivement par les lettres A et W. La lettre A est supprimée lorsque l'air est le seul fluide de refroidissement employé.

IC 4 A 1 A 0 Ou IC 410	Machine fermée refroidie par sa surface. Pas de ventilateur externe. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC 4 A 1 A 1 Ou IC 411	Machine fermée à carcasse ventilée. La ventilation externe est propre à la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC 5 A 1 A 1 Ou IC 511	Machine fermée avec échangeur de chaleur incorporé (ex : carcasse à tubes) refroidi par air ambiant. Deux ventilateurs propres à la machine, l'un extérieur, l'autre intérieur, font circuler respectivement l'air ambiant de refroidissement et l'air chaud interne à travers l'échangeur.
IC 4 A 1 A 6 Ou IC 416	Machine fermée à carcasse ventilée au moyen d'un système de ventilation indépendant monté sur la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC 3 A 1 W 7	Machine refroidie par air, avec hydroréfrigérant incorporé. La circulation de l'air chaud interne à travers l'échangeur est obtenue par une ventilation propre à la machine, celle de l'eau par pompe ou par distribution.

Les machines asynchrones sont caractérisées pour le mode IC 41 ou IC 411. Pour les configurations autres que IC 411 se reporter au guide de choix correspondant.

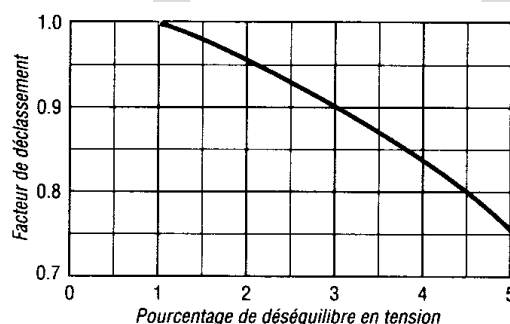
7. Prise en compte d'un déséquilibre de tension (amplitudes seules).

L'incidence sur le moteur d'un déséquilibre d'alimentation peut se résumer par le tableau ci-dessous. Le calcul du déséquilibre se fait en considérant l'écart entre la tension la plus élevée et la tension la plus faible ramenée à la valeur moyenne des trois tensions.

$$\text{Déséquilibre}(\%) = 100 \times \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}}$$

	Valeur du déséquilibre en %			
	0	2	3,5	5
Courant stator	100	101	104	107,5
Accroissement des pertes %	0	4	12,5	24
Echauffement	1	1,05	1,14	1,28

Lorsque ce déséquilibre est connu ou prévisible il est conseillé d'appliquer un facteur de déclassement conforme au graphique ci-dessous.



8. Choisir la protection du moteur en fonction des conditions d'environnement.

Les constructeurs proposent en réalisation standard leurs machines avec des protections de type IP55X. Des réalisations en IP 23X sont aussi aux catalogues des constructeurs ce qui permet une économie d'environ 15% à 20% sur certains moteurs.

9. Mode de fixation, position de fonctionnement et accouplement mécanique.

Le moteur doit pouvoir être fixé et accouplé à la machine à entraîner. Il sera donc nécessaire de préciser le mode de fixation (pattes, bride ou pattes et bride), la position de fonctionnement, l'emplacement de la ventilation, l'emplacement de la boîte à bornes et le type d'accouplement avec la charge (afin d'évaluer les efforts sur les roulements et de pouvoir les choisir en conséquence). Des options sont disponibles : filtre de ventilation, dynamo tachymétrique, frein mécanique ...

La désignation du mode de fixation et de position est la suivante : (cas les plus fréquents ci-dessous)

IM	1	00	1
International Mounting	Mode de fixation	Position de fonctionnement	Type de Bout d'arbre

MODES DE FIXATION ET POSITIONS (selon Norme CEI 34-7)

Moteurs à pattes de fixation

- toutes hauteurs d'axes

IM 1001 (IM B3)
 - Arbre horizontal
 - Pattes au sol



IM 1071 (IM B8)
 - Arbre horizontal
 - Pattes en haut



IM 1051 (IM B6)
 - Arbre horizontal
 - Pattes au mur à gauche
 vue du bout d'arbre



IM 1011 (IM V5)
 - Arbre vertical vers le bas
 - Pattes au mur



IM 1061 (IM B7)
 - Arbre horizontal
 - Pattes au mur à droite
 vue du bout d'arbre



IM 1031 (IM V6)
 - Arbre vertical vers le haut
 - Pattes au mur



Moteurs à bride (FF) de fixation à trous lisses

- toutes hauteurs d'axes
 (excepté IM 3001 limité à hauteur d'axe 225)

IM 3001 (IM B5)
 - Arbre horizontal



IM 2001 (IM B35)
 - Arbre horizontal
 - Pattes au sol



IM 3011 (IM V1)
 - Arbre vertical en bas



IM 2011 (IM V15)
 - Arbre vertical en bas
 - Pattes au mur



IM 3031 (IM V3)
 - Arbre vertical en haut



IM 2031 (IM V36)
 - Arbre vertical en haut
 - Pattes au mur



Moteurs à bride (FT) de fixation à trous taraudés

- hauteurs d'axes ≤ 132 mm

IM 3601 (IM B14)
 - Arbre horizontal



IM 2101 (IM B34)
 - Arbre horizontal
 - Pattes au sol



IM 3611 (IM V18)
 - Arbre vertical en bas



IM 2111 (IM V58)
 - Arbre vertical en bas
 - Pattes au mur



IM 3631 (IM V19)
 - Arbre vertical en haut



IM 2131 (IM V69)
 - Arbre vertical en haut
 - Pattes au mur



Moteurs sans palier avant

Attention : la protection (IP) plaquée des moteurs IM B9 et IM B15 est assurée lors du montage du moteur par le client.

IM 9101 (IM B9)
 - A tiges filetées de fixation
 - Arbre horizontal



IM 1201 (IM B15)
 - A pattes de fixation et tiges filetées
 - Arbre horizontal



10. Protection thermique des machines

La protection des moteurs est assurée par un disjoncteur magnéto-thermique, placé entre le sectionneur et le moteur. Ces équipements de protection assurent une protection globale indirecte des moteurs contre les surcharges à variation lente. Si l'on veut diminuer le temps de réaction, si l'on veut détecter une surcharge instantanée, si l'on veut suivre l'évolution de la température aux "points chauds" du moteur ou à des points caractéristiques pour la maintenance de l'installation, il est conseillé d'installer des sondes de protection thermique placées aux points sensibles.

- Bilame à chauffage indirect avec contact et relais associé
- Résistance variable R à chauffage indirect avec électronique associé
Thermistance non linéaire type CTP
Sonde platine PT 100
- Thermocouple type T ou K à chauffage indirect avec électronique associé

Il faut souligner qu'en aucun cas, ces sondes ne peuvent être utilisées pour réaliser une régulation directe des cycles d'utilisation des moteurs. Tous les équipements de protection peuvent être doublés : le premier équipement servant de préalarme (signaux lumineux ou sonores, sans coupure des circuits de puissance), le second servant d'alarme (assurant la mise hors tension des circuits de puissance).

11. Relèvement du facteur de puissance

Dans le but d'améliorer les conditions de transport des courants dans les lignes d'alimentation, les distributeurs d'énergie demandent à leurs clients d'avoir des charges dont le facteur de puissance soit le plus proche possible de 1 et à tout le moins supérieur à 0,93. On sait que pour la création du champ magnétique, les moteurs asynchrones absorbent de la puissance réactive (Q) et introduisent donc une dégradation du facteur de puissance. Il faudra donc compenser la chute réactive généralement selfique des installations (lignes et moteurs asynchrones) par une compensation réactive capacitive.

Calcul de la puissance réactive de compensation :

$$Q = \frac{P_u}{\eta} (tg\varphi - tg\varphi')$$

- P_u : puissance active utile
- η : rendement du moteur
- $tg\varphi$ et $tg\varphi'$ expressions du déphasage avant et après compensation

Un abaque peut être utilisé pour le calcul de la puissance réactive de compensation :

La valeur des trois condensateurs est donnée par la relation (en triphasé couplage triangle) :

$$Q = 3.U^2.C\omega.$$

- U : tension entre phases du réseau de pulsation $\omega = 2.\pi.f$

NOTE IMPORTANTE :

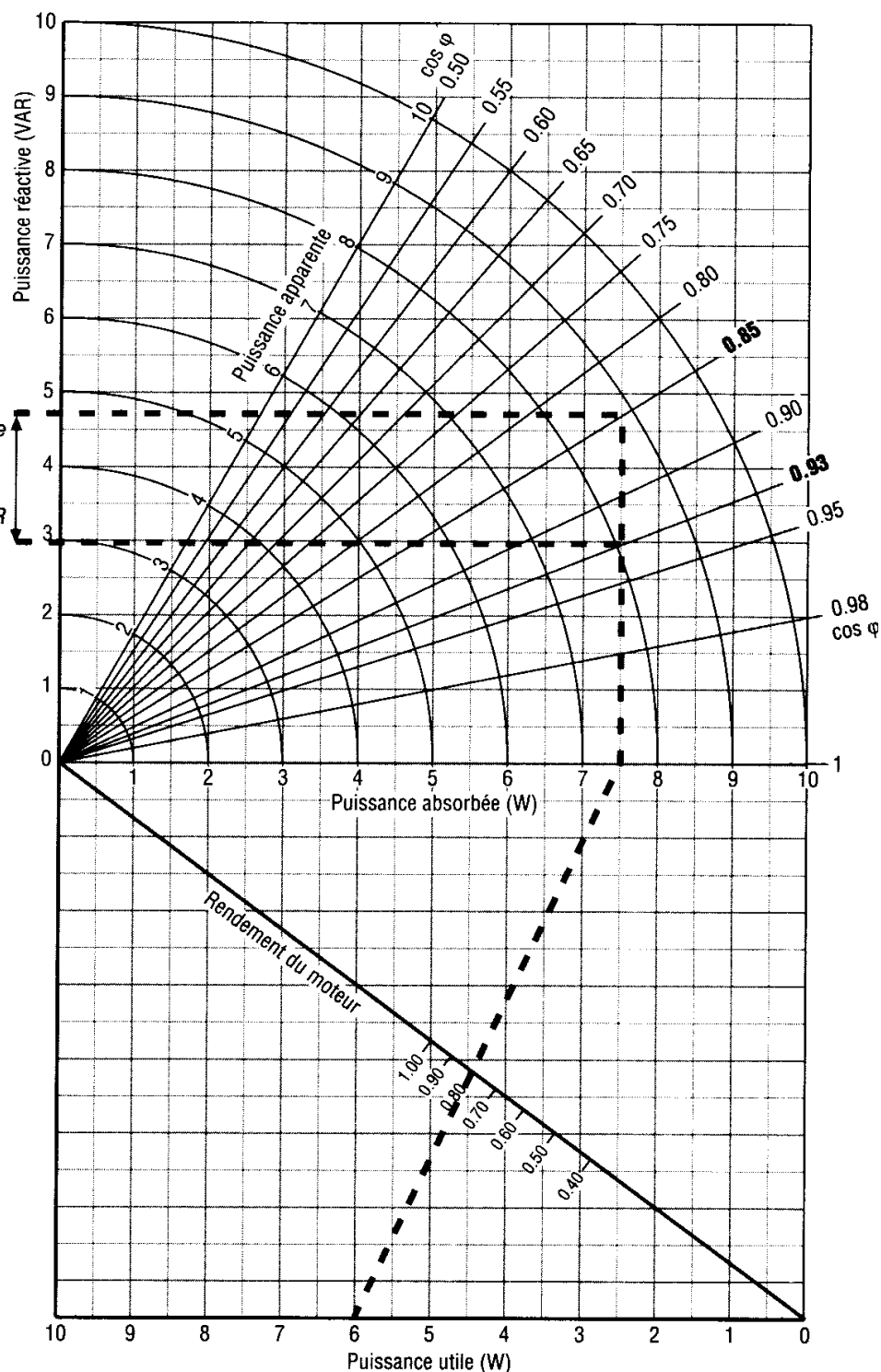
L'utilisation de condensateurs aux bornes des moteurs peut poser quelques problèmes :

- En freinage hypersynchrone, le moteur devient générateur auto-excité et des tensions importantes vont apparaître aux bornes de raccordement au réseau.
- Lors de micro-coupures, une énergie réactive non négligeable va se libérer et exciter le moteur : lors de la remise sous tension un choc important peut arriver en fonction de la phase des tensions en présence.

Exemple :
 Puissance utile
 du moteur : 6 kW

Rendement du
 moteur : 0.80

Puissance réactive
 pour "relever"
 le $\cos \varphi$ de 0.85
 à 0.93 : 1.68 kVAR



Pour améliorer la précision dans l'utilisation de l'abaque, on peut multiplier les abscisses et l'ordonnée par un même coefficient quelconque. Le résultat sera divisé par le même coefficient.

**▲ Abaque de détermination de la puissance réactive nécessaire
 à l'amélioration du facteur de puissance.**

12. Caractéristiques électriques moteurs 2 pôles



IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	*Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Puissance apparente nominale kVA_N	**Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0.09	2740	0.3	0.3	0.78	59	4.2	2.8	2.6	0.21	1	0.0001525	3.8
LS 56 L	0.12	2760	0.4	0.46	0.76	56	3.9	2.2	2.4	0.32	1	0.0001525	3.8
LS 63 E	0.18	2825	0.6	0.5	0.8	67	5.5	3.3	2.8	0.35	1	0.0001875	4.8
LS 63 E	0.25	2830	0.8	0.66	0.78	71	6.8	3.3	4	0.46	1	0.00025	6
LS 71 L	0.37	2820	1.3	0.95	0.83	71	4.8	3	3.5	0.66	1	0.00035	6.4
LS 71 L	0.55	2800	1.9	1.35	0.85	75	5	2.6	2.8	0.93	1	0.00045	7.3
LS 71 L	0.75	2810	2.5	1.8	0.82	75	6	2.8	3.2	1.25	1	0.0006	8.3
LS 80 L	0.75	2840	2.5	1.6	0.87	76	5.9	2.4	2.2	1.1	7	0.0007	8.2
LS 80 L	1.1	2845	3.7	2.3	0.86	79.5	6.7	2.7	2.4	1.6	6	0.0009	9.7
LS 80 L	1.5	2850	5	3	0.88	81.5	7.5	3	2.8	2.1	6	0.0011	11.3
LS 90 S	1.5	2870	5	3.3	0.82	79	7	3.6	3.2	2.3	7	0.0014	12
LS 90 L	1.8	2870	6	3.6	0.89	82	8.3	3.6	3.2	2.5	7	0.0017	14
LS 90 L	2.2	2850	7.4	4.4	0.89	82	7.5	3.6	3.2	3	6	0.0021	16
LS 100 L	3	2860	10	6.3	0.83	81	7.6	3.8	3.9	4.4	5	0.0024	20
LS 112 M	4	2840	13.5	8.2	0.86	81	8.4	4.2	3.5	5.7	5	0.0029	22
LS 112 MG	5.5	2900	18.1	11.5	0.83	83	8.4	3.2	3.4	8	3	0.0092	30
LS 132 S	5.5	2900	18.1	11.5	0.83	83	8.4	3.2	3.4	8	3	0.0092	32.5
LS 132 S	7.5	2920	24.5	15.3	0.84	85	8.6	3.3	3.5	10.6	3	0.0126	39
LS 132 M	9	2900	29.6	17.5	0.88	85	7.6	3.2	3.7	12.1	1	0.0236	49
LS 132 M	11	2915	36	21.2	0.86	87	7.6	3	3.7	14.7	1	0.0285	54
LS 160 M	11	2935	35.8	20.4	0.87	89.5	8.5	3	3.3	14.7	1	0.034	62
LS 160 MP	15	2935	48.8	27.6	0.87	90	8.5	3.4	3.6	19.3	1	0.043	72
LS 160 L	18.5	2945	60	33.2	0.88	91.4	8.4	3.0	3.4	23.0	4	0.051	92
LS 180 MT	22	2945	71.4	39.5	0.88	91.4	8.6	3.0	3.4	27.4	4	0.057	98
LS 200 LT	30	2950	97.2	51.7	0.91	92.0	8.8	2.8	3.4	35.8	4	0.096	160
LS 200 L	37	2960	119.4	64.9	0.89	92.5	8.4	3.0	3.6	44.9	4	0.133	185
LS 225 MR	45	2955	145.5	77	0.91	93.2	8.5	3.3	3.7	53.1	4	0.155	210
LS 250 MZ	55	2960	177.5	96	0.89	93.4	8.7	3.3	3.6	66.2	4	0.178	230
LS 280 SP	75	2975	240.9	125	0.92	94.3	8.3	2.7	3.2	86.4	4	0.71	430
LS 280 MP	90	2975	289	149	0.92	94.9	8.6	2.7	3.4	103.1	4	0.87	505
LS 315 SP	110	2975	353.3	184	0.91	94.9	8.7	2.7	3.1	127.4	4	1.41	650
LS 315 MP	132	2975	423.9	220	0.91	95.2	8.8	2.8	3.2	152.4	4	1.65	730
LS 315 MR	160	2975	513.8	267	0.91	95.2	8.9	2.9	3.3	184.7	4	1.95	830

13. Caractéristiques électriques moteurs 4 pôles

4
Pôles
1500 min⁻¹

IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	*Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Puissance apparente nominale kVA_N	**Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0.09	1370	0.6	0.36	0.7	55	2.9	2	2.2	0.25	[2]	0.00025	4
LS 63 E	0.12	1375	0.8	0.44	0.77	56	3	2.2	2.2	0.30	[2]	0.00035	4.8
LS 63 E	0.18	1410	1.2	0.62	0.75	63	3.7	2.3	2.3	0.43	[2]	0.000475	5
LS 71 L	0.25	1435	1.7	0.7	0.74	70	4.6	2.3	2.7	0.48	[2]	0.000675	6.4
LS 71 L	0.37	1425	2.5	1.12	0.7	70	4.4	2.3	2.6	0.78	[2]	0.00085	7.3
LS 71 L	0.55	1390	3.8	1.65	0.75	66	3.7	1.9	2.2	1.15	[2]	0.0011	8.3
LS 80 L	0.55	1400	3.8	1.6	0.74	67	4.4	2.1	2.2	1.1	[7]	0.0013	8.2
LS 80 L	0.75	1400	5.1	2	0.77	70	4.5	2.4	2.5	1.4	[7]	0.0018	9.3
LS 80 L	0.9	1425	6	2.3	0.73	73	5.8	2.6	2.4	1.6	[6]	0.0024	10.9
LS 90 S	1.1	1425	7.4	2.5	0.82	77	4.7	1.7	2.3	1.7	[7]	0.0032	11.5
LS 90 L	1.5	1430	10	3.6	0.81	75	5.2	1.8	2.2	2.5	[7]	0.0039	13.5
LS 90 L	1.8	1435	12	4	0.81	80	6	2.2	2.8	2.8	[6]	0.0049	15.2
LS 100 L	2.2	1430	14.7	5.1	0.81	76	5.3	2	2.4	3.5	[7]	0.0039	18
LS 100 L	3	1425	20.1	7.2	0.78	77	5.2	2.2	2.6	5	[7]	0.0051	20.8
LS 112 M	4	1425	26.8	9.1	0.79	80	5.7	2.4	2.6	6.3	[6]	0.0062	24.4
LS 132 S	5.5	1430	36.7	11.9	0.82	82	6.4	2.3	2.6	8.2	[6]	0.0177	38.7
LS 132 M	7.5	1450	49.4	15.2	0.84	85	7.7	2.7	3.1	10.5	[4]	0.024	54.7
LS 132 M	9	1450	59.3	17.8	0.85	86	7.1	2.1	3	12.7	[3]	0.029	59.9
LS 160 MP	11	1455	72.2	21.1	0.85	88.5	7.7	2.8	3.4	14.6	[6]	0.039	70
LS 160 LR	15	1450	98.8	29.1	0.84	88.8	7.5	2.9	3.3	19.9	[6]	0.047	78
LS 180 MT	18.5	1450	121.9	35.4	0.84	89.7	7.4	2.9	3.3	24.6	[1]	0.085	100
LS 180 LR	22	1450	145	42.1	0.84	89.7	7.4	3.2	3.5	29.2	[1]	0.098	110
LS 200 LT	30	1460	196.3	55.0	0.87	90.5	6.6	2.7	2.6	38.1	[2]	0.151	170
LS 225 ST	37	1470	240.5	67.9	0.85	92.5	6.5	2.6	2.6	47.1	[2]	0.23	205
LS 225 MR	45	1470	292.5	81	0.86	92.8	6.5	2.8	2.6	56.4	[2]	0.28	235
LS 250 MP	55	1480	355	99	0.85	94.1	6.7	2.6	2.5	68.8	[2]	0.75	340
LS 280 SP	75	1480	484.2	134	0.85	94.8	6.9	2.6	2.7	93.1	[3]	1.28	445
LS 280 MP	90	1485	579	161	0.85	95.0	7.6	2.9	2.9	111.5	[3]	1.45	490
LS 315 SP	110	1488	706.3	193	0.86	95.5	7.8	2.9	2.8	133.9	[3]	2.74	720
LS 315 MR	132	1488	847.5	234	0.85	95.6	8.1	3.1	3.3	162.4	[3]	2.95	785
LS 315 MR	160	1488	1027.3	276	0.87	96.1	8.4	3.0	3.3	191.4	[3]	3.37	855

14. Caractéristiques électriques moteurs 6 pôles

6 Pôles
1000 min⁻¹

IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	*Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Puissance apparente nominale kVA_N	**Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 63 E	0.09	905	0.9	0.45	0.66	48	2.6	2.3	2.5	0.31	[3]	0.0006	5.5
LS 71 L	0.12	915	1.3	0.55	0.7	50	2.8	1.65	2.1	0.38	[3]	0.000675	6.5
LS 71 L	0.18	940	1.8	0.92	0.54	56	3.2	2.3	2.7	0.64	[3]	0.0011	7.6
LS 71 L	0.25	915	2.6	1.16	0.6	55	2.8	2.2	2.3	0.80	[3]	0.001275	7.9
LS 80 L	0.25	955	2.5	0.85	0.67	63	3.9	1.6	1.8	0.6	[8]	0.0024	8.4
LS 80 L	0.37	950	3.7	1.1	0.72	66	4.3	1.7	2.1	0.8	[8]	0.0032	9.7
LS 80 L	0.55	950	5.5	1.9	0.64	68	4.9	2	2.5	1.3	[7]	0.0042	11
LS 90 S	0.75	930	7.7	2.1	0.77	68	4.2	2.5	2.7	1.5	[7]	0.0039	13.5
LS 90 L	1.1	915	11.5	3	0.75	70	4.7	2.4	2.6	2.1	[6]	0.0048	15.2
LS 100 L	1.5	905	15.8	4.2	0.74	69	4.5	2.6	2.8	2.9	[6]	0.0058	20
LS 112 M	2.2	905	23.2	5.8	0.76	72	5.6	2.8	2.6	4	[6]	0.0087	24.2
LS 132 S	3	945	30.3	7.1	0.78	78	5.8	2.4	2.4	4.9	[7]	0.0177	38.3
LS 132 M	4	965	39.6	9.4	0.75	82	6.7	2.6	2.6	6.5	[7]	0.0517	53.3
LS 132 M	5.5	970	54.2	12.9	0.75	82	6.9	3.1	3	8.9	[6]	0.0595	59.4
LS 160 M	7.5	967	74.1	16.1	0.79	85.2	4.7	1.5	2.1	11.1	[7]	0.084	81
LS 160 L	11	967	108.7	23.3	0.79	86.3	4.6	1.6	2.1	16.1	[7]	0.126	105
LS 180 L	15	972	147.4	30.1	0.81	88.7	6.8	2.3	2.8	20.9	[7]	0.191	135
LS 200 LT	18.5	970	182.2	37.0	0.81	89.0	6.4	2.4	2.8	25.7	[7]	0.237	160
LS 200 L	22	972	216.2	43.6	0.81	89.9	6.0	2.0	2.7	30.2	[7]	0.287	190
LS 225 MR	30	968	296	59.5	0.81	89.9	6.0	2.2	2.5	41.2	[7]	0.38	235
LS 250 MP	37	977	361.8	73	0.81	90.9	6.9	2.7	2.9	50.3	[7]	1.03	340
LS 280 SP	45	983	437.4	85	0.83	92.3	6.2	2.1	2.7	58.7	[7]	1.87	405
LS 280 MP	55	983	534.6	103	0.83	92.6	6.4	2.3	2.8	71.6	[7]	2.30	480
LS 315 SP	75	982	729.7	141	0.82	93.7	7.7	2.6	3.4	97.6	[7]	2.99	660
LS 315 MP	90	982	875.6	165	0.84	93.6	6.8	2.3	2.7	114.5	[7]	3.63	760
LS 315 MR	110	978	1074.6	197	0.86	93.8	7.0	2.2	2.8	136.4	[7]	4.16	850

15. Caractéristiques électriques moteurs 8 pôles



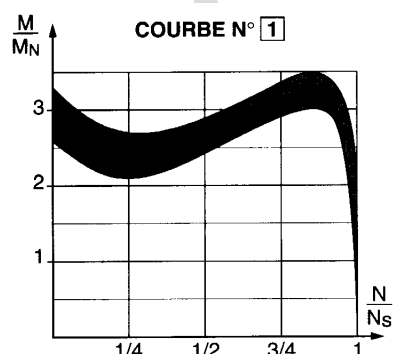
IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V

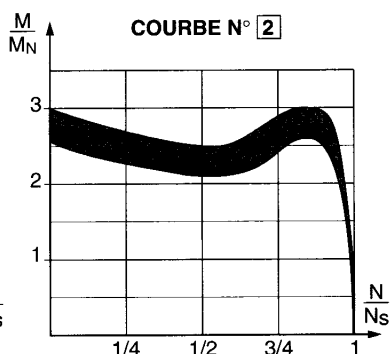
Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	*Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Puissance apparente nominale kVA_N	**Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0.09	690	1.2	0.5	0.62	42	2.8	2	2.5	0.35	3	0.0011	7.5
LS 71 L	0.12	690	1.7	0.6	0.63	50	2.6	2	2.4	0.41	3	0.001275	8
LS 80 L	0.18	715	2.4	0.8	0.61	51	3	1.6	1.6	0.55	8	0.0031	9.7
LS 80 L	0.25	700	3.4	1	0.65	55	2.8	1.2	1.5	0.7	8	0.0041	11.3
LS 90 S	0.37	685	5.2	1.2	0.71	62	3.1	1.7	1.8	0.8	8	0.0038	13.5
LS 90 L	0.55	670	7.8	1.7	0.72	63	3.5	1.8	1.8	1.2	8	0.0047	15.2
LS 100 L	0.75	670	10.7	2.3	0.71	62	3.5	1.9	2.3	1.6	7	0.0047	18
LS 100 L	1.1	670	15.7	3.7	0.68	63	3.7	2.1	2.3	2.6	7	0.0068	21.8
LS 112 MG	1.5	710	20.2	4.7	0.64	72	3.8	2	2.1	3.2	7	0.015	24
LS 132 SM	2.2	695	30.2	8.1	0.56	71	2.9	1.4	1.8	5.6	8	0.0253	45.6
LS 132 M	3	705	40.7	9.6	0.59	76	3.3	1.3	1.9	6.6	8	0.0334	53.9
LS 160 M	4	715	53.5	11.1	0.65	80.0	3.2	1.9	1.7	7.7	8	0.069	72
LS 160 M	5.5	715	73.5	14.8	0.65	82.4	3.5	1.9	2.0	10.3	8	0.092	84
LS 160 L	7.5	715	100.2	19.7	0.67	82.1	3.4	1.9	1.9	13.6	8	0.126	105
LS 180 L	11	720	146	25.6	0.72	86.0	3.8	1.4	1.9	17.8	8	0.205	140
LS 200 L	15	725	197.7	32.9	0.75	87.7	4.4	1.6	2.1	22.8	8	0.27	185
LS 225 ST	18.5	725	243.8	42.4	0.72	87.5	4.2	1.6	2.1	29.4	8	0.33	210
LS 225 MR	22	725	289.9	51.9	0.70	87.4	4.4	1.9	2.3	36.0	8	0.4	240
LS 250 MK	30	740	387.3	62.3	0.77	90.3	4.9	1.5	2.2	43.1	8	1.45	335
LS 280 SP	37	740	477.7	76	0.77	90.8	5.0	1.5	2.2	52.9	8	1.87	405
LS 280 MP	45	740	581	91	0.78	91.6	5.5	1.7	2.2	63.0	8	2.3	480
LS 315 SP	55	740	710.1	108	0.79	93.0	6.2	1.7	2.4	74.9	8	3.47	660
LS 315 MP	75	740	968.3	147	0.79	93.2	6.4	1.8	2.5	101.9	8	4.51	810



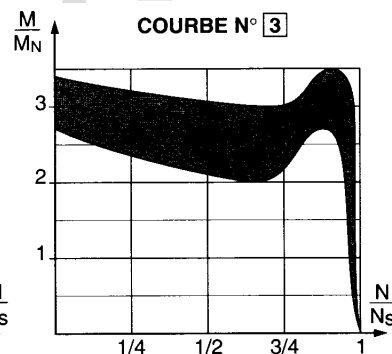
16. Courbes caractéristiques des moteurs



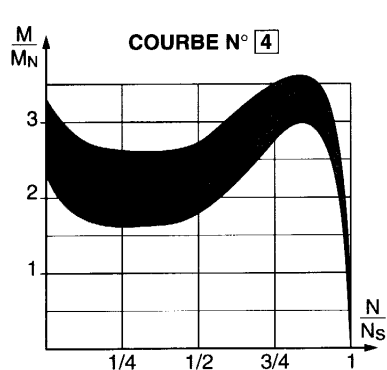
$$2.3 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.8$$



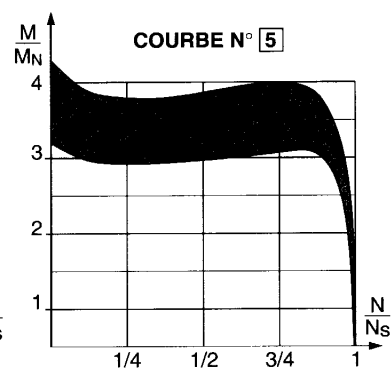
$$2.2 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.5$$



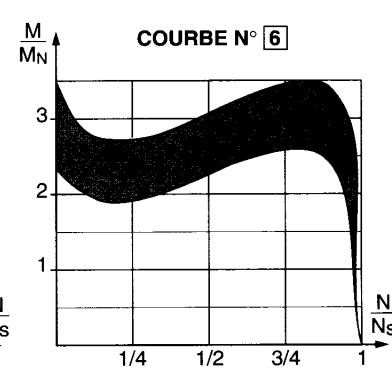
$$2.2 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.9$$



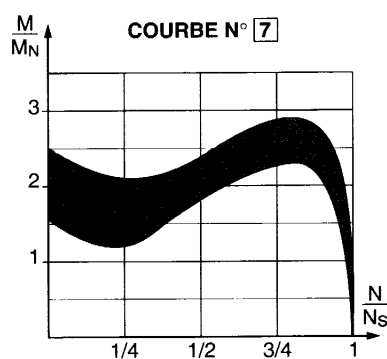
$$2.1 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.8$$



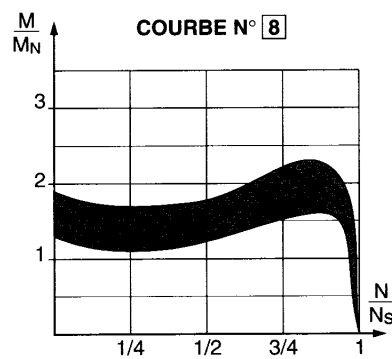
$$2.7 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 3.5$$



$$2 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.85$$



$$1.6 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 2.25$$



$$1.45 < \frac{M_{mot}}{M_N} < 1.8$$

17. Caractéristiques électriques moteurs 4-6 pôles à 2 bobinages séparés

**4-6
Pôles**
1500-1000 min⁻¹

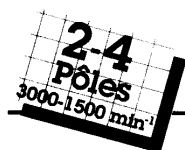
IP 55 - Cl. F - S1
Usage : machines centrifuges
2 bobinages séparés*

RESEAU 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0.25	1430	0.75	0.78	66	3.9	1.4	1.9	0.0011	8.3
	0.09	960	0.55	0.64	40	2.3	1.2	1.9		
LS 80 L	0.7	1435	2.1	0.73	67	4.5	1.8	2	0.0024	11.5
	0.2	945	1.05	0.72	40	2.5	1.1	1.4		
LS 90 S	0.85	1430	2.2	0.78	70	5.5	2	2.4	0.0032	14
	0.25	930	0.85	0.79	55	3.5	1.2	1.6		
LS 90 L	1.4	1425	3.5	0.79	73	6	2.2	2.6	0.0049	17
	0.5	925	1.4	0.80	61	3.6	1.3	1.7		
LS 100 L	2.4	1425	5.7	0.82	75	5.6	2.1	2.2	0.0071	25
	0.75	940	2.1	0.75	66	4.3	2	2.1		
LS 112 MG	3.4	1460	8.7	0.72	78	6.9	2.4	2.7	0.015	30
	1.1	965	3.4	0.75	64	4	1.3	2		
LS 132 SM	4	1450	8.9	0.79	82	5.8	1.7	2.8	0.025	44
	1.2	970	3.2	0.71	75	4.5	1.6	2.5		
LS 132 M	6.3	1445	13.2	0.82	84	5.9	1.6	2.6	0.033	55
	1.9	970	5	0.68	80	5.2	1.9	2.8		
LS 160 M	9	1465	18.8	0.81	85.2	7.0	2.1	3.1	0.053	75
	3	975	7.8	0.74	74.9	5.2	1.6	2.4		
LS 160 M	11	1465	22.6	0.82	85.7	7.4	2.1	3.1	0.065	85
	3.7	975	9.3	0.74	77.8	5.5	1.7	2.6		
LS 160 L	13	1465	25.6	0.84	87.3	7.8	2.3	3.2	0.085	100
	4.3	970	10.5	0.75	78.6	5.5	1.7	2.5		
LS 160 LU	15	1465	29.3	0.84	87.9	7.5	2.4	3.0	0.098	110
	5	970	12.1	0.76	78.8	5.1	1.8	2.2		
LS 180 L	18.5	1460	34.1	0.88	89.0	5.5	2.0	2.3	0.122	135
	6.5	980	14.8	0.78	81.0	5.0	2.0	2.2		
LS 180 LU	22	1470	41.5	0.86	89.0	6.8	2.6	2.7	0.145	165
	7.5	980	16.6	0.80	81.5	4.8	2.0	2.0		
LS 200 L	25	1475	46.9	0.85	90.5	6.4	2.2	2.5	0.23	205
	8.5	985	19.3	0.77	82.5	4.8	2.0	2.0		
LS 200 LU	30	1475	56.0	0.85	91.0	6.0	2.2	2.5	0.27	230
	9	985	20.8	0.74	84.5	5.3	2.4	2.3		
LS 225 SR	34	1475	64	0.84	91.6	6.3	2.3	2.6	0.28	235
	11	985	25.9	0.73	84.0	5.1	2.3	2.2		
LS 250 MP	42	1480	78	0.85	91.3	6.5	2.5	2.7	0.83	370
	14	985	33.0	0.73	85.0	5.1	2.7	2.3		
LS 250 MK	52	1475	95	0.88	90.0	7.3	2.6	3.3	1.94	500
	19	985	39.5	0.80	86.8	5.7	2.3	2.4		
LS 280 SK	75	1485	135	0.86	93.5	7.7	2.1	2.7	1.95	580
	28	985	56.3	0.80	89.7	6.6	2.9	2.4		
LS 280 MK	90	1485	161	0.86	93.7	7.7	2.3	2.9	2.31	645
	33	985	66.2	0.80	90.0	6.9	2.9	2.4		
LS 315 SP	110	1485	199	0.85	93.9	8.0	2.7	2.9	2.74	720
	37	985	74	0.80	90.1	6.9	2.9	2.4		
LS 315 MR	132	1485	244	0.83	94.0	9.2	3.1	3.3	3.37	855
	44	985	88	0.80	90.2	7.1	2.9	2.4		

La ligne supérieure de chaque type correspond à la vitesse la plus élevée.

18. Caractéristiques électriques moteurs 2-4 pôles à 1 bobinage type Dalhander



IP 55 - Cl. F - S1
Usage : machines centrifuges
1 bobinage (Dahlander)

RESEAU 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0.55	2810	1.4	0.9	69	4.7	1.4	1.9	0.0011	8.3
	0.11	1420	0.4	0.7	73	4.6	1.7	2		
LS 80 L	1.1	2810	2.5	0.87	72	5.2	2	2	0.0042	10.9
	0.25	1420	0.66	0.78	70	4.6	2.1	1.9		
LS 90 S	1.5	2850	3.8	0.82	70	5.1	2	2.3	0.0039	12.5
	0.35	1450	0.9	0.77	75	5.7	2.3	2.4		
LS 90 L	2.2	2840	4.8	0.9	74	5.8	2	2.2	0.0049	15.2
	0.6	1440	1.5	0.82	71	5.2	2.2	2.7		
LS 100 L	3	2920	6.6	0.84	78	6.8	2.3	2.3	0.0062	24.5
	0.8	1450	1.7	0.82	83	5.8	2	2.7		
LS 112 MU	4.5	2910	9.9	0.83	79	6.9	2.3	2.8	0.015	37
	1.3	1460	3.1	0.75	80	6	2.2	2.9		
LS 132 SM	6	2895	13.2	0.84	78	6.2	1.8	2	0.0334	50
	1.6	1440	3.7	0.79	79	5.5	1.8	2.2		
LS 132 M	9	2920	18.6	0.85	82	7.3	2.2	2.4	0.0385	60
	2.5	1440	5.6	0.79	81	6.2	2	2.2		
LS 160 M	13.5	2920	26.0	0.87	86.3	6.4	2.4	2.8	0.065	85
	3.3	1465	6.3	0.85	88.7	6.4	2.4	2.8		
LS 160 L	19	2925	35.3	0.89	87.4	7.3	2.5	2.9	0.085	100
	4.5	1465	8.4	0.88	87.5	6.7	2.5	2.9		
LS 180 LU	24	2935	44.5	0.89	87.5	7.5	2.6	2.8	0.145	165
	8	1455	15.2	0.87	87.5	5.0	2.2	2.1		
LS 200 L	31	2955	55.9	0.91	88.0	8.0	2.4	3.0	0.23	205
	11	1465	20.2	0.89	88.5	5.2	1.6	1.9		
LS 200 LU	40	2955	71	0.90	90.0	8.0	2.8	3.2	0.27	230
	14	1465	25.1	0.88	91.5	5.2	1.7	2.1		
LS 225 MK	50	2970	87	0.91	91.5	8.5	2.6	3.5	0.72	330
	17	1475	30.7	0.87	91.8	5.5	2.1	2.1		
LS 250 MP	59	2970	102	0.91	91.5	8.5	2.6	3.5	0.83	370
	20	1475	36.1	0.87	91.8	5.5	2.1	2.1		
LS 250 MK	70	2975	118	0.92	93.0	9.8	2.8	3.7	1.45	490
	24	1485	41.9	0.88	94.0	6.0	2.3	2.3		
LS 280 MK	85	2975	143	0.92	93.0	8.6	2.5	3.3	2.74	720
	30	1485	52.3	0.88	94.0	5.5	2.1	2.1		
LS 315 MR	100	2975	168	0.92	93.3	8.5	2.5	3.3	3.32	825
	35	1485	60.9	0.88	94.3	5.5	2.1	2.1		

La ligne supérieure de chaque type correspond à la vitesse la plus élevée.

19. Caractéristiques électriques moteurs 4-6 pôles à 1 bobinage type PAM



IP 55 - Cl. F - S1
Usage : machines centrifuges
LS 80 L à LS 132 M : 1 bobinage (PAM)

RESEAU 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 80 L	0.75	1400	1.8	0.87	67	3.8	1.1	1.5	0.0042	10.9
	0.25	905	0.9	0.88	46	2.1	1	1.2		
LS 90 S	1.1	1420	2.6	0.79	77	6	2.5	2.5	0.0039	12.5
	0.37	940	1.5	0.63	57	3.3	1.4	1.8		
LS 90 L	1.5	1425	3.6	0.8	78	6.1	2.5	2.6	0.0049	15.2
	0.55	940	2.2	0.64	57	3.3	1.4	1.9		
LS 100 L	2.2	1400	4.8	0.86	77	6.8	3.2	2.8	0.0039	21
	0.75	940	2.3	0.75	63	4.2	1.6	2.1		
LS 100 L	3	1410	6.7	0.84	77	6.6	3	2.7	0.0051	24.5
	1.1	940	3.2	0.76	65	4.4	1.4	2.1		
LS 112 MG	4	1450	9	0.78	82	7	1.9	2.6	0.015	35
	1.5	965	4.7	0.70	67	3.6	1.1	1.8		
LS 132 SM	5.5	1460	11.7	0.82	84	6.4	2.8	2.8	0.0334	50
	1.8	975	6.2	0.62	69	4	1.7	2.2		
LS 132 M	7.5	1445	15.5	0.84	83	7	2.2	2.6	0.0385	60
	2.5	970	7.4	0.70	70	4.4	1.4	2		

La ligne supérieure de chaque type correspond à la vitesse la plus élevée.

20. Plaque signalétique commentée.

LE ROY SOMER Mot. 3~ LS 132S T N° 034729GL002							CE
IP55	IK08	cl.F	40°C	S.S1	kg 39		
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A		
Δ 380	50	1420	5.50	0.85	12.00		○
Δ 230	-	1430	-	0.82	20.70		
Δ 400	-	1430	-	0.82	11.90		
Δ 415	-	1435	-	0.80	11.70		
Δ 440	60	1710	6.60	0.86	12.30		
Δ 460	-	1730	-	0.84	11.90		



MOT. 3 ~ LS 250 MP

T

N° 125089HA001

kg 340



IP55 IK08	I c.l.F	40°C	S1	%	c/h
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
Δ 380	50	1475	55	0.87	102
Δ 400	-	1480	-	0.85	99
Y 690	-	1480	-	0.85	57.2
Δ 415	-	1480	-	0.84	97
Δ 440	60	1775	63	0.87	101
Δ 460	-	1780	-	0.85	99

DE	6314 C3	025 g	ESSO UNIREX N3
NDE	6214 C3	4750 h	

Définition des informations contenues sur la plaque signalétique de la machine de droite
(de gauche à droite et de bas en haut)

MOT.3~ : Moteur triphasé alternatif

LS : Série de moteur

250 : Hauteur d'axe

MP : Symbole du carter

T : Indice d'imprégnation

CE : Conforme à la norme CEI 34

N° 125089 : N° série moteur

H : Année de production

A : Mois de production

001 : N° d'ordre dans la série

kg 340 : Masse

IP 55 IK 08 : Indice de protection

Classe F : Classe d'isolation

40 °C : Température maximale ambiante de fonctionnement

S1 : Service S1

% : Facteur de marche

C/H : Nombre de cycle par heure

Caractéristiques nominales Nom

Δ : Couplage triangle

380 V : Tension d'alimentation

50 Hz : Fréquence d'alimentation

1475 min⁻¹ : Nombre de tours par minute

55 kW : Puissance

0,87 Cos φ : Facteur de puissance

102 A : Intensité nominale

Autres points de fonctionnement

...

DE : Type de roulement coté entraînement

NDE : Type de roulement coté opposé à l'entraînement

25 g : Masse de graisse à chaque graissage

4750 h : Périodicité de graissage

ESSO UNIREX N3 : Type de graisse

Travail personnel

1. Choix de moteur.

- La machine à entraîner requiert une puissance de 10 kW à 3000 tr/min
- La machine fonctionne 10 h par jour et subit 2 démarrages dans la journée
- La machine est raccordée au réseau triphasé 230/400 V 50 Hz
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1
- Hauteur d'axe minimum

✎ Choisir le moteur

✎ Choisir la batterie de condensateurs permettant de ramener le facteur de puissance à 0.93

2. Choix de moteur.

- La machine à entraîner requiert une puissance de 8 kW à 1420 tr/min
- La machine fonctionne périodiquement 15 min par heure avec un seul démarrage
- La machine est raccordée au réseau triphasé 400 V 50 Hz
- La température de fonctionnement est de 55°C
- L'altitude d'implantation est de 2000 m
- Le temps de démarrage est de l'ordre de 1 s
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1

✎ Choisir le moteur

3. Choix de moteur décrivant un cycle de fonctionnement.

- La machine à entraîner a un couple résistant de 100 Nm à peu près constant (levage)
- La machine à entraîner a une inertie de 120 kg.m² elle peut fournir de l'énergie en descente
- La machine à entraîner doit passer de 0 à 60 tr/min en 1s
- La machine à entraîner fonctionne ensuite à vitesse constante 60 tr/min
- La machine à entraîner doit passer de 60 à 0 tr/min en 1s (freinage à contre courant)
- La machine à entraîner reste immobile puis le cycle recommence
- Le nombre de cycles par heure est de 30
- Le moteur est accouplé à la machine par un réducteur de rapport 1/12 supposé parfait
- La machine est raccordée au réseau triphasé 230/400 V 50 Hz
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1

✎ Déterminer les caractéristiques utiles en sortie de l'arbre moteur repère 1

Vitesse de rotation : Ω_1

Couple résistant : C_{r1}

Inertie de la charge : J_1

✎ Calculer les différents couples moteurs nécessaires aux différentes phases

✎ Déterminer la puissance moyenne équivalente

✎ Choisir le moteur

Autocorrection

1. Choix de moteur.

- La machine fonctionne 10 h par jour et subit 2 démarrages dans la journée
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1
- ✎ *On reconnaît ici un service continu S1 de la machine. Il n'y a pas lieu de prendre en compte d'autre élément car les conditions d'exploitation restent dans le cadre des limites définies dans la norme CEI 34-1.*
- La machine à entraîner requiert une puissance de 10 kW à 3000 tr/min
- La machine est raccordée au réseau triphasé 230/400 V 50 Hz
- ✎ *La puissance de 10 kW à 3000 tr/min est prise en compte pour le dimensionnement du moteur. 3000 tr/min nous donne un moteur à une paire de pôles que nous allons sélectionner dans le tableau de choix de moteur LS (III/12).*
- ✎ *Sur le tableau de choix de la gamme de moteur LS (III/12), donné pour une tension d'alimentation de 230 V / 400 V le moteur LS 132 M semble être convenable ainsi que le LS 160 M.*
- Hauteur d'axe minimum
- ✎ *Le moteur LS 132 M est celui des deux qui à la plus petite hauteur d'axe (132 mm).*
- Relèvement du facteur de puissance de 0,86 à 0,93
- ✎ *Le moteur LS 132 M d'une puissance de 11 kW a un rendement de 87 % et son facteur de puissance est de 0,86. L'utilisation du tableau (III/11) affecté d'un coefficient 2 donne une puissance absorbée de 12,6 kW et par conséquent d'une puissance réactive de 2,6 kVAR (2505 VAR par le calcul). La valeur des condensateurs est donnée par la relation :*

$$Q = 3.U^2.C\omega.$$

Ce qui donne une valeur de 3 condensateurs montés en triangle de 16,6 µF pour 2,5 kVAR.

L'utilisation des relations (III/11) est bien entendu également possible.

2. Choix de moteur.

- La machine fonctionne périodiquement 15 min par heure avec un seul démarrage
- ✎ *On reconnaît ici un service intermittent périodique S3 de la machine. La détermination de la puissance dimensionnante nécessite le calcul d'une puissance apparente équivalente au service S1.*

$$P_a = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left[\frac{I_d}{I_n} \times P_n \right]^2 + (3600 - n \times t_d) P_u^2 \times F_{dm}}{3600}}$$

Pour laquelle : $n = 0$ et $F_{dm} = 0,25$ la formule ci-dessus devient donc :

$$P_a = \sqrt{P_u^2 \times F_{dm}}$$

- La machine à entraîner requiert une puissance de 8 kW à 1420 tr/min
- ✎ *La puissance apparente est donc de 4 kW*

- La température de fonctionnement est de 55°C
- L'altitude d'implantation est de 2000
- ✂ *Le coefficient de correction correspondant est de 0,77 (III/5) (un moteur de 1 kW peut fournir 0,77 kW). La puissance de dimensionnement est donc de 5195 W*
- ✂ *Il faut donc choisir dans les moteurs 2 paires de pôles (III/12) une machine d'une puissance nominale au moins égale à 5,2 kW. Un LS 132 S (5,5 kW pour 1430 tr.min⁻¹) sera parfaitement adaptée.*

3. Choix de moteur Décrivant un cycle de fonctionnement.

- ✂ **Déterminer les caractéristiques utiles en sortie de l'arbre moteur repère 1**
Vitesse de rotation : Ω_1

- ✂ *La vitesse maximale de fonctionnement après le réducteur est de $n_2 = 60$ tr/min. Le réducteur 1/12 du moteur vers la charge nous permet de calculer la vitesse de rotation en sortie moteur $n_1 = 60$ tr/min $\times 12 = 720$ tr/min soit $\Omega_1 = 75,4$ rd/s.*

Couple résistant : C_{r1}

- La machine à entraîner a un couple résistant C_{r2} de 100 Nm
- ✂ *Le réducteur étant supposé parfait on peut écrire P_1 (puissance à l'entrée du réducteur) = P_2 (puissance à la sortie du réducteur) soit : $P_1 = C_{r1} \cdot \Omega_1 = P_2 = C_{r2} \cdot \Omega_2$ d'où :*

$$C_{r1} = C_{r2} \times \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = 8,33 \text{ Nm}$$

Inertie de la charge : J_1

- La machine à entraîner a une inertie de 120 kg.m²
- ✂ *Le réducteur étant supposé parfait on peut écrire W_1 (énergie cinétique à l'entrée du réducteur) = W_2 (énergie cinétique à la sortie du réducteur) soit :*

$$W_1 = \frac{1}{2} J_1 \times \Omega_1^2 = W_2 = \frac{1}{2} J_2 \times \Omega_2^2 \quad \text{soit} \quad J_1 = J_2 \times \frac{\Omega_2^2}{\Omega_1^2} = 0,833 \text{ kg.m}^2$$

- ✂ **Calculer les différents couples moteurs nécessaires aux différentes phases**

- La machine à entraîner doit passer de 0 à 60 tr/min en 1s
- ✂ *On utilise la loi fondamentale de la dynamique en sortie de l'arbre moteur :*

$$C_{m1} - C_{r1} = J_{1T} \frac{d\Omega_1}{dt}$$

C_{m1} : couple fourni par le moteur

C_{r1} : ensemble des couples résistants ramenés côté 1

J_{1T} : ensemble des inerties ramenées côté 1 (y compris celle du moteur non choisi)

Il faut donc partir sur un moteur 4 paires de pôles (720 tr/min) le LS 112 MG pour lequel $J_m = 0,015$ kg.m² et revenir sur ce choix en cas de mauvais choix. On a donc $J_{1T} = J_1 + J_m = 0,848$ kg.m² et $C_{r1} = 8,33$ Nm.

$$C_{m1} = J_{1T} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,848 \times \frac{75,4}{1} + 8,33 = 72,27 \text{ Nm}$$

or le couple moyen durant la phase de démarrage pour un moteur asynchrone est donné par :

$$C_{md} = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} = \frac{40,4 + 2 \times 32,32 + 2 \times 42,42 + 20,2}{6} = 35 Nm$$

Ce qui est très insuffisant essayons un moteur dont le couple est 2,1 fois (72,27/35) supérieur

Le moteur 4 paires de pôles (720 tr/min) LS 160 M de 4 kW pour lequel $J_m = 0,069 \text{ kg.m}^2$.
 On a donc $J_{IT} = J_I + J_m = 0,902 \text{ kg.m}^2$ et $C_{rI} = 8,33 \text{ Nm}$.

$$C_{m1} = J_{IT} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,902 \times \frac{75,4}{1} + 8,33 = 76,34 Nm$$

or le couple moyen durant la phase de démarrage pour un moteur asynchrone est donné par :

$$C_{md} = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} = \frac{101,6 + 2 \times 77,58 + 2 \times 90,95 + 53,5}{6} = 82 Nm$$

Cette machine convient et permet une accélération en un temps inférieur à 1s

$$t_d = \frac{\pi}{30} \frac{n_f \cdot J_T}{C_a} = \frac{\pi}{30} \frac{720 \times 0,902}{82 - 8,33} = 0,923 s$$

- La machine à entraîner fonctionne ensuite à vitesse constante 60 tr/min pendant 5s
- ✂ la loi fondamentale de la dynamique en sortie de l'arbre moteur se réduit à :

$$C_{m1} = C_{r1} = 8,33 Nm$$

Pas de problème pour notre machine dont $C_n = 53,5 \text{ Nm}$

- La machine à entraîner doit passer de 60 à 0 tr/min en 1s
- ✂ On utilise la loi fondamentale de la dynamique en sortie de l'arbre moteur :

$$C_{m1} = J_{IT} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,902 \times \frac{-75,4}{1} - 8,33 = -76,34 Nm$$

Le signe moins indique seulement une phase de freinage, la charge peu être entraînée.
 Dans ce cas pour un freinage à contre courant cette machine est adaptée.

- La machine à entraîner reste immobile pendant 1s puis le cycle recommence
- ✂ Si la charge est entraînée un couple de maintien sera nécessaire durant cette phase ; un frein mécanique de positionnement est obligatoire.
- ✂ Déterminer la puissance moyenne équivalente
- ✂ Pour ce service type S5 le calcul de la puissance moyenne équivalente est nécessaire pour le dimensionnement du moteur. Il est donné par la relation :

$$P_a = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left[\frac{I_d}{I_n} \times P_n \right]^2 + (3600 - n \times t_d) P_u^2 \times F_{dm}}{3600}}$$

$$P_a = \sqrt{\frac{480 \times 0,923 \times [3,2 \times 4000]^2 + (3600 - 480 \times 0,923) (8,33 \times 75,4)^2 \times 7/120}{3600}} = 4493 W$$

Le moteur choisi est donc insuffisant il faut reprendre avec un LS 160 M de 5,5 kW...

Le moteur 4 paires de pôles (720 tr/min) LS 160 M de 5,5 kW pour lequel $J_m = 0,092 \text{ kg.m}^2$.
 On a donc $J_{IT} = J_I + J_m = 0,925 \text{ kg.m}^2$ et $C_{rI} = 8,33 \text{ Nm}$.

$$C_{m1} = J_{1T} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,925 \times \frac{75,4}{1} + 8,33 = 78,08 Nm$$

or le couple moyen durant la phase de démarrage pour un moteur asynchrone est donné par :

$$C_{md} = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} = \frac{139,7 + 2 \times 118 + 2 \times 147 + 73,5}{6} = 123,87 Nm$$

Cette machine convient et permet une accélération en un temps largement inférieur à 1s

$$t_d = \frac{\pi}{30} \frac{n_f J_T}{C_a} = \frac{\pi}{30} \frac{720 \times 0,925}{123,87 - 8,33} = 0,605s$$

$$P_a = \sqrt{\frac{480 \times 0,605 \times [3,5 \times 5500]^2 + (3600 - 480 \times 0,605)(8,33 \times 75,4)^2 \times 7/120}{3600}} = 5469W$$

Ce qui est juste satisfaisant...

PORTIQUE A CONTAINERS POUR CHANTIER NAVAL

Le système proposé est une grue de manutention utilisée sur la plupart des ports pour charger et décharger les containers sur les bateaux

Cette grue possède quatre mouvements:

- Translation (déplacement du portique sur deux rails)
- Direction (déplacement radial de la charge)
- Levage (déplacement en hauteur de la charge)
- Relevage de la flèche

Données du problème

- Température d'exploitation : 40 °C
- Réseau industriel EDF : 400 V 50 Hz
- Masse maximum transportable : 10 tonnes
- Durée de démarrage maximum : 1 s
- Temps de freinage maximum : 0,5 s
- Frein de secours à disque à commande rapide coté continu
- Vitesse de montée ou de descente de la charge : 0,4 m/s (-2%, +8%)
- Rapport de réduction du réducteur de vitesse : 1/75
- Diamètre utile du treuil : 600 mm
- Inertie globale peu différente de celle du moteur
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1

Nota : les grandeurs non définies seront considérées comme négligeables.

1. Calculer la vitesse de rotation nominale du moteur pour une vitesse linéaire de 0.4 m/s
2. Déterminer le couple permettant d'obtenir la vitesse souhaitée à la montée
3. Déterminer le couple permettant d'obtenir l'accélération souhaitée à la montée
4. Déterminer la puissance de dimensionnement de la machine (les conditions d'utilisation dans le cas le plus défavorable permettent de rester dans le service S1)
5. Choisir précisément le moteur parmi ceux proposés
6. Evaluer la durée de démarrage obtenue avec ce moteur

En cas d'arrêt normal le freinage est électrique le frein mécanique se bloque à l'arrêt total

7. Déterminer le couple de freinage nécessaire au maintien de la charge en position
8. Choisir le frein capable de convenir

En cas d'arrêt d'urgence le moteur est mis hors tension le frein mécanique doit alors assurer seul le freinage complet de la charge. La vitesse max. en descente est de 1030 tr.min⁻¹

9. Déterminer le frein capable de respecter le cahier des charges
10. Quelle sera alors la durée complète de l'arrêt avec le frein choisi ?
11. Calculer le travail de friction pour un freinage isolé
12. Combien de freinages peut-on espérer effectuer avec le frein choisi ?

Cela vous semble-t-il raisonnable justifier ?