

Génie électrique
Systèmes d'entraînement

Dimensionnement de moteurs

Fiches méthodes

Imprimées sur papier jaune
utilisables comme document-ressource

- ✓ Moteurs asynchrones
- ✓ Moteurs à courant continu
- ✓ Moteurs synchrones - Servo

Section de Technicien Supérieur en Électrotechnique

Lycée Bernard Palissy
1 rue de Gascogne
17107 Saintes

1. Présentation

Les caractéristiques d'une machine électrique sont fournies par son constructeur pour une utilisation continue permettant d'atteindre l'équilibre thermique (correspond au service-type S1). Par exemple, une machine de 1,5 kW pourra effectivement fournir cette puissance en marche continue et constante sans échauffement dangereux.

Par contre, si la même charge doit être entraînée avec de nombreux accélérations et freinages, le moteur de 1,5 kW aura tendance à chauffer, parfois jusqu'à se détériorer. Il faudra donc choisir un moteur de puissance supérieure (ex. 2,2 kW) permettant d'évacuer correctement l'énergie calorifique.

A l'opposé, si un moteur doit entraîner une charge de 1,5 kW sur une durée très courte, avec très peu de démarrages à l'heure, la machine aura suffisamment de temps de refroidir entre chaque cycle, on pourra alors sous-dimensionner le moteur en choisissant un modèle 1 kW, pour un moindre coût à l'achat.

Le calcul de la puissance équivalente-S1 permet de choisir le moteur adapté au mode de service utilisé.

1.1. Définitions

Un service-type est une forme simplifiée de service. Cela signifie qu'un service sera complètement défini par l'indication du service-type et d'un régime constant. Toutefois, dans le cas particulier du service-type S 8, on considère plusieurs régimes constants.

Équilibre thermique. - État atteint quand les températures observées des diverses parties de la machine ne varient pas de plus de 2°C par heure.

Repos. - Suppression complète de tout mouvement et de toute alimentation électrique ou mécanique.

Fonctionnement à vide. - État obtenu après suppression de la charge, sous la tension nominale (Sauf indication contraire).

Facteur de marche. - Dans certains services-types, rapport entre le temps de fonctionnement en régime, y compris le démarrage et le freinage électrique, et la durée d'un cycle.

Voir aussi :

- Méthode : Calcul de puissance équivalente-S1 pour moteurs à courant continu (index 4333)
- Méthode : Calcul de puissance équivalente-S1 pour moteurs asynchrones (index 4433)

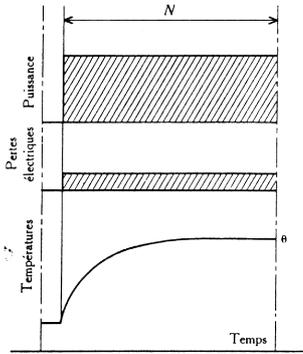
2. Crédits et liens

➤ Merci à Philippe LE BRUN, lycée Louis Armand, 94736 Nogent s/ Marne pour son cours sur la machine asynchrone <http://www.ac-creteil.fr/Lycees/94/larmandnogent/enseigne/ressources/techno/bourse%20cours/cours1.html>

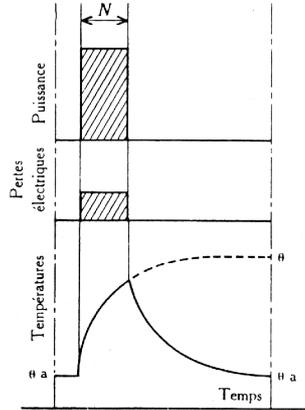
3. Services types

3.1. Graphes de fonctionnement

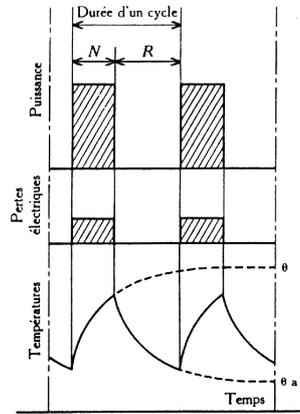
S1 : Service continu



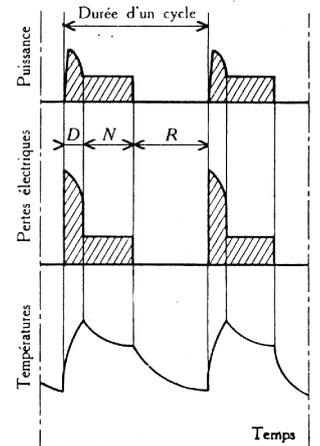
S2 : Service temporaire



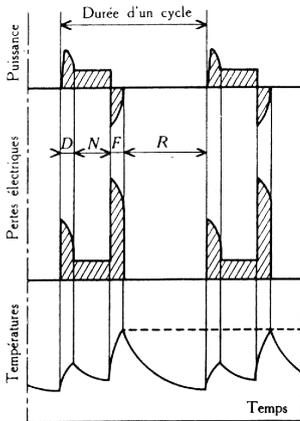
S3 : Service intermittent périodique



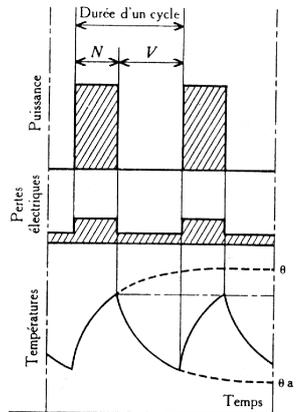
S4 : Service intermittent périodique à démarrage



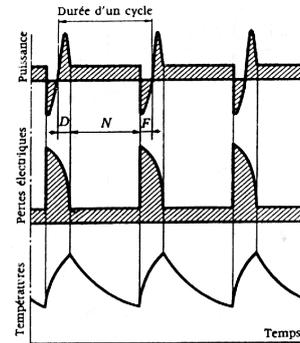
S5 : Service intermittent périodique à freinage électrique



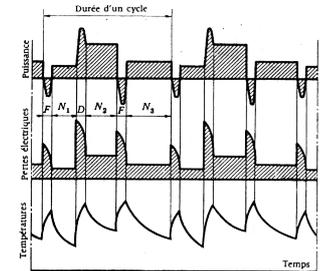
S6 : Service ininterrompu périodique à charge intermittente



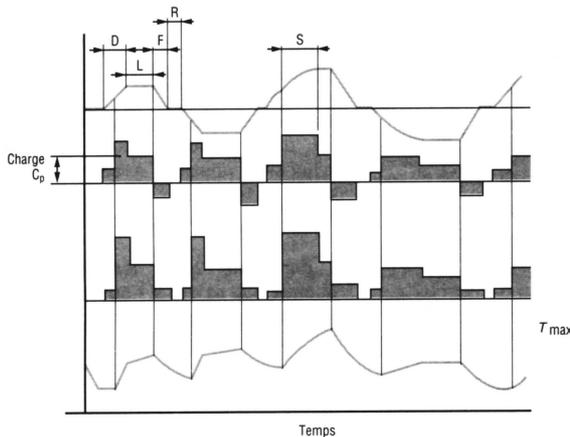
S7 : Service ininterrompu périodique à freinage électrique



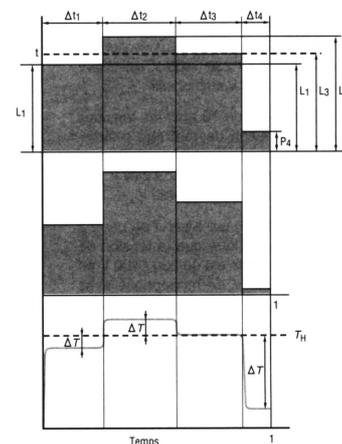
S8 : Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse



S9 : Service à variations non périodique de charge et de vitesse



S10 : Service avec charges constantes distinctes



3.2. Définitions

Service continu S 1

Forme de service comportant un fonctionnement à régime constant d'une durée suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint.

Services temporaires S 2

Formes de services comportant un fonctionnement à régime constant pendant un temps N déterminé, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un repos d'une durée suffisante pour rétablir l'égalité de température avec celle du milieu refroidissant.

Services intermittents périodiques S 3

Forme de services composés d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps N de fonctionnement à un régime constant, et un temps R de repos, ces temps étant insuffisants pour que l'équilibre thermique soit atteint aussi bien pendant les périodes d'échauffement que pendant les périodes de refroidissement.

Services intermittents à démarrage S 4

Formes de services composés d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps D de démarrage, un temps N de fonctionnement à un régime constant et un temps R de repos. Les temps de fonctionnement et de repos sont suffisamment courts pour que l'équilibre thermique ne soit pas atteint au cours d'un cycle.

- *Dans ces services, l'arrêt du moteur est obtenu, soit par ralentissement naturel après coupure de courant, soit par un moyen de freinage tel qu'un frein mécanique ne provoquant pas d'échauffement supplémentaire des enroulements*

Services intermittents à démarrage et freinage électrique S 5

Formes de services composés d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps D de démarrage, un temps N de fonctionnement à régime constant, un temps F de freinage et un temps R de repos. Les temps de fonctionnement et de repos sont suffisamment courts pour que l'équilibre thermique ne soit pas atteint au cours d'un cycle.

- *Dans ces services, le freinage est rapide et réalisé par un procédé électrique.*

Services ininterrompus à charge intermittente S 6

Formes de services composés d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps N de fonctionnement à régime constant et un temps V de fonctionnement à vide, ces temps étant insuffisants pour que l'équilibre thermique soit atteint, aussi bien pendant les périodes d'échauffement que pendant les périodes de refroidissement.

Services ininterrompus à démarrage et freinage S 7

Formes de services composées d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps de démarrage, un temps de fonctionnement à régime constant et un temps de freinage électrique. Les temps de fonctionnement sont suffisamment courts pour que l'équilibre thermique ne soit pas atteint au cours d'un cycle. Il n'existe pas de temps de repos, le moteur restant pratiquement toujours sous tension.

Services ininterrompus à changement de vitesse périodique S 8

Formes de services composés d'une suite de cycles identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à régime constant correspondant à une vitesse de rotation déterminée suivi de temps de fonctionnement à d'autres régimes correspondant à des vitesses de rotation différentes réalisées par exemple par changement du nombre de pôles dans le cas de moteur à induction.

- *Les temps de fonctionnement sont suffisamment courts pour que l'équilibre thermique ne soit pas atteint au cours du cycle. Il n'existe pas de temps de repos, le moteur restant pratiquement toujours sous tension.*

Service à variations non périodique de charge et de vitesse 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.

Service avec charges constantes distinctes 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).

1. Présentation

La puissance qui peut être fournie par un moteur dépend de ses conditions de fonctionnement, donc de la température ambiante moyenne. L'altitude d'utilisation et le mode de refroidissement sont donc à prendre en compte.

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

2.1. 1^{ère} abaque

Le tableau ci-dessous montre la puissance utile que peut fournir un moteur par rapport à sa puissance nominale. Par exemple :

> à 40°C, et à moins de 1000 m d'altitude, un moteur de 1 (kW) peut fournir 1 (kW) en continu.

> à 40°C, et à 3000 m d'altitude, un moteur de 1 (kW) ne pourra fournir que 0,88 (kW).

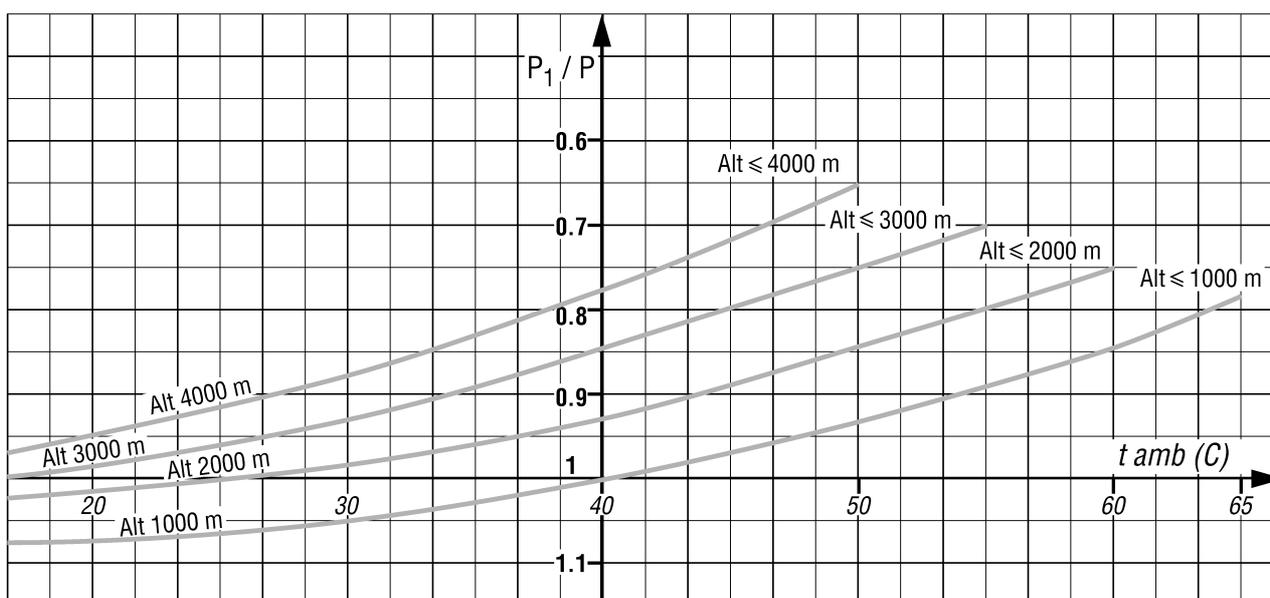
Pour un besoin de 1 (kW) utile, il faudra donc choisir un moteur de $1 / 0,88 = 1,14$ (kW)

> à 50°C, et à moins de 1000 m d'altitude, un moteur de 1 (kW) ne pourra fournir que 0,92 (kW).

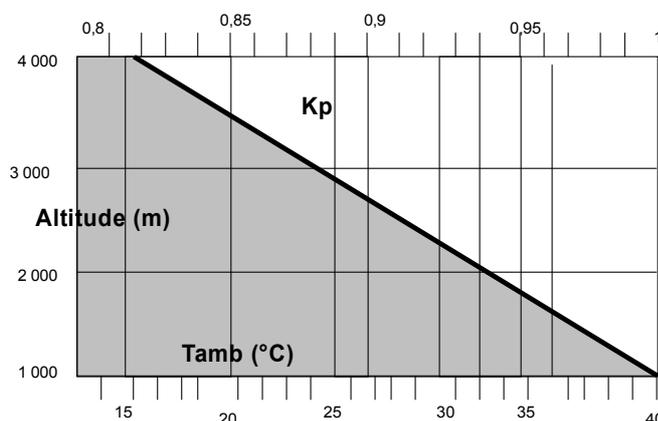
Pour un besoin de 1 (kW) utile, il faudra donc choisir un moteur de $1 / 0,92 = 1,09$ (kW)

> à 20°C, et à moins de 1000 m d'altitude, un moteur de 1 (kW) pourra fournir jusqu'à 1,1 (kW).

Pour un besoin de 1 (kW) utile, on pourra donc choisir un moteur de $1 / 1,1 = 0,909$ (kW) (plus petit), à condition qu'il vérifie toutes les autres conditions de fonctionnement.



2.2. Autre abaque



Fiches méthodes

Moteurs asynchrones

1. Présentation

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

Désignation :

La désignation complète d'un moteur reprend les paramètres suivants :

- ➔ Caractéristique mécanique : puissance, vitesse
- ➔ Caractéristique électrique : tension, fréquence, nombre de phases
- ➔ Forme de construction : suivant type de fixation
- ➔ Spécification particulière : forme de l'arbre, température, altitude
- ➔ Type de construction : suivant l'indice de protection

Exemple : Moteur réf. **4P LS 180 MT 18,5kW IM1001 400V 50 Hz IP55 :**

4P 1500 min ⁻¹	LS	180	MT	18,5 kW	IM 1001 (IM B3)	400 VΔ	50 Hz	IP 55
Polarité vitesse	Type moteur	Hauteur d'axe CEI 60072-1	Désignation du carter et indice constructeur	Puissance nominale	Position de montage CEI 60034-7	Tension réseau	Fréquence réseau	Protection CEI60034-5

2. Méthode

2. Méthode.....	1
2.1. Déterminer la caractéristique mécanique de la charge :	2
2.2. Effectuer un premier choix de moteur pour le régime établi.....	2
2.3. Calculer le(s) couple(s) nécessaire(s) :	2
2.4. Déterminer les conditions de démarrage :	2
2.5. Calculer le déclassement / surclassement selon le type de service identifié.....	3
2.6. Affiner / valider / corriger le choix de moteur adapté au service de fonctionnement.....	3
2.7. Prise en compte de la température et/ou de l'altitude.....	3
2.8. Prendre en compte le mode de refroidissement.....	3
2.9. Prendre en compte un déséquilibre de tension.....	3
2.10. Choisir l'indice de protection du moteur.....	4
2.11. Mode de fixation, position de fonctionnement et accouplement mécanique.....	4
2.12. Protection thermique.....	4
2.13. Relèvement du facteur de puissance.....	4

La Caractéristique couple/ vitesse de la machine entraînée doit être connue, tout comme la vitesse désirée.

2.1. Déterminer la caractéristique mécanique de la charge :

- N_2 : Vitesse nominale de la charge
- N_1 : Vitesse nominale de l'arbre moteur avant réducteur de vitesse éventuel
- En déduire le nombre de paires de pôles
- C_{r2} : Couple résistant nominal de la charge
- C_{r1} : Couple résistant sur l'arbre moteur avant réducteur de vitesse éventuel
- Type de couple : linéaire, parabolique, hyperbolique ?
- P_r : Puissance requise par la charge
- S_x : Service type : S1, S3, S4, ...

2.2. Effectuer un premier choix de moteur pour le régime établi

... selon les caractéristiques mécaniques d'entraînement :

- Vitesse **N**
- Puissance utile **$P_u \geq P_r$**
- Couple d'entraînement **$C_e \geq C_r$**

En régime établi (pas d'accélération), le couple moteur s'adapte (est égal) au couple résistant.

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

Voir [Cours et Documentation sur les Calculs de puissance selon les métiers](#)

2.3. Calculer le(s) couple(s) nécessaire(s) :

- pour les démarrages C_{acc}
- Pour les freinages C_{dec}

... si l'on désire une accélération plus grande que l'accélération naturelle et/ou un freinage.

La différence du couple électrique et du couple résistant est le **couple accélérateur** qui va permettre l'augmentation de la vitesse du moteur jusqu'au régime établi.

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

*Les **accélérations** et **décélérations** souhaitées doivent être connues.*

L'inertie de la machine entraînée doit être connue et celle du moteur doit être estimée.

2.4. Déterminer les conditions de démarrage :

- Retrouver le couple de démarrage C_d selon la documentation
- Calculer le couple accélérateur disponible $C_{acc_{dem}}$
- Déterminer par calcul ou par abaque le temps de démarrage T_d

Différentes méthodes permettent d'**approcher le calcul du temps de démarrage** d'un ensemble moteur + charge, calculatoires, ou graphiques. Voir [Méthode : Calcul des temps de démarrage \(index 4423\)](#)

2.5. Calculer le déclassement / surclassement selon le type de service identifié
... pour le moteur, parmi les services-type S1 à S8 (voire S9, S10).

En déduire la puissance nécessaire équivalente à un mode de fonctionnement continu (S1).

Voir [Documentation sur les services types \(index 4232\)](#) et [Méthode sur les déclassements-surclassements \(index 4433\)](#)

2.6. Affiner / valider / corriger le choix de moteur adapté au service de fonctionnement
... en fonction de la **puissance-équivalente-S1** ou du **déclassement** déterminé précédemment.

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

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

2.7. Prise en compte de la température et/ou de l'altitude

Rappel : les documentations constructeurs sont fournies pour une utilisation du moteur :

- ◆ A **température ambiante** comprise entre + 5 et + 40 °C,
- ◆ A une **altitude** inférieure à 1000 m,

Il faudra donc choisir adapter la puissance du moteur selon les conditions réelles d'utilisation.

Voir [Documentation : Corrections relatives à la température et l'altitude \(index 4252\)](#)

2.8. Prendre en compte le mode de refroidissement

Rappel : les documentations constructeurs sont fournies pour :

- ◆ Mode de refroidissement IC 411 (ou IC 41)
= refroidi par la surface du moteur, auto-ventilé (ventilateur en bout d'arbre).

Voir [Documentation : Modes de refroidissement \(index 4262\)](#)

2.9. Prendre en compte un déséquilibre de tension

Le calcul du déséquilibre se fait en considérant l'écart entre la tension la plus élevée et la tension la plus faible. Lorsque ce déséquilibre est connu ou prévisible il est conseillé d'appliquer un facteur de déclassement;

Voir [Documentation : Déclassements sur déséquilibre de tension \(index 4272\)](#)

→ Effectuer le choix final du moteur selon ses caractéristiques électriques et ses conditions d'utilisation.

2.10. Choisir l'indice de 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.

Voir [Documentation : Indices de protection IP et IK \(index 4282\)](#)

2.11. 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 ...

Voir [Documentation : Modes de fixation \(index 4292\)](#)

2.12. Protection thermique

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 associée
- ◆ Thermocouple type T ou K à chauffage indirect avec électronique associée

2.13. 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 tout du 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**.

Voir Méthode sur la Compensation d'énergie réactive

3. Crédits et liens

➤ Merci à Philippe LE BRUN, lycée Louis Armand, 94736 Nogent s/ Marne pour son cours sur la machine asynchrone <http://www.ac-creteil.fr/Lycees/94/larmandnogent/enseigne/ressources/techno/bourse%20cours/cours1.html>

1. Calcul du couple accélérateur disponible

C'est le couple d'entraînement moyen C_e développé par le moteur durant la phase de démarrage diminué du couple résistant moyen pendant la même période (C_r) :

$$Ca_{dem} = Ce_{dem} - Cr \quad (\text{formule simplifiée pour un seul sens de rotation})$$

1.1. Ce_{dem} à partir du tableau de sélection seul

➤ Le constructeur Leroy-Somer donne une relation permettant d'estimer le couple accélérateur Ce_{dem} :

$$Ce_{dem} = \frac{C_n \times (K_t + 2)}{3} \quad \text{avec } K_t = \frac{C_d}{C_n}$$

➤ avec C_d = Couple de démarrage, C_n = couple nominal

$$Ca_{dem} = Ce_{dem} - Cr$$

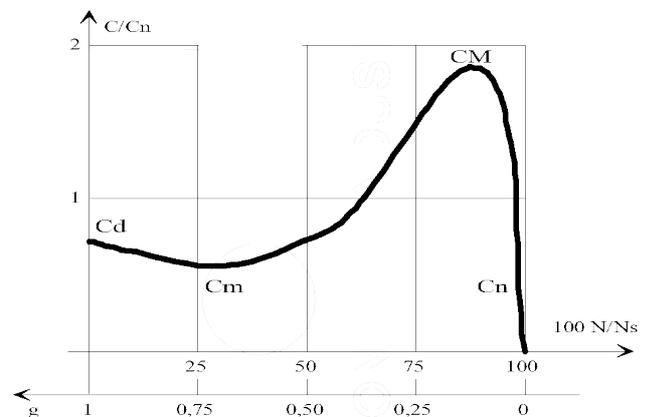
1.2. Ce_{dem} à partir de la courbe moteur

➤ Il peut se simplifier par une estimation en :

$$Ce_{dem} = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} \quad \text{avec :}$$

- ◆ C_d : couple de démarrage
- ◆ C_m : couple d'accrochage
- ◆ C_M : Couple maximal ou de décrochage
- ◆ C_n : couple nominal

$$Ca_{dem} = Ce_{dem} - Cr$$



2. Calcul du temps de démarrage

2.1. Grandeurs utilisées

➤ t_d : temps de démarrage (s)

➤ n_f : vitesse finale (tr/min)

➤ J_T : inertie totale ramenée sur l'arbre moteur = inertie de la charge + inertie du moteur

- ◆ Bien souvent, le constructeur donne le moment de giration MD^2 , on en déduit le moment d'inertie J en divisant par 4 le moment de giration :
- ◆ Si l'on modifie la vitesse, le moment de giration sera alors de :

$$J = \frac{M \cdot D^2}{4} \quad \text{en } kg \cdot m^2$$

$$M \cdot D^2 = M_0 \cdot D_0^2 \times \left(\frac{N_0}{N}\right)^2$$

2.2. Méthode analytique

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

$$t_d = \frac{J_T \times \Delta \Omega}{C_{acc}} \quad \text{ou} \quad t_d = \frac{J_T}{C_{acc}} \frac{n_f 2\pi}{60}$$

2.3. Autres relations utilisées

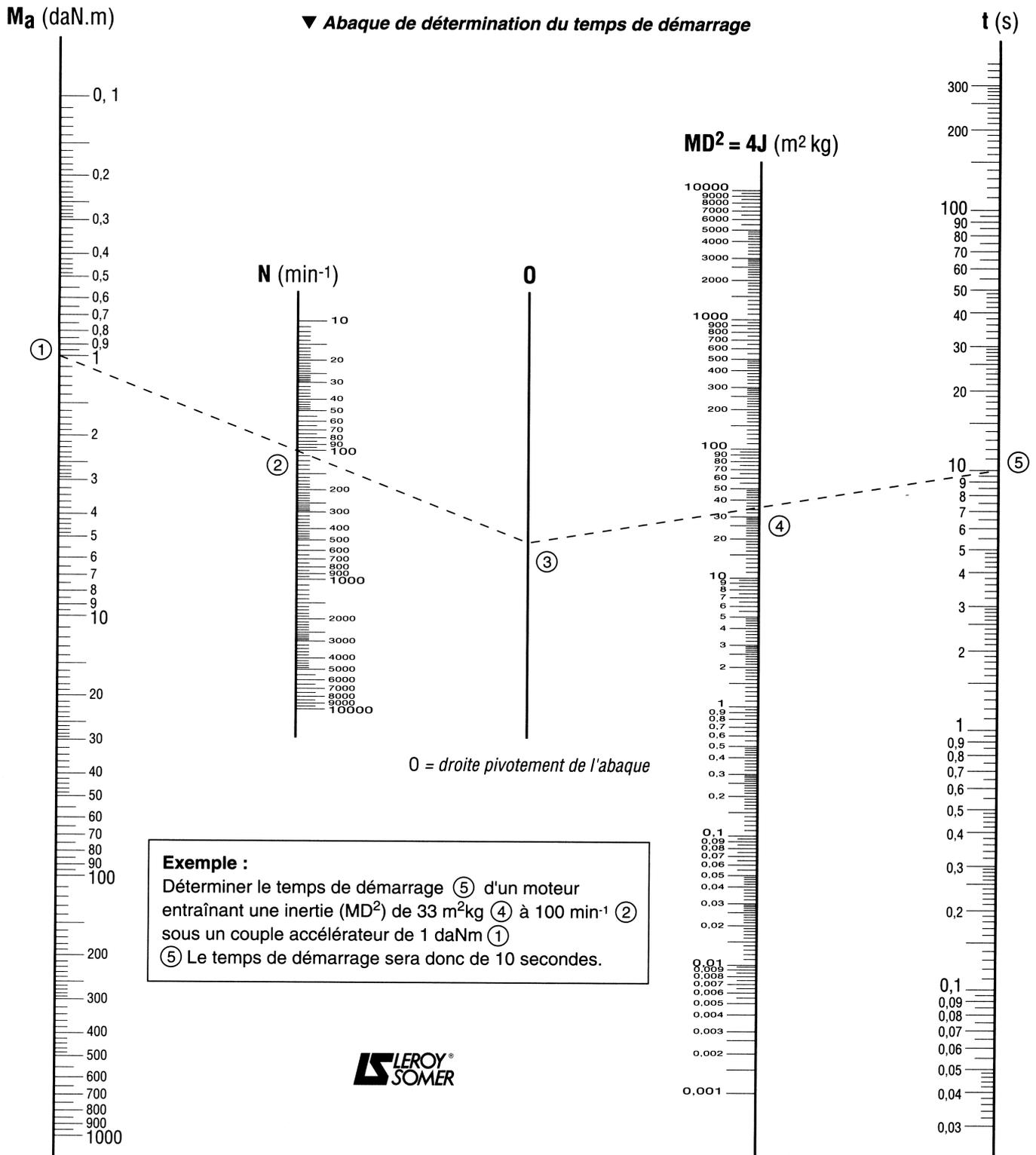
$$t_d = \frac{MD^2 \times N}{(40 \times C_{acc})} \quad \text{si on considère que } \frac{2\pi}{60} = \frac{6,28}{60} \approx \frac{1}{10} \quad (N \text{ en tr/min})$$

$$t_d = \frac{MD^2 \times N}{40 \times 10 \times C'_{acc}} \quad \text{avec } \frac{2\pi}{60} \approx \frac{1}{10} \quad \text{et } C_{acc} (Nm) = g \times C'_{acc} \quad (\text{en } kg \cdot m)$$

3. Méthode graphique

L'abaque ci-dessous permet de déterminer le **temps de démarrage** par la méthode suivante :

- ◆ placer le couple accélérateur sur l'axe en ①,
- ◆ placer la vitesse à atteindre sur l'axe en ②,
- ◆ faire passer une droite par les points ① et ②, et placer le point ③ d'intersection avec la droite de pivotement,
- ◆ placer l'inertie de la charge (totale = moteur + système entraîné) sur l'axe en ④,
- ◆ faire passer une droite par les points ③ et ④. **Relever la valeur** au point d'intersection avec l'axe des temps en ⑤.



1. Présentation

Les caractéristiques d'une machine électrique sont fournies par son constructeur pour une utilisation continue permettant d'atteindre l'équilibre thermique (correspond au service-type S1). Par exemple, une machine de 1,5 kW pourra effectivement fournir cette puissance en marche continue et constante sans échauffement dangereux.

Par contre, si la même charge doit être entraînée avec de nombreux accélérations et freinages, le moteur de 1,5 kW aura tendance à chauffer, parfois jusqu'à se détériorer. Il faudra donc choisir un moteur de puissance supérieure (ex. 2,2 kW) permettant d'évacuer correctement l'énergie calorifique.

A l'opposé, si un moteur doit entraîner une charge de 1,5 kW sur une durée très courte, avec très peu de démarrages à l'heure, la machine aura suffisamment de temps de refroidir entre chaque cycle, on pourra alors sous-dimensionner le moteur en choisissant un modèle 1kW, pour un moindre coût à l'achat.

Le calcul de la puissance équivalente-S1 permet de choisir le moteur adapté au mode de service utilisé.

2. Grandeurs mises en jeu à déterminer

On a :

Grandeur	Définition	Formule / Remarques
t_d (s)	temps de démarrage avec un moteur de puissance P_n	
n_D	nombre de démarrages dans l'heure	
n_F	nombre de freinages électriques dans l'heure	Un arrêt par coupure d'alimentation n'est pas un freinage !
n_i	nombre d'impulsions dans l'heure	Impulsion = démarrage incomplet : jusqu'à 1/3 de la vitesse finale
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	

Calculer :

n	classe de démarrage ou nombre de démarrages équivalents par heure	$n = n_D + 3.n_F + 0,5.n_i$ (moteur à cage) $n = n_D + 0,8.n_F + 0,25.n_i$ (moteur à bagues)
Fdm ou K	facteur de marche (x 100 → en %)	$\frac{\text{durée de fonctionnement à } P_u}{\text{durée totale du cycle}}$

3. Détermination par méthode graphique

On effectue un déclassement ou un surclassement en fonction de :

- **Facteur de marche FdM ou K**

Il s'agit du rapport, exprimé en %, de la durée de mise sous tension du moteur pendant le cycle (N), à la durée totale du cycle (N+R), à condition que celle-ci soit inférieure à 10 minutes.

- **Facteur de démarrage Kd**

Le facteur de démarrage Kd se définit à l'aide de la **classe de démarrage n** et du **temps de démarrage t_d** (secondes) :

$$K_d = \frac{n \times t_d}{36} \quad \text{résultat *directement* en \%}$$

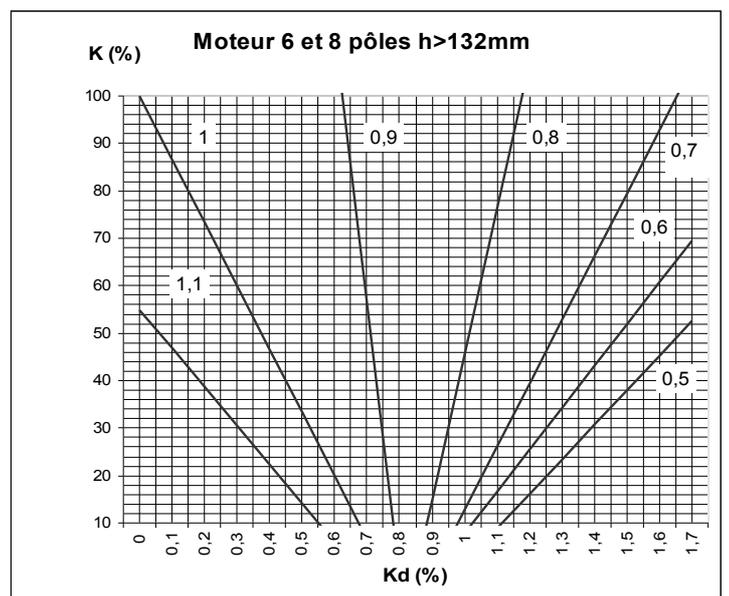
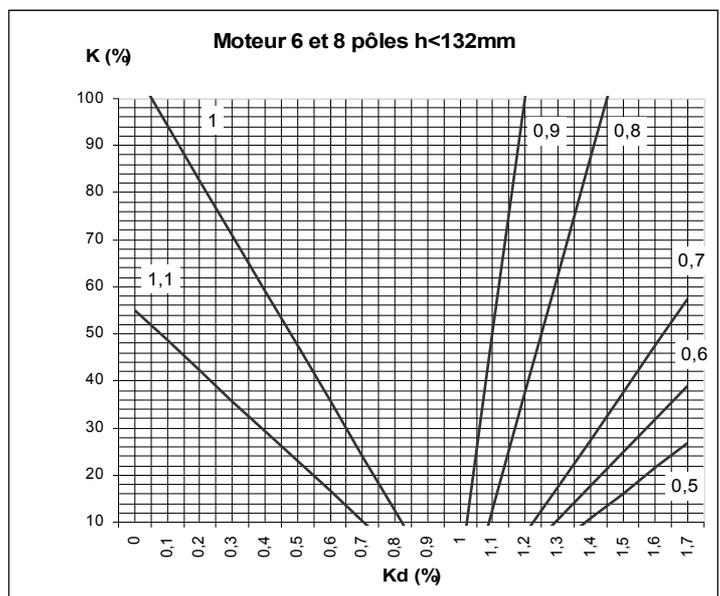
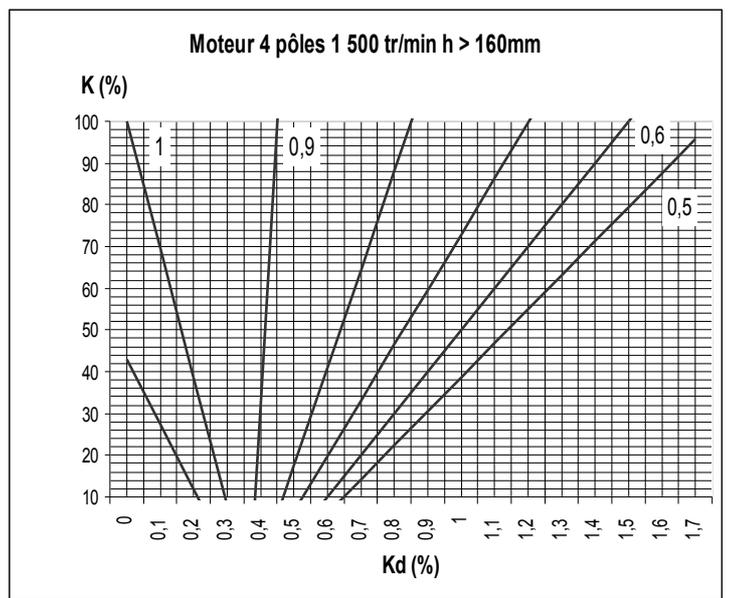
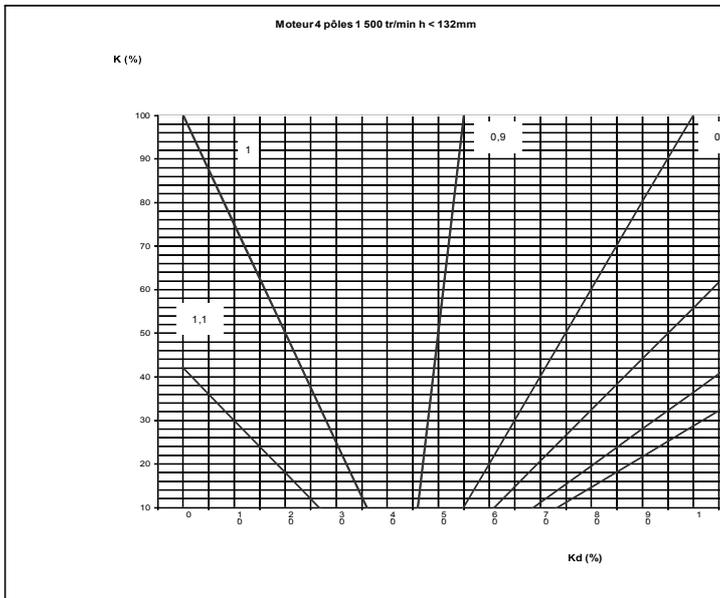
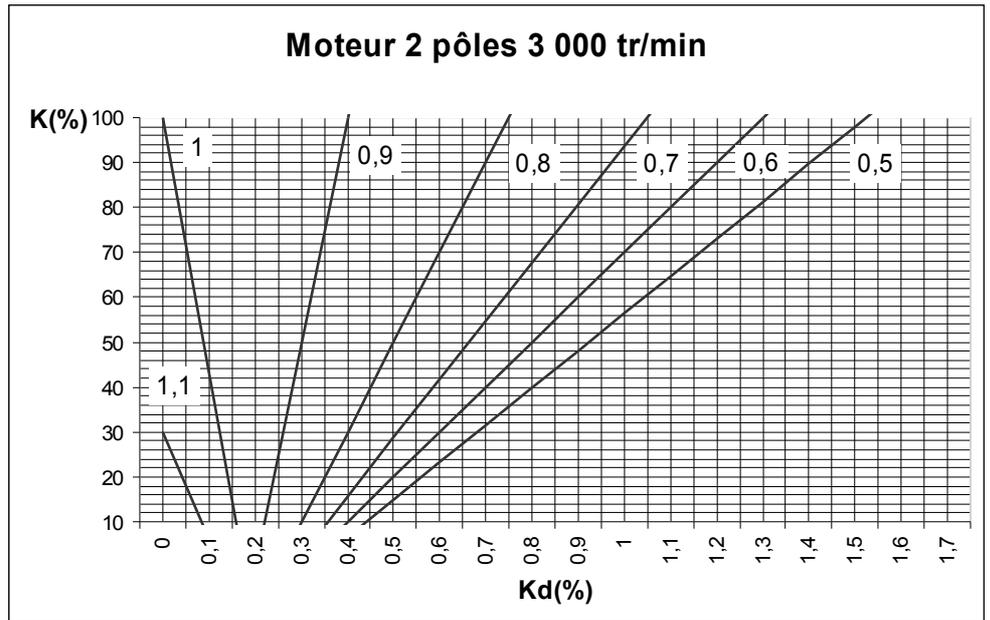
Graphes de déclassements

On sélectionne le graphe utile d'après :

- **le nombre de pôles,**
- **la hauteur d'axe.**

La détermination se fait graphiquement et on **obtient le rapport P / Pn**

- P : puissance que peut fournir le moteur dans le mode de fonctionnement (service) intermittent étudié,
- Pn : représente la puissance nominale en fonctionnement continu (Service S1).



4. Méthode calculatoire : puissance équivalente-S1

4.1. Valeurs affectées aux grandeurs selon les services

N = temps en fonctionnement Normal

D = temps de Démarrages

F = temps de Freinage

R = temps de Repos

Service	Valeur du marche à choisir	Valeur du nombre de démarrages
S1	FdM = 1	$n \leq 6$
S2	FdM selon CdC,	$n = 1$
S3	$Fdm = N / (N + R)$	0
S4	$Fdm = (N+D) / (N+D+R)$	n selon cahier CdC , remplacer n par 4n dans la formule.
S5	$Fdm = (N+D+F) / (N+D+F+R)$,	n selon CdC, remplacer n par 4n dans la formule
S6	$Fdm = N/(N+V)$	$n = 0$
S7	Fdm = 1	n selon CdC , remplacer n par 4n dans la formule
S8	Fdm = 1,	n selon CdC , remplacer n par 4n dans la formule
S9	Fdm = 1,	n selon CdC , remplacer n par 4n ; Calcul de P pour régime intermittent.
S10	Fdm = 1	N= 0 ; Calcul de P pour régime intermittent.

4.2. Calculs

4.2.1. Calcul de la **puissance équivalente-S1** en fonction des services S2 à S7

$$P_{S1} = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left(\frac{I_d}{I_n} \times P_n\right)^2 + (3600 - n \times t_d) \times P_u^2 \times F_{dm}}{3600}} \quad \text{avec : } \frac{I_d}{I_n} = \text{propriété du moteur}$$

Les paramètres n et Fdm sont définis pour chacun des services-types.

4.2.2. Cas des charges intermittentes : service S8 à S10

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

- Les P_i inférieurs à $P_n / 2$ (puissance nominale moteur) seront remplacée par $P_n / 2$
- 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

5. Crédits et liens

➢ Merci à Philippe LE BRUN, lycée Louis Armand, 94736 Nogent s/ Marne pour son cours sur la machine asynchrone
<http://www.ac-creteil.fr/Lycees/94/larmandnogent/enseignement/ressources/techno/bourse%20cours/cours1.html>

Fiches méthodes

**Moteurs
à courant continu**

1. Présentation

Le choix d'un moteur à courant continu 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 maximum,
- ◆ La vitesse minimum,
- ◆ L'accélération et la décélération maximum,
- ◆ La qualité, la précision et la dynamique du couple et de la vitesse.

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

- ◆ La consommation d'énergie réactive,
- ◆ Le taux d'harmoniques imposé au réseau,
- ◆ La compatibilité électromagnétique.

Désignation :

La désignation complète d'un moteur reprend les paramètres suivants :

LSK	1604	L 10	460 V	2330 min⁻¹	113 kW	IM 1001	210 V	IC 06	IP 23S
1									
Type moteur	Hauteur d'axe Polarité	Désignation stator Indice constructeur	Tension d'induit	Vitesse nominale	Puissance nominale	Norme de construction	Tension d'excitation	Indice de refroidissement	Indice de protection

2. Méthode

2. Méthode.....	1
2.1. Déterminer la caractéristique mécanique de la charge :.....	2
2.2. Calculer le(s) couple(s) nécessaire(s) :.....	2
2.3. Calculer le déclassement / surclassement selon le type de service identifié.....	2
2.4. Prendre en compte la température et/ou l'altitude.....	2
2.5. Prendre en compte le mode de refroidissement.....	2
2.6. Prendre en compte la classe d'isolation.....	2
2.7. Déterminer la tension maximale d'induit.....	3
2.8. Sélectionner le moteur adapté en fonction de la puissance et de la vitesse.....	3
2.9. Choisir l'indice de protection du moteur.....	3
2.10. Mode de fixation, position de fonctionnement et accouplement mécanique.....	3

2.1. Déterminer la caractéristique mécanique de la charge :

- N_2 : Vitesse nominale de la charge
- N_1 : Vitesse nominale de l'arbre moteur avant réducteur de vitesse éventuel
- C_{r2} : Couple résistant nominal de la charge
- C_{r1} : Couple résistant sur l'arbre moteur avant réducteur de vitesse éventuel
- Type de couple : linéaire, parabolique, hyperbolique ?
- P_r : Puissance requise par la charge
- S_x : Service type : S1, S3, S4, ...

Voir [Cours et Documentation sur les Calculs de puissance selon les métiers](#)

2.2. Calculer le(s) couple(s) nécessaire(s) :

- pour les démarrages C_{acc}
- Pour les freinages C_{dec} decD:_fichiers\s4-Systemes-d-entrainements\s42-Guides-de-choix-Communs\Metho-i4233-Choix-Services-types.v111.odt

... si l'on désire une accélération plus grande que l'accélération naturelle et/ou un freinage.

La différence du couple électrique et du couple résistant est le **couple accélérateur** qui va permettre l'augmentation de la vitesse du moteur jusqu'au régime établi.

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

*Les **accélérations** et **décélérations** souhaitées doivent être connues.*

L'inertie de la machine entraînée doit être connue et celle du moteur doit être estimée.

Différentes méthodes permettent d'**approcher le calcul du temps d'accélérations** d'un ensemble moteur + charge, calculatoires, ou graphiques.

2.3. Calculer le déclassement / surclassement selon le type de service identifié

En déduire la puissance nécessaire équivalente à un mode de fonctionnement continu (S1).

Voir [Méthode sur les services types \(index 4233\)](#) et [Méthode sur les services-types pour MCC \(index 4333\)](#)

2.4. Prendre en compte la température et/ou l'altitude

Rappel : les documentations constructeurs sont fournies pour une utilisation du moteur :

- ◆ A **température ambiante** comprise entre + 5 et + 40 °C,
- ◆ A une **altitude** inférieure à 1000 m,

Il faudra donc choisir adapter la puissance du moteur selon les conditions réelles d'utilisation.

Voir [Méthode : Corrections relatives à la température et l'altitude \(index 4253\)](#)

2.5. Prendre en compte le mode de refroidissement

Voir [Documentation : Modes de refroidissement pour moteurs à courant continu](#)

2.6. Prendre en compte la classe d'isolation

[Voir Documentation : Classes d'isolation pour moteurs à courant continu](#)

2.7. Déterminer la tension maximale d'induit

Les tensions maximales d'induit en fonction du secteur, pour un redresseur commandé, sont les suivantes :

Secteur Monophasé		Secteur Triphasé	
Tension pour 50 Hz	Tension d'induit continue	Tension pour 50 Hz	Tension d'induit continue
220 V – 230 V	180 V – 190 V	220 V	250 V
240 V	200 V	240 V	270 V
380 V – 400 V	310 V – 320 V	380 V	440 V
415 V	340 V	400 V	460 V
		415 V	470 V
		440 V	500 V
		500 V	570 V
		660 V	750 V

Pour un hacheur elles dépendent de la tension du bus continu.

2.8. Sélectionner le moteur adapté en fonction de la puissance et de la vitesse

... désirées grâce au diagramme de présentation de la gamme du constructeur et aux fiches de sélection de moteur.

Voir [Méthode : Sélection d'un moteur à courant continu \(index 4383\)](#)

Pour des conditions d'emploi différentes de la norme CEI 34-1, on aura appliqué le(s) coefficient(s) de correction de la puissance avant de prédéterminer notre moteur.

2.9. Choisir l'indice de 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.

Voir [Documentation : Indices de protection IP et IK](#)

2.10. 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 ...

Voir [Documentation : Modes de fixation](#)

3. Crédits et liens

➤ Merci à Philippe LE BRUN, lycée Louis Armand, 94736 Nogent s/ Marne pour son cours sur la machine asynchrone <http://www.ac-creteil.fr/Lycees/94/larmandnogent/enseigne/ressources/techno/bourse%20cours/cours1.html>

1. Calculs

1.1. Facteurs de correction affectés aux services

S1 : 1

S2 :	Temps de marche par période de 90 min			
	10 min	30 min	60 min	90 min
Facteur de correction	1,6	1,3	1,1	1

S3 :	Facteur de marche N / (N + R)			
	15 %	25 %	40 %	60 %
Facteur de correction	1,6	1,4	1,2	1,1

S6 :	Facteur de marche N / (N + V)			
	15 %	25 %	40 %	60 %
Facteur de correction	1,6	1,4	1,3	1,2

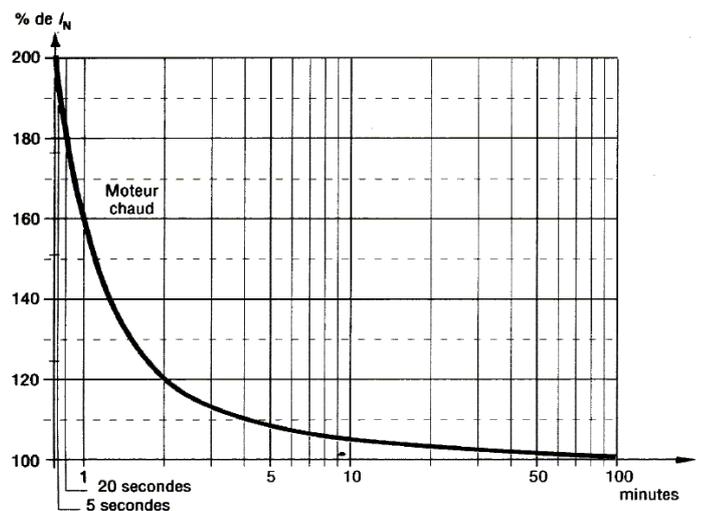
S4, S5, S7, S8, S9, S10 : il est nécessaire de déterminer le couple moteur moyen équivalent.

1.2. Calcul du couple moteur efficace équivalent

$$C_{rms} = \sqrt{\frac{C_{m1}^2 \cdot t_1 + C_{m2}^2 \cdot t_2 + \dots + C_{mi}^2 \cdot t_i + \dots + C_{mn}^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_i + \dots + t_n}}$$

avec :

- $C_{mi} = C_{m1}, C_{m2}, C_{m3}, \dots$ pour chaque phase
- Les C_{mi} inférieurs à $C_{nom} / 2$ (couple nominal moteur) seront remplacés par $C_{nom} / 2$
- Aucun des C_{mi} ne dépassera $2 \times C_{nom}$
- Aucune des surcharges ne dépassera la limite autorisée pour le moteur (voir ci-contre)



1. Choisir le moteur adapté en fonction de la puissance et de la vitesse

Cette fiche méthode est une fiche-détail de la [Méthode : Guide de choix d'un moteur à courant continu \(Index 4303\)](#).

1.1. Adapter la puissance nécessaire à la tension de sélection du graphe

Le constructeur fournit un graphe **vitesse / puissance** pour **une tension d'induit** déterminée (voir page suivante).

(La gamme est définie par le courant admissible dans les enroulements => $P_G = \frac{P}{U_1} \times U_N$)

La tension utilisée dépend du réseau disponible et du type de redressement utilisé.

Exemple : si $U = 220 / 380 \text{ V} \sim$:

- ◆ la tension redressée moyenne en monophasé est 180 V,
- ◆ la tension redressée moyenne en triphasé est 440 V.

Pour une tension d'utilisation différente de 460 V des règles de trois (règles de **proportionnalité**, produit en croix) pourront être appliquées.

- ◆ Lorsque la tension varie, la vitesse nominale varie linéairement : $U = E + r.I = K.N. \Phi + r.I$ aux pertes près
- ◆ Lorsque la tension varie, la puissance disponible varie proportionnellement : $P = U . I$ à couple (donc I) nominal.

Par exemple le moteur LSK 2004C qui offre 160 kW sur son arbre moteur à 1500 tr/min pour une tension de 460 V ne dispose plus, pour une tension de 270 V, que $160 \text{ kW} \times \frac{270}{460} = 94 \text{ kW}$.

Dans le cas d'une étude, si l'on a besoin d'un moteur de 10 kW sous 200 V, il faudra sélectionner un moteur de

$$10 \times 460 / 200 = 23 \text{ kW}$$

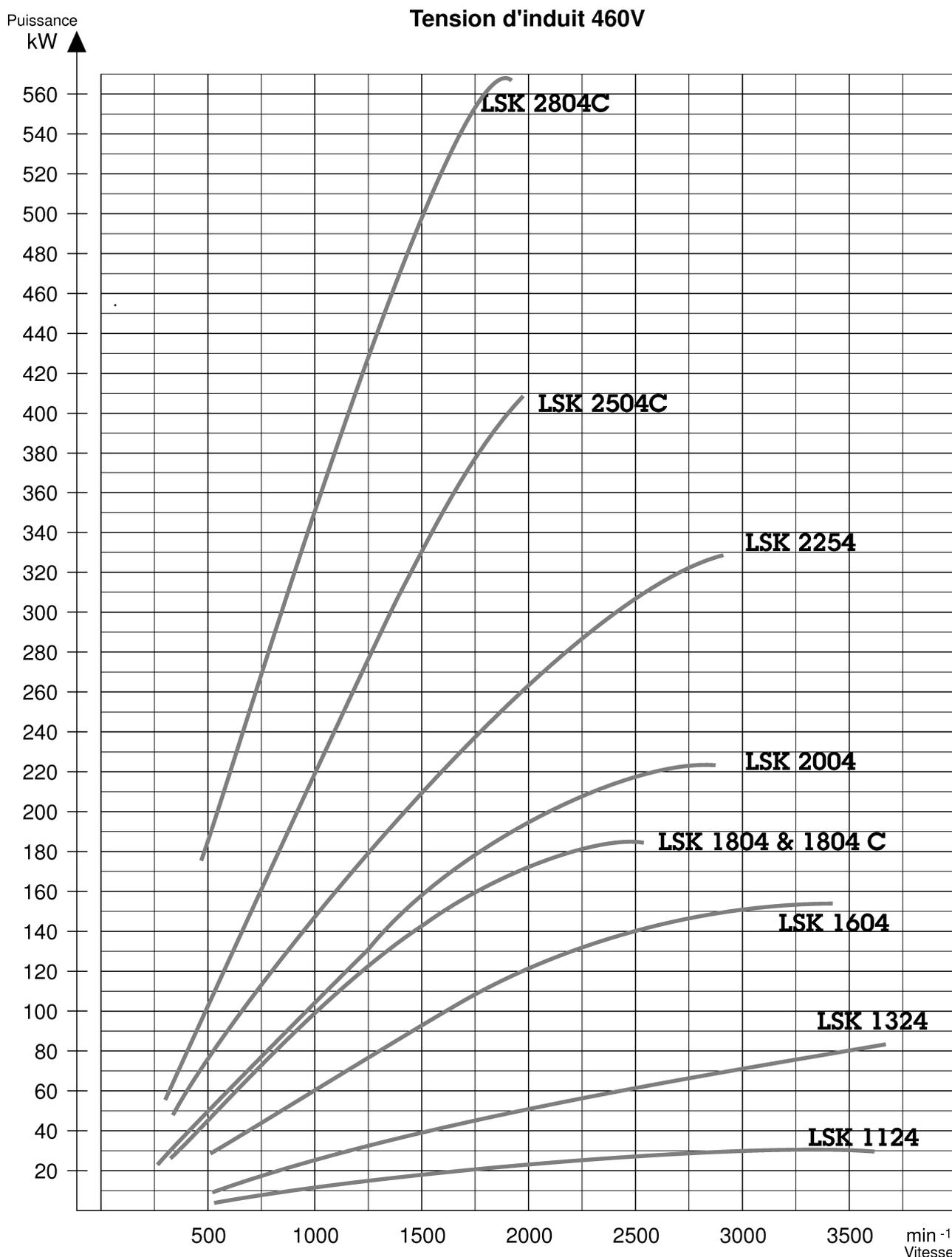
1.2. Présélectionner la gamme adaptée en fonction de la puissance et de la vitesse

... désirées grâce au **diagramme de présentation de la gamme du constructeur**. [Utiliser le graphe page suivante](#).

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

- ◆ Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- ◆ Pression atmosphérique : 1050 mBar,
- ◆ Excitation nominale
- ◆ Facteur de forme du courant < 1,04
- ◆ Classe d'isolation H,
- ◆ Altitude inférieure à 1000 m,
- ◆ Mode de refroidissement IC 06 (ventilation forcée),
- ◆ Imprégnation T
- ◆ Zone de fonctionnement 2 (humidité absolue comprise entre 5 et 23 g/m3)
- ◆ Degrés de protection IP 23.

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



Une gamme peut être déterminée par le couple nominal.

Par exemple, la gamme **LSK 1124 M** présente un couple d'environ 65 Nm ; **LSK 1124 L** est à environ 80 Nm .

1.3. Sélectionner le moteur dans la gamme choisie

A l'intérieur de cette gamme, on trouve plusieurs modèles référencés par leur indice : **03**, 04, 05, 06, ...

Le début de référence sera du type **LSK 1124 M 03**.

Chaque modèle présente une caractéristique Puissance / Vitesse liée à sa fabrication (enroulements d'induit).

Pour chaque modèle, le constructeur fournit, dans un tableau, différents points représentatifs de sa caractéristique :

- ◆ Vitesse = fonction de tension d'induit
- ◆ Puissance = fonction de tension d'induit

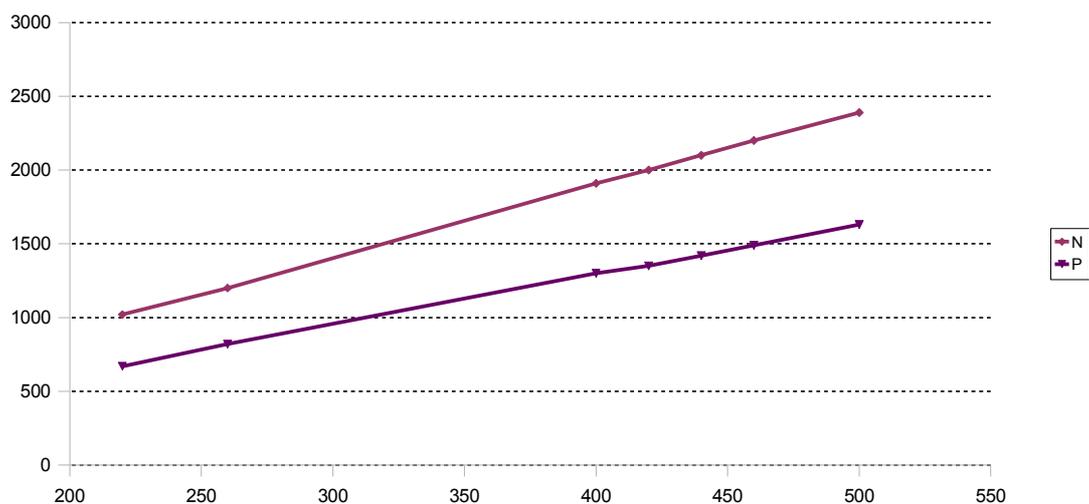
Exemple : LSK 1124 M 05

Vitesse de rotation n (tr.min⁻¹) pour tension d'induit U

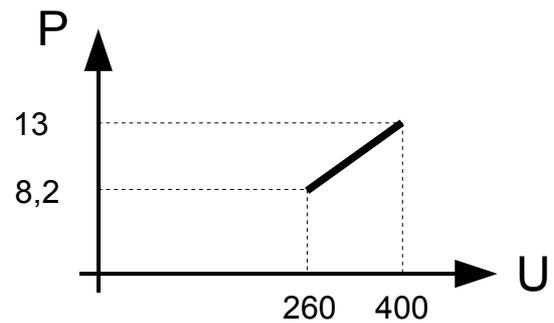
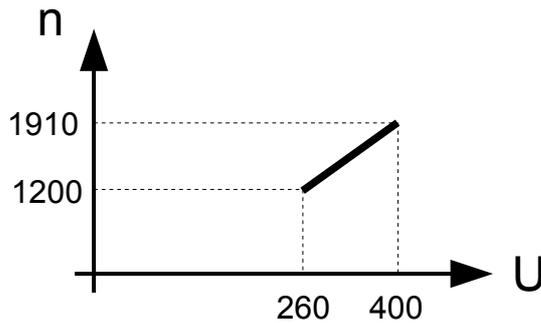
P (kW)	220 V	260 V	400 V	420 V	440 V	460 V	500 V
6,7	1020						
8,2		1200					
13			1910				
13,5				2000			
14,2					2100		
14,9						2200	
16,3							2390

Pour $U = 260$ V, la vitesse sera de 1200 tours / minute, et la puissance disponible de 8,2 kW.

On peut obtenir un aperçu de l'allure en plaçant les points sur un graphe :



Entre ces différents points, on considère que les évolutions $(P, N) = f(U)$ sont linéaires. On peut donc interpoler les points pour retrouver le point de fonctionnement désiré :



$$\text{Pentes : } \frac{\Delta n}{\Delta U} = \frac{(n_2 - n_1)}{(u_2 - u_1)} = \frac{(1910 - 1200)}{(400 - 260)} = \frac{710}{140} = 5,07 \quad \frac{\Delta P}{\Delta U} = \frac{(P_2 - P_1)}{(u_2 - u_1)} = \frac{(13 - 8,2)}{(400 - 260)} = \frac{4,8}{140} = 34,2 \cdot 10^{-3}$$

Méthodologie de changement d'échelles :

1.3.1. Trouver U pour une vitesse n

$$\text{Pour } n = 1600 \text{ tr/min : } U = \frac{(n - n_1)}{\text{Pente}} + U_1 = \frac{(1600 - 1200)}{5,07} + 260 = 339 \text{ V}$$

1.3.2. Calculer la vitesse n , ou la puissance P pour une tension U

Pour $U = 310 \text{ V}$:

$$n = (U - U_1) \times \text{Pente} + n_1 = (310 - 260) \times 5,07 + 1200 = 1454 \text{ tr.min}^{-1}$$

$$P = (U - U_1) \times \text{Pente} + P_1 = (310 - 260) \times 0,0342 + 8,2 = 9,91 \text{ kW}$$

Fiches méthodes

**Moteurs
synchrones
Servo-moteurs**

1. Présentation

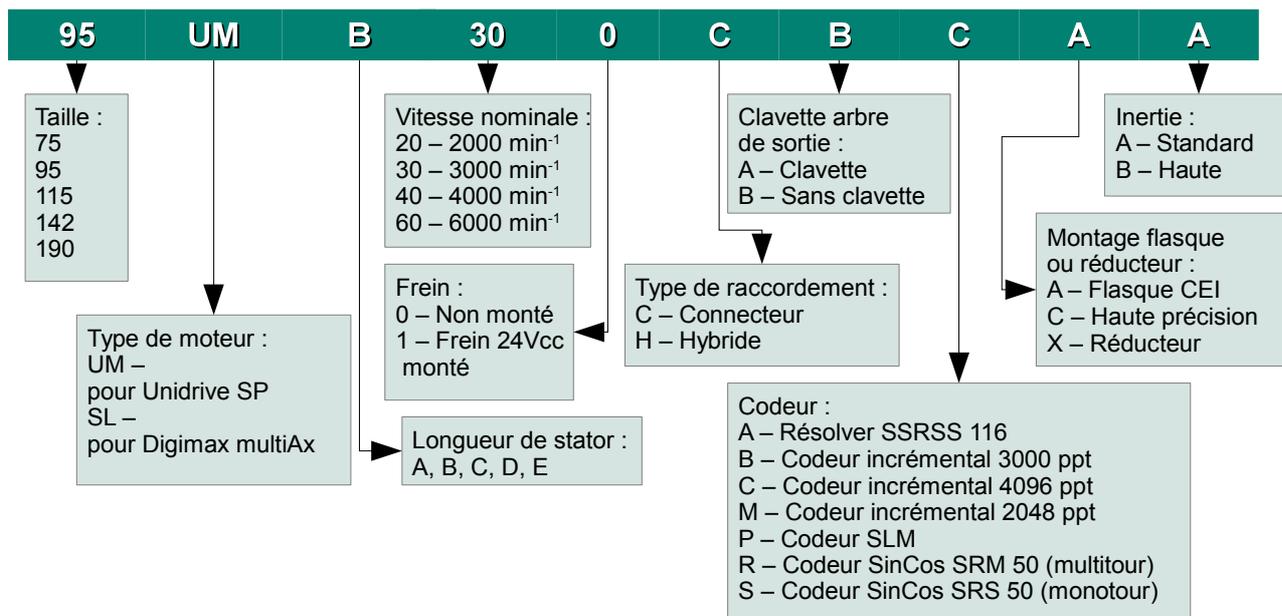
Un système SERVO sera bien adapté à l'application si tous les points suivants sont pris en compte lors de la conception du système et de la sélection des composants .

- ◆ Vitesse, accélérations et inertie
- ◆ Échanges thermiques
- ◆ Couple RMS et couple maximum
- ◆ Environnement
- ◆ Type de capteur de position
- ◆ Encombrement
- ◆ Rapports de réduction
- ◆ Optimisation de l'ensemble moto-variateur
- ◆ Plage de fonctionnement du variateur

La désignation complète du système d'entraînement permettant d'atteindre les spécifications du cahier des charges ne limite pas à un choix de moteur, mais à un ensemble moteur – variateur – codeur.

Désignation :

Exemple pour moteur Leroy-Somer



2. Méthode

2. Méthode.....	1
2.1. Calculer le couple efficace (couple RMS ou couple thermique équivalent) et le couple maximum intermittent.....	2
2.1.1. Couple permanent pour cycle à vitesse constante.....	2
2.1.2. Couples nécessaires à l'accélération et la décélération.....	2
2.1.3. Calcul du couple efficace RMS pour un cycle répétitif.....	2
2.2. Calculer la vitesse moyenne du cycle.....	2
2.3. Calculer le déclassement selon la température.....	3
2.4. Effectuer le choix du moteur.....	3
2.5. Effectuer le choix du capteur de position.....	3
2.6. Freinage.....	3
2.7. Charges mécaniques.....	3

2.1. Calculer le couple efficace (couple RMS ou couple thermique équivalent) et le couple maximum intermittent

... selon les caractéristiques mécaniques d'entraînement.

Le calcul du couple total devra intégrer les frottements et les accélérations.

2.1.1. Couple permanent pour cycle à vitesse constante

Il s'agit des périodes au cours desquelles un couple est maintenu à des vitesses de moteur constantes ou presque constantes.

2.1.2. Couples nécessaires à l'accélération et la décélération

Le couple doit permettre d'assurer les accélérations et les décélérations. En général, les temps d'accélération inférieurs à une seconde peuvent souvent être assurés par le couple maximum délivré par l'ensemble moto-variateur.

Le couple T nécessaire pour accélérer ou décélérer l'inertie est donné par : $T = J \cdot \gamma$ où :

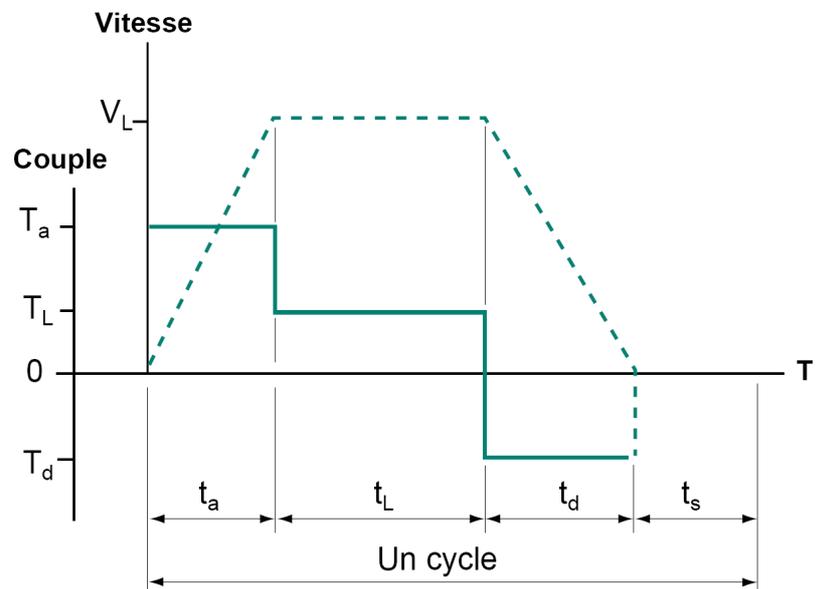
- ◆ γ = accélération en rad/s^2 (1 tour = 2π rads)
- ◆ J = inertie en kg.m^2

2.1.3. Calcul du couple efficace RMS pour un cycle répétitif

➢ Dessiner un graphique du couple (T) en fonction du temps pour un cycle complet (dans le cas de cycles différents, choisir le cycle le plus contraignant).

➢ Sur le même graphique, dessiner le profil de vitesse en fonction du temps.

➢ Sur le graphique vitesse-couple ainsi obtenu, calculez le couple efficace en utilisant la formule suivante :



$$C_{rms} = \sqrt{\frac{C_a^2 \times t_a + C_L^2 \times t_L + C_d^2 \times t_d}{t_a + t_L + t_d + t_s}} \text{ ou plus généralement } C_{rms} = \sqrt{\frac{\sum (C_i^2 \times t_i)}{\sum t_i}}$$

Où ◆ C_a = couple d'accélération (Nm)

◆ T_a = temps d'accélération

◆ C_L = couple résistant

◆ T_L = temps de fonctionnement à charge nominale

◆ C_d = couple de décélération (freinage)

◆ T_d = temps de décélération

◆

◆ T_s = temps d'arrêt

Pour pallier aux incertitudes, il est recommandé de majorer l'ensemble de ces valeurs de 15 %.

Assurez-vous que l'ensemble motovariateur pourra délivrer le couple maximum intermittent.

Voir [Cours et Documentation sur les Calculs de puissance selon les métiers](#)

2.2. Calculer la vitesse moyenne du cycle

2.3. Calculer le déclassement selon la température

La température maximum admissible par le bobinage du moteur ou par le capteur de position ne doit jamais être dépassée.

Le bobinage a une certaine masse entraînant une inertie thermique s'échelonnant, selon les moteurs, de 1,5 minute à plus d'une heure. Selon la température, le moteur peut donc être sollicité au delà de ses caractéristiques nominales pendant de courtes périodes, sans dépasser les limites. Afin de protéger le moteur, la constante d'inertie thermique du bobinage peut être renseignée dans le variateur qui intégrera les surcharges (I^2T) et verrouillera l'installation lorsque la limite thermique sera atteinte.

Tenir compte des échanges thermiques contribuant au refroidissement du moteur ; les surfaces d'échange sont-elles adéquates ?

Une fréquence de découpage faible devra entraîner un déclassement du moteur. Inversement, une fréquence de découpage élevée entraînera un déclassement du variateur. Il est donc important de sélectionner la fréquence de découpage qui conduira au meilleur compromis pour l'ensemble motovariateur.

Voir Le document du constructeur pour les déclassements.

2.4. Effectuer le choix du moteur

Selon

- ◆ la vitesse moyenne et le couple efficace en régime permanent
- ◆ les couples accélérateurs en régime transitoire.

2.5. Effectuer le choix du capteur de position

Choisir le capteur de position en fonction de la résolution souhaitée et de de l'environnement.

Voir [Méthode : Choix d'un codeur de position](#)

2.6. Freinage

Si la charge nécessite un freinage dynamique par le moteur, l'énergie est renvoyée vers le variateur qui, par conception, ne peut la restituer sur le réseau d'alimentation. Par conséquence, il se produit une élévation de la tension du bus continu du variateur. Pour éviter une tension trop élevée qui conduirait à une mise en défaut du variateur, Il est nécessaire de raccorder au variateur une résistance de freinage correctement dimensionnée.

Voir Méthode : Dimensionnement d'une résistance de Freinage

L'installation peut également nécessiter un frein de parking statique qui empêchera la charge de dériver lorsque le variateur est verrouillé.

2.7. Charges mécaniques

Vérifiez que la charge radiale et axiale appliquées au moteur se situent dans les limites fixées.

Voir : calcul de durée de vie des roulements

3. Crédits et liens

➤ Moteurs Leroy-Somer

http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/notices_pdf/3766a_CatUnimUnS_fr.pdf

