

# Machine à courant continu

Technologie, choix et alimentation des machines à courant continu

## **Objectif**

*Choisir un ensemble moto-variateur à courant continu à partir d'un cahier des charges.*

## **Pré-requis**

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

## **Savoirs associés**

- *Technologie des machines à courant continu*
- *Alimentation des machines à courant continu*

Le Site



ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

# Sommaire

## I. Organisation de la machine

1. Pôles inducteurs
2. Induit
3. Enroulement de compensation magnétique d'induit
4. Pôles auxiliaires de commutation (PAC)
5. Organes mécaniques (voir schémas ci-après)
6. Vues en coupe

## II. Caractéristiques et limites d'utilisation

1. Caractéristiques en régime permanent
2. Caractéristiques en régime dynamique
3. Limites d'utilisation

## III. Méthode et guide de sélection d'une machine à courant continu

1. déterminer la puissance à vitesse constante :
2. déterminer la puissance pour les accélérations et décélérations :
3. définir le type de service pour le moteur :
4. déterminer la tension maximale d'induit disponible :
5. présélectionner un moteur en fonction de la puissance et de la vitesse :
6. appliquer le(les) coefficient(s) de correction pour des conditions d'emploi différentes :

## IV. Alimentation d'une machine à courant continu

1. Alimentation directe sous tension nominale
2. Alimentation avec contrôle du courant/couple
3. Alimentation avec contrôle de la vitesse et limitation du courant
4. Exemple de système d'alimentation industriel
5. Raccordement dans la boîte à bornes

## Travail personnel

1. Choix de moteur et de redresseur.
2. Choix de moteur alimenté par redresseur triphasé.
3. Choix de moteur Décrivant un cycle de fonctionnement.

## Autocorrection

1. Choix de moteur et de redresseur.
2. Choix de moteur alimenté par redresseur triphasé.
3. Choix de moteur Décrivant un cycle de fonctionnement.

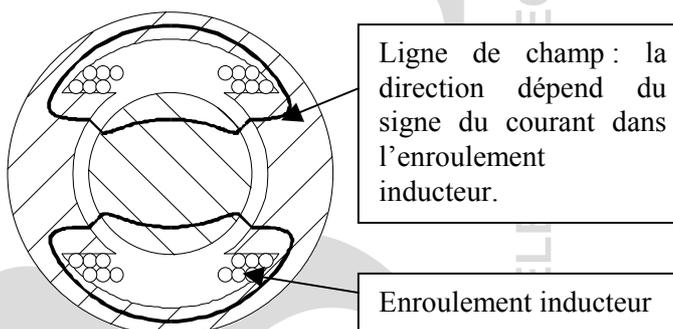
## I. Organisation de la machine

Dans l'organisation d'une machine à courant continu, on peut distinguer les principaux éléments suivants :

- les pôles inducteurs avec leurs enroulements ou leurs aimants, placés généralement sur le stator (partie fixe)
- l'induit, dont les différentes voies d'enroulements sont connectées au collecteur, l'ensemble étant généralement placé sur le rotor (partie tournante)
- les enroulements de compensation de la réaction magnétique d'induit
- les enroulements de commutation des voies d'enroulement
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles

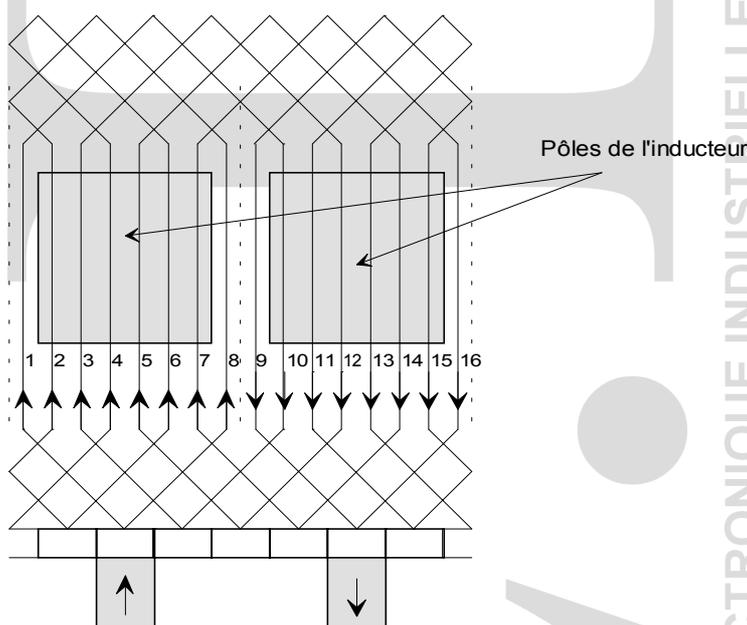
### 1. Pôles inducteurs

Les pôles inducteurs ont pour rôle de créer le flux inducteur dans la machine. Ce flux est généré soit par des enroulements, soit par des aimants. Ce flux est canalisé dans la machine par des matériaux ferromagnétiques (parties hachurées). Ce flux étant constant dans la partie portant les pôles inducteurs et dans les pôles inducteurs eux-mêmes (hachures ///), le matériau ferromagnétique peut donc être massif. Il est tout de même nécessaire de feuilletter les pôles inducteurs au niveau de l'entrefer, car des variations locales de flux apparaissent du fait des encoches portant les conducteurs d'induit au rotor et des encoches portant les enroulements de compensation au stator. La réluctance n'est donc pas constante tout au long de l'entrefer : elle varie avec la position angulaire du rotor dans le stator, ce qui explique les variations de flux locales. Pour des raisons pratiques, il est possible que le stator soit entièrement feuilleté. Le flux inducteur traverse le rotor avec des lignes de champ fixe (hachures \\\) circulant entre deux pôles inducteurs : ces lignes de champ sont donc fixes par rapport à l'inducteur. Le rotor tournant dans ce flux constant voit donc un champ magnétique variable le traverser : il sera par conséquent feuilleté dans le sens des lignes de champ. Le schéma suivant présente les pôles inducteurs dans une machine à une paire de pôles.



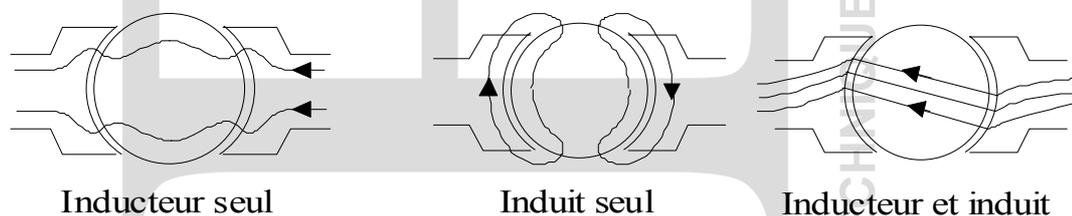
### 2. Induit

Les enroulements d'induit sont placés sur le rotor, et sont reliés au collecteur de façon à ce que tous les enroulements sous un même pôle soient parcourus par un courant de même sens. Le positionnement des balais sur le collecteur doit permettre une quadrature entre les forces magnétomotrices créées par le rotor et celles créées par le stator sur la machine bipolaire équivalente.

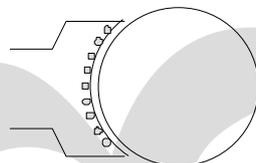


### 3. Enroulement de compensation magnétique d'induit

Le passage du courant dans les enroulements d'induit provoque l'apparition d'un champ magnétique transversal ayant pour conséquence de déformer les lignes de champs dans la machine. Ceci entraîne généralement une diminution du flux total.



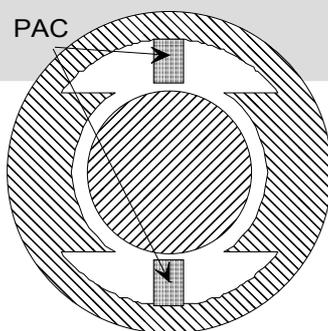
Pour réduire ce phénomène, on place, dans les pôles inducteurs, des enroulements parcourus par le courant d'induit, ayant pour rôle de créer un champ antagoniste au champ transversal d'induit :



### 4. Pôles auxiliaires de commutation (PAC)

Lorsque qu'une section (ensemble de conducteurs logés dans des encoches distantes d'un pas polaire :  $360^\circ / \text{nombre de paires de pôles}$ ) passe dans le plan neutre (endroit où la polarité magnétique change de signe dans l'entrefer), le courant doit s'inverser. Lorsque le balai court-circuite la section, on peut écrire  $r.I + L \frac{dI}{dt} \approx 0$ . Donc, sans apport d'une force électromotrice extérieure, il est impossible que le courant s'inverse dans la section. Sur les machines de

puissance supérieure à quelques kW, il est nécessaire de générer cette f.e.m. de commutation ( $e_c$ ) à l'aide d'un champ extérieur, créé à l'aide de pôles auxiliaires de commutation.

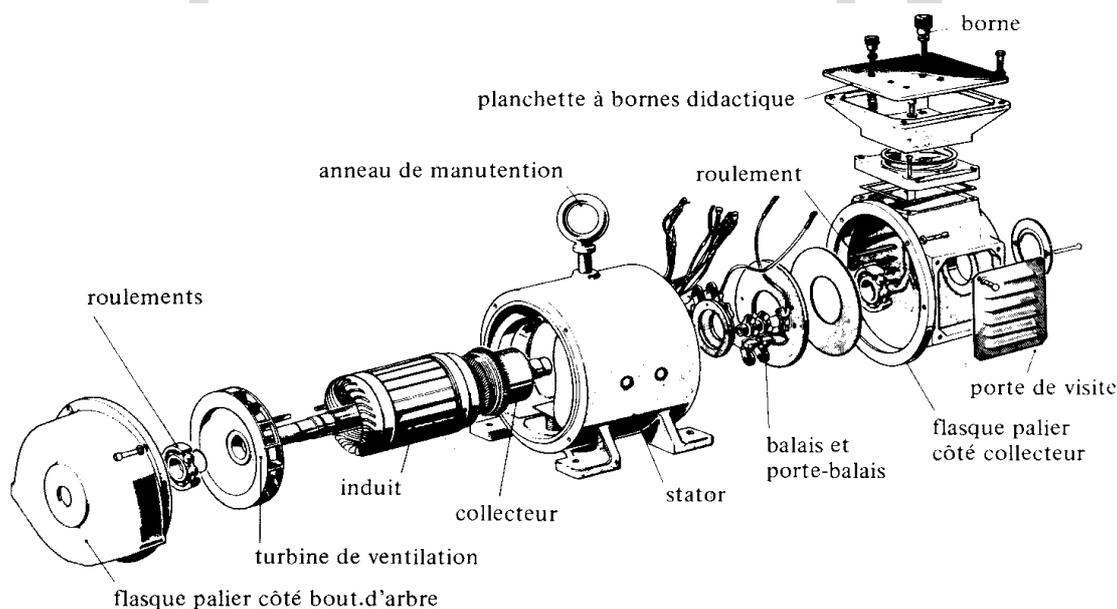


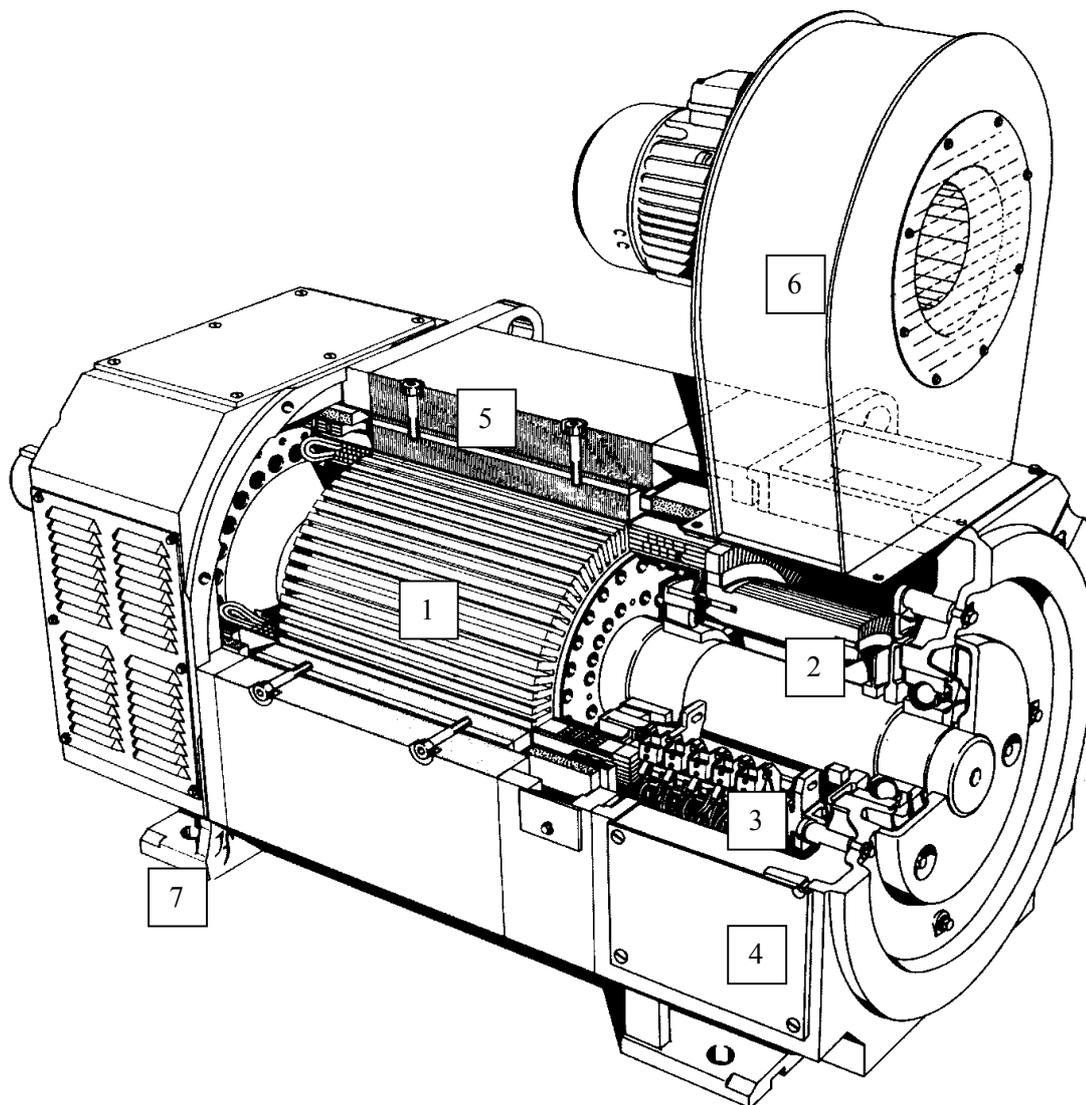
Si  $T$  est le temps durant lequel la section est en court circuit et que l'on néglige  $R$ , on peut écrire :  $e_c = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta I}{T} = L \frac{I}{T}$ . On constate que cette f.e.m. est proportionnelle au courant et à la vitesse de rotation. La f.e.m. induite par la présence des PACs étant, elle aussi, proportionnelle à la vitesse de rotation, il suffit pour assurer une bonne commutation que le nombre de spires des PACs soit bien calculé, et que le courant qui les traverse soit proportionnel au courant d'induit.

### 5. Organes mécaniques (voir schémas ci-après)

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). Les pôles inducteurs sont en général vissés sur le stator (ils peuvent aussi en faire partie intégrante). Un ventilateur est placé en bout d'arbre, sur le rotor, pour le refroidissement de la machine. Il peut être complété par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes. Le collecteur, l'ensemble porte-balais et les balais se situent de l'autre côté de la machine.

### 6. Vues en coupe

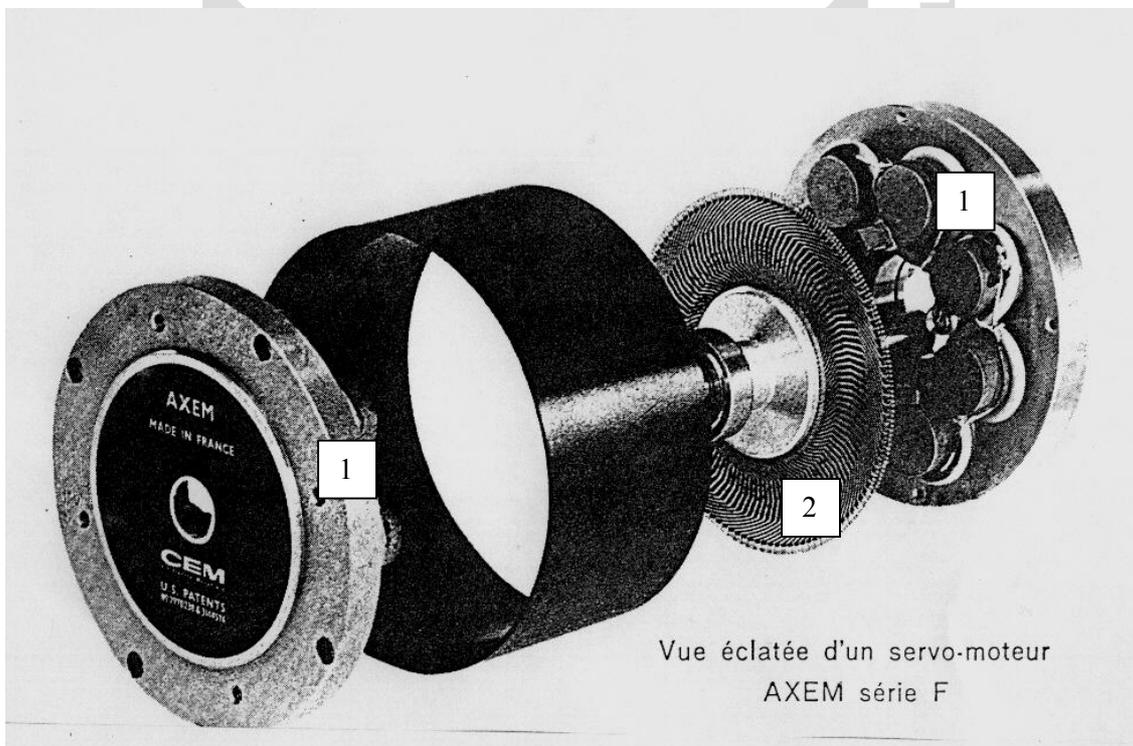




Sur cette vue écorchée, on peut aisément voir :

- L'induit (1) avec ses encoches recevant les conducteurs en cuivre (absents ici) perforés axialement pour son refroidissement.
- Le collecteur (2) et l'ensemble porte-balais/balais (3) ainsi que la trappe de visite pour la maintenance (4).
- Les pôles inducteurs feuilletés (5) vissés sur l'induit.
- La moto ventilation (6).
- Le système de fixation par pattes (7).

D'autres dispositions sont également possibles comme ci-dessous un moteur à rotor plat

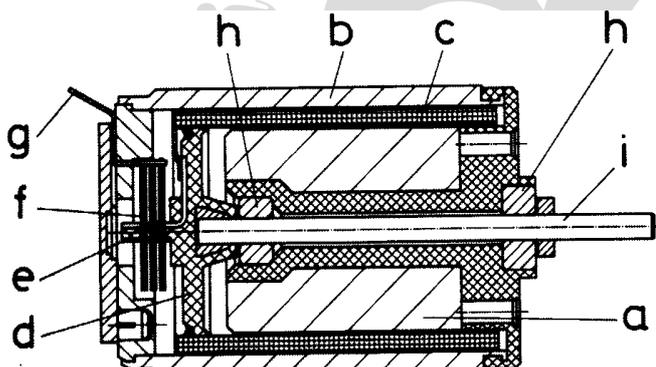


Ces moteurs, excités au moyen d'aimants permanents (1), sont caractérisés par un rotor plat réalisé sous forme d'un circuit imprimé (2) représentant l'enroulement d'induit. On peut remarquer, en blanc autour des aimants, les enroulements de magnétisation permettant de les polariser une fois montés (Ne jamais ouvrir une machine de ce type, au risque de devoir recommencer cette opération nécessitant un fort courant!). Les balais frottent directement sur le disque. La gamme de puissance de ce type de machines s'étend de 10 à 5000 W environ pour des vitesses comprises entre 2000 et 6000 tr/min. Du fait de leur très faible inertie, ces moteurs s'utilisent pour des entraînements où une mise en vitesse très rapide est nécessaire.

#### Micromoteurs à bobinage en cloche

Ces micromoteurs à rotor sans fer, excités au moyen d'un aimant permanent cylindrique coaxial à l'enroulement d'induit en cloche, sont caractérisés par :

- une très faible inertie permettant d'obtenir des accélérations de l'ordre de  $10^5 \text{ rad/s}^2$ ;
- une inductance faible, donc par une constante de temps électrique très courte, inférieure à  $10^{-4} \text{ s}$ ;
- l'absence de pertes par courant de Foucault et par hystérésis même à très haute vitesse.



Coupe transversale :

- a : aimant
- b : boîtier
- c : bobinage du rotor
- d : assiette du collecteur
- e : collecteur
- f : balais
- g : connectique
- h : paliers
- i : arbre

## II. Caractéristiques et limites d'utilisation

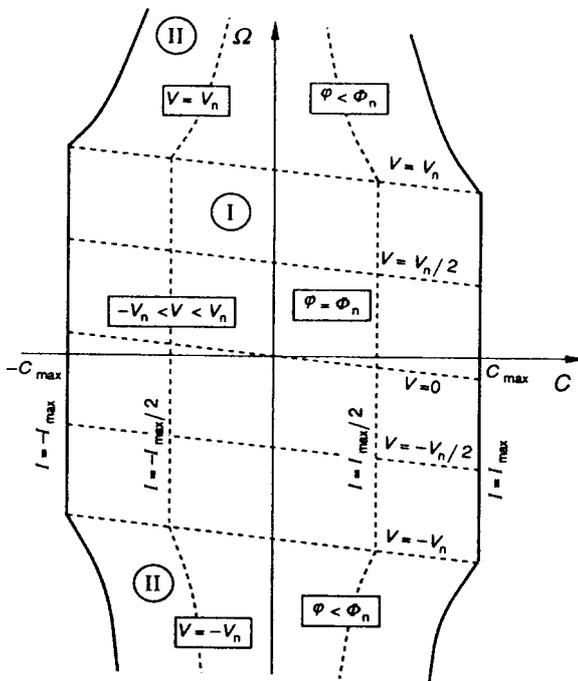
### 1. Caractéristiques en régime permanent

Les équations de fonctionnement de la machine à courant continu en régime établi sont :

- $U = E(\Omega, \Phi_T) + RI_{ind}$
- $E(\Omega, \Phi_T) = K_e \cdot \Phi_T \cdot \Omega$
- $C_e = K_e \cdot \Phi_T \cdot I_{ind}$

Avec  $\Phi_T$  flux total dans la machine proportionnel au courant inducteur si la réaction magnétique d'induit est parfaitement compensée et la machine non saturée. D'où l'on déduit la caractéristique couple vitesse :

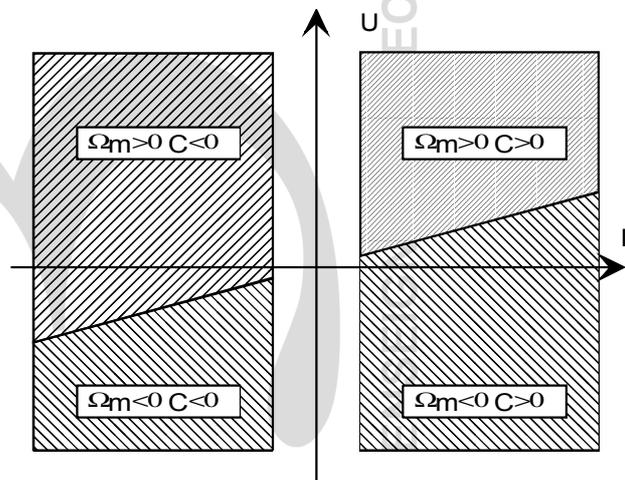
$$\bullet \quad n = \frac{60.U}{2.\pi.K_e.\Phi_T} - \frac{60.R}{2.\pi.(K_e.\Phi_T)^2} C_e$$



Les caractéristiques sont donc des droites paramétrées par la tension d'alimentation d'induit (zone 1) jusqu'à la tension d'alimentation maximale. Il est toutefois possible d'envisager une vitesse plus élevée en défluxant la machine (diminution du courant inducteur), si la caractéristique de la charge entraînée le permet : en effet le couple maximal disponible diminue d'autant (zone 2).

On distinguera sur cette caractéristique 4 zones de fonctionnement dépendant du signe du couple et de la vitesse. On parlera de quadrant de fonctionnement. Les quadrants I et III traduisent un fonctionnement de la machine en moteur dans les deux sens de rotation, alors que les quadrants II et IV traduisent un fonctionnement de

la machine en génératrice dans les deux sens de rotation. De même, si l'on se place sur un plan électrique, il est possible de définir, en fonction des signes des grandeurs électriques d'alimentation (quadrant électrique), les signes des grandeurs mécaniques correspondants (quadrant mécanique). Il faut néanmoins remarquer que si l'on tient compte de la résistance d'induit et des frottements secs, les quadrants de fonctionnement électrique et mécanique ne se superposent pas. **Le nombre de quadrants de fonctionnement est exclusivement limité par le type de convertisseur alimentant la machine.**



## 2. Caractéristiques en régime dynamique

Les équations de fonctionnement de la machine à courant continu en régime dynamique sont :

- $u(t) = e(t, \Omega, \Phi_T) + Ri_{ind}(t) + L \frac{di_{ind}}{dt}$
- $e(t, \Omega, \Phi_T) = K_e \cdot \Phi_T \cdot \Omega(t)$
- $c_e(t) = K_e \cdot \Phi_T \cdot i_{ind}$
- $c_e(t) - c_r(t, \Omega) = j_T \cdot \frac{d\Omega}{dt}$

Avec  $\Phi_T$  flux total dans la machine,  $C_r$  ensemble des couples résistants incluant les couples de pertes de la machine.

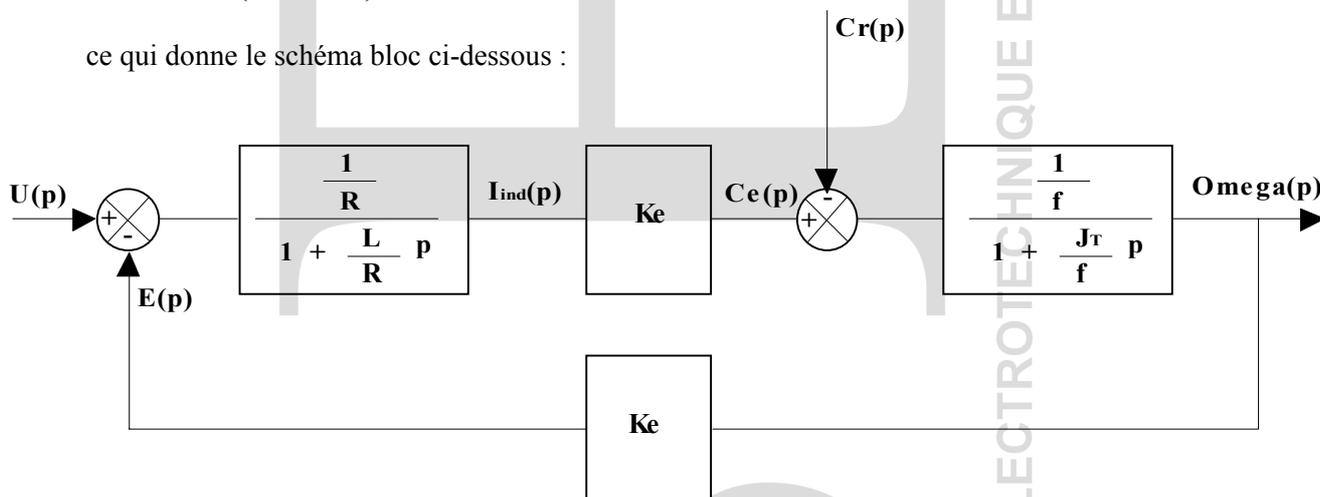
En supposant le flux d'excitation constant et le couple de perte de la machine  $c_p = f\Omega$  ces équations deviennent, avec  $p$  variable de Laplace :

- $U(p) = R \left( 1 + \frac{L}{R} p \right) I_{ind}(p) + K_e \cdot \Omega(p)$
- $J_T \cdot p \cdot \Omega(p) = K_e \cdot I_{ind}(p) - C_r(p)$  et  $C_r(p) = C_{ch}(p) + C_p(p)$

soit :

- $f \left( 1 + \frac{J_T}{f} \cdot p \right) \Omega(p) = K_e \cdot I_{ind}(p) - C_{ch}(p)$

ce qui donne le schéma bloc ci-dessous :



## 3. Limites d'utilisation

Caractéristiques limites :

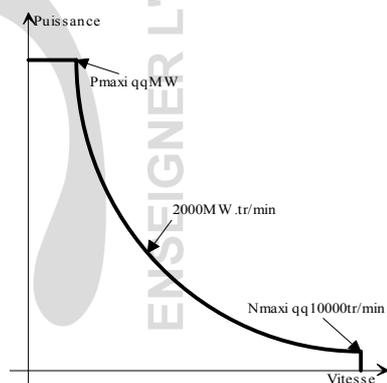
Puissance : 5 MW par unité (il est possible de les jumeler)

Vitesse : 10000 tr/min

Produit puissance x vitesse : 2000MW.tr/min

Surcharge :  $2 \times I_{nom}$

Surtension :  $U_{max}$



### III. Méthode et guide de sélection d'une machine à courant continu

(Ce guide doit vous aider dans le choix d'une machine à courant continu)

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

1. Il faut donc déterminer la **puissance** nécessaire à notre application pour les phases à **vitesse constante** :

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

(La Caractéristique couple/vitesse de la machine entraînée doit être connue, tout comme les vitesses minimum et maximum.)

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

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

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

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. Facteur de correction pour ce service  $S1 = 1$
- 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  $2^\circ \text{C}$  près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement. Facteur de correction pour ce service  $S2$ .

|                       | 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      |

- 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. Facteur de correction pour ce service S3.

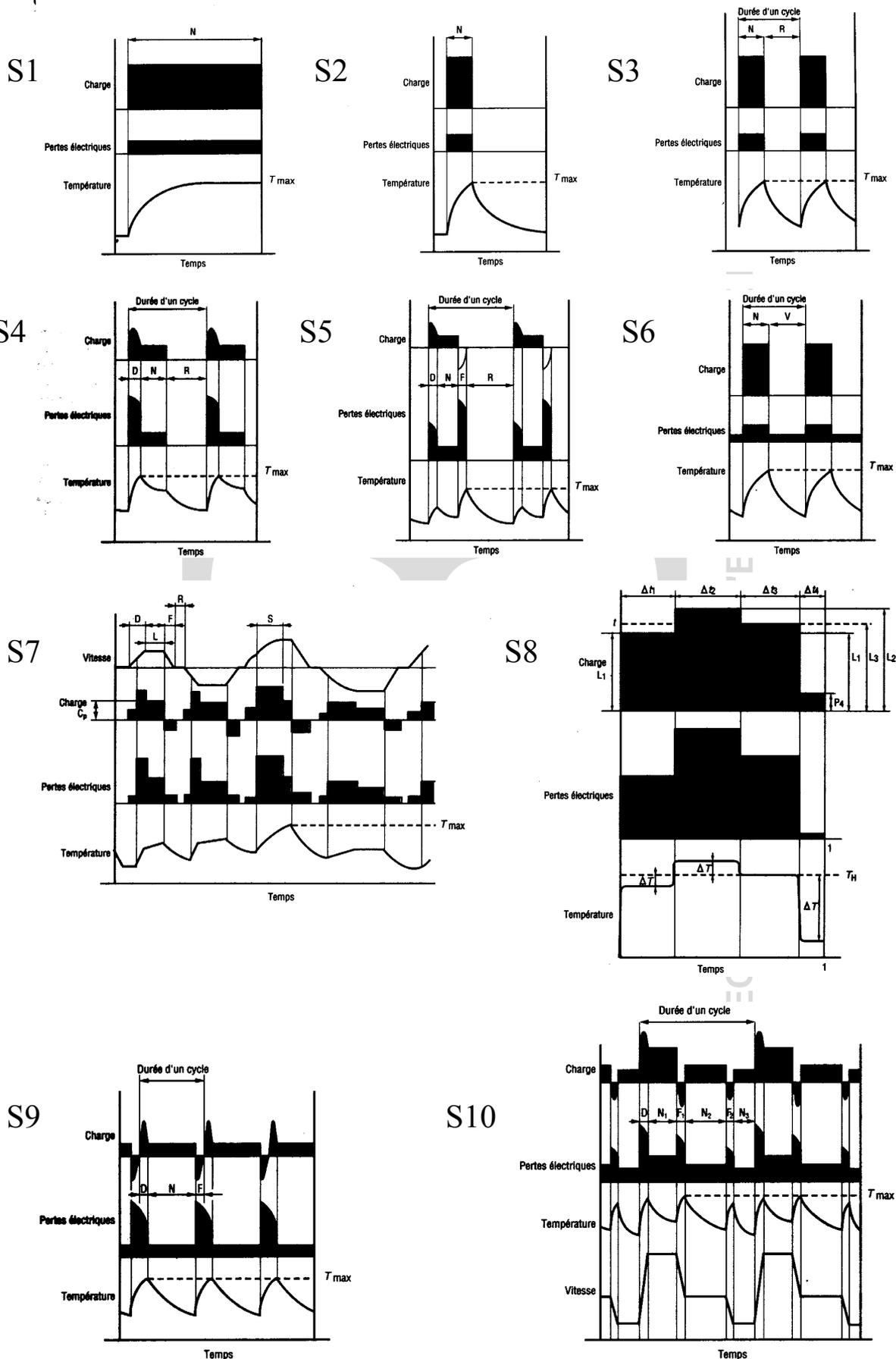
|                       | Facteur de marche N/N+R |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------|------|------|------|
|                       | 15 %                    | 25 % | 40 % | 60 % |
| Facteur de correction | 1,6                     | 1,4  | 1,2  | 1,1  |

(Facteur de marche = temps d'utilisation moteur / temps d'utilisation moteur + temps de repos)

- 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.
- 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.
- 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. Facteur de correction pour ce service S6.

|                       | Facteur de marche N/N+V |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------|------|------|------|
|                       | 15 %                    | 25 % | 40 % | 60 % |
| Facteur de correction | 1,6                     | 1,4  | 1,3  | 1,2  |

- 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.
- h) **Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de 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.
- 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.
- 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).

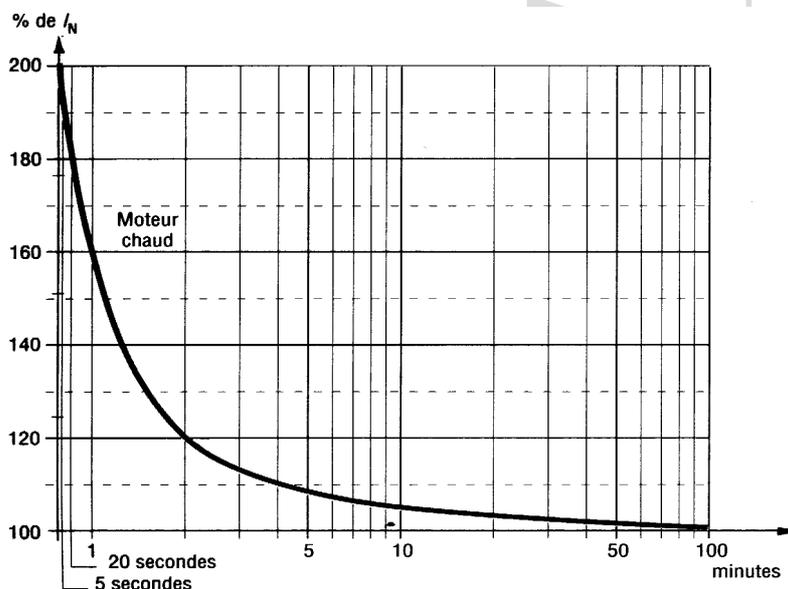


Pour les services S4, S5, S7, S8, S9 et S10 il est nécessaire de déterminer le couple moteur moyen équivalent. Il est donné par la relation :

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

Dans laquelle :

- Les  $C_{mi}$  inférieures à  $\frac{C_{nom\_moteur}}{2}$  (couple nominal moteur) seront remplacées par  $\frac{C_{nom\_moteur}}{2}$
- Aucun des  $C_{mi}$  ne dépassera  $2 \times C_{nom\_moteur}$
- Aucune des surcharges ne dépassera la limite autorisée pour le moteur (voir ci-dessous)

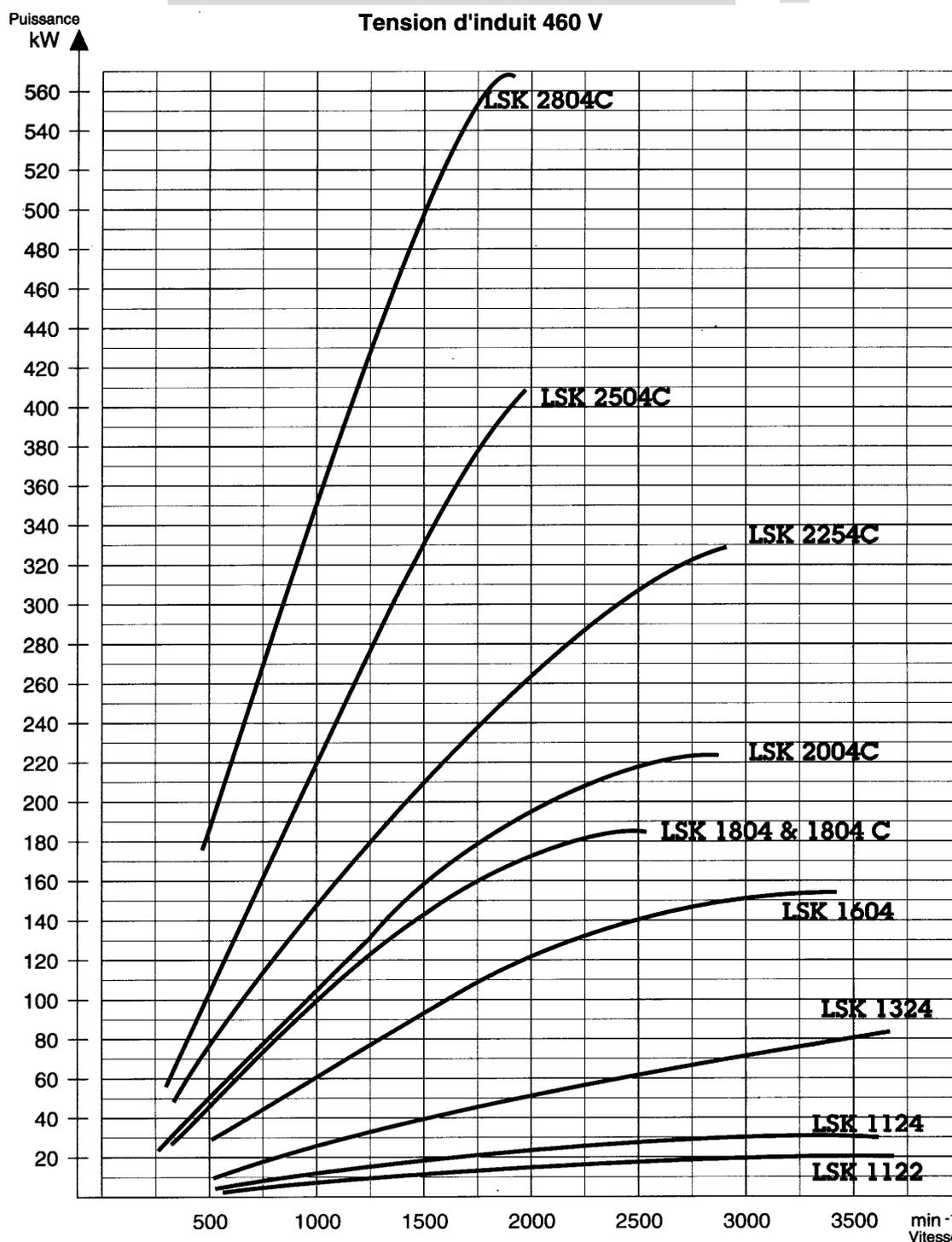


4. Il faut enfin déterminer la **tension maximale d'induit** disponible :

Les tensions maximales d'induit en fonction du secteur, pour un redresseur commandé, sont les suivantes. Pour un hacheur elles dépendent de la tension du bus continu.

| Secteur monophasé  |                  | Secteur triphasé   |                  |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Tension pour 50 Hz | Tension d'induit | Tension pour 50 Hz | Tension d'induit |
| 220 V – 230 V      | 180 V – 190 V    | 220 V              | 250 V            |
| 380 V – 400 V      | 310 V – 320 V    | 240 V              | 270 V            |
| 415 V              | 340 V            | 380 V              | 440 V            |
|                    |                  | 415 V              | 470 V            |
|                    |                  | 440 V              | 500 V            |
|                    |                  | 500 V              | 570 V            |
|                    |                  | 660 V              | 750 V            |

5. Il est possible de présélectionner un moteur en fonction de la **puissance** et de la **vitesse** désirée grâce au diagramme de présentation de la gamme LSK.



Pour une tension d'utilisation différente de 460 V une règle de trois pourra être appliquée. 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 que de 94 kW pour une tension de 270 V ( $270/460 \times 160\text{kW}$ ).

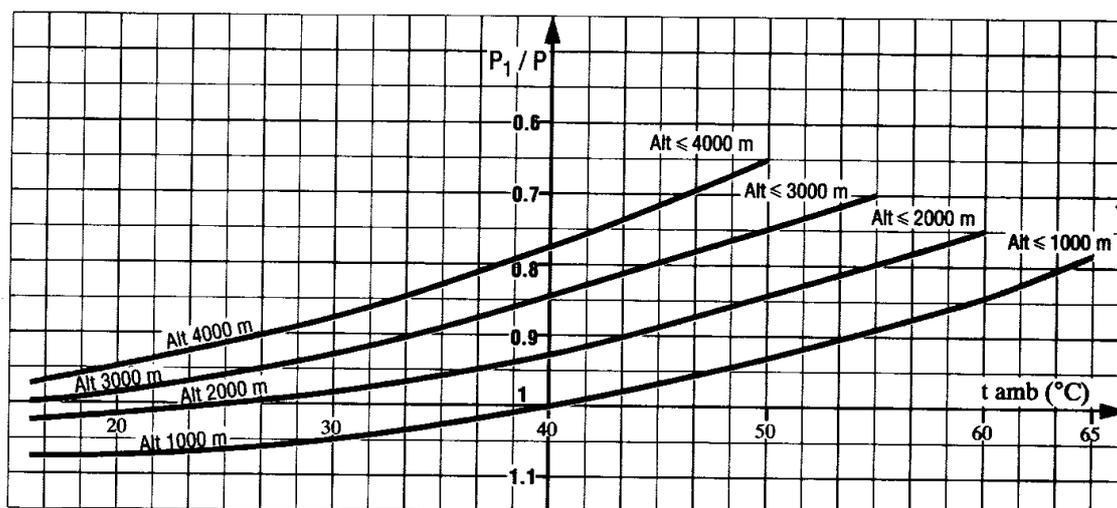
Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales suivantes (norme CEI 34-1)

- Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- Altitude inférieure à 1000 m,
- Pression atmosphérique : 1050 m bar,
- Mode de refroidissement IC 06 (ventilation forcée),
- Excitation nominale,
- Classe d'isolation H
- Imprégnation T
- Facteur de forme du courant < 1,04
- Degrés de protection IP 23
- Zone de fonctionnement 2 (humidité absolue comprise entre 5 et 23 g/m<sup>3</sup>),

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

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

▼ **Coefficients de correction en fonction de l'altitude et de la température ambiante.**



b) Prise en compte d'un mode de refroidissement différent.

Moteur auto-ventilé IC01 : Pour ce mode de refroidissement en service S1 les coefficients ci-dessous sont à prendre en compte. La vitesse ne doit pas être inférieure à 1500 tr/min pour un couple constant et 300 tr/min pour un couple quadratique. D'autre part, pour ces machines, une réduction du flux inducteur est réalisée en usine, ce qui augmente leur vitesse nominale.

| Moteur LSK Taille         | Température ambiante |       |       | Correction vitesse |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|--------------------|
|                           | 40 °C                | 30 °C | 20 °C |                    |
| 1122 S, L, VL – 1124 M, L | 0,40                 | 0,46  | 0,5   | 1,3                |
| 1124 VL – 1324 S, M, VL   | 0,35                 | 0,41  | 0,45  | 1,3                |
| 1324 XVL – 1604 S, M, L   | 0,34                 | 0,39  | 0,43  | 1,5                |
| 1604 VL                   | 0,30                 | 0,34  | 0,37  | 1,5                |
| 1804 M à 2804C L          | 0,26                 | 0,30  | 0,32  | 1,3                |

Moteur fermé avec échangeur air/air IC666 (IP55) : Pour ce mode de refroidissement utilisé sur les moteurs fermés les coefficients ci-dessous sont à prendre en compte. D'autre part, pour ces machines, une réduction du flux inducteur est réalisée en usine, ce qui augmente leur vitesse nominale.

| Moteur LSK Taille            | Température ambiante |       |       | Correction vitesse |
|------------------------------|----------------------|-------|-------|--------------------|
|                              | 40 °C                | 30 °C | 20 °C |                    |
| 1324 S, M, VL - 1604 S, M, L | 0,70                 | 0,75  | 0,80  | 1,15               |
| 1324 XVL - 1604 VL           | 0,67                 | 0,71  | 0,75  | 1,2                |
| 1804 M à 2804 C L            | 0,65                 | 0,66  | 0,67  | 1,15               |

c) Prise en compte d'une classe d'isolation différente.

La qualité de l'isolant utilisé pour la fabrication des enroulements détermine la tenue en température du moteur. En cas de dépassement des valeurs ci-dessous, il y a une dégradation prématurée des isolants pouvant conduire à un court circuit des enroulements.

|          | Elévation de température maximum | Température maximum | Facteur de correction |
|----------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Classe B | 80 ° K ou C                      | 130 ° C             | 0,8                   |
| Classe F | 105 ° K ou C                     | 155 ° C             | 0,9                   |
| Classe H | 125 ° K ou C                     | 180 ° C             | 1                     |

L'utilisation d'un moteur en classe B alors qu'il est fabriqué pour la classe H permet de quadrupler sa durée de vie.

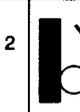
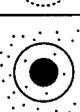
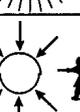
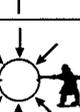
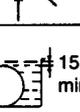
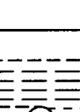
L'humidité tient un rôle important dans le fonctionnement du moteur par la contribution à la formation de la patine du collecteur. Il y a lieu de tenir compte du taux d'humidité contenu dans l'air ambiant pour assurer un fonctionnement optimal. C'est ce taux qui va définir la zone de fonctionnement de la machine. Les balais sont étudiés pour répondre à des plages d'humidité assez larges. C'est donc une valeur moyenne qui sera prise en compte pour leur choix.

Le taux d'humidité, contenu dans l'atmosphère, comme la température ambiante, nécessitent des constructions différentes. LEROY-SOMER a mis en place des procédures de réalisation des machines en fonction des différents paramètres. Le tableau ci-dessous vous indique la protection en fonction de la zone de fonctionnement et de la température ambiante. Les machines sont réalisées pour une zone de fonctionnement T. La protection des bobinages est généralement décrite sous le terme "tropicalisation". Pour des ambiances à humidité condensante, l'utilisation du réchauffage des enroulements est préconisée.

| Température ambiante                           | Zones de fonctionnement |               |                |
|--|-------------------------|---------------|----------------|
|  | Z1 (sèche)              | Z2 (tempérée) | Z3 (tropicale) |
| $t < -16^{\circ}\text{C}$                      | Sur devis               | Sur devis     | --             |
| $-16^{\circ}\text{C} < t < +5^{\circ}\text{C}$ | Ta1                     | T1            | --             |
| $+5^{\circ}\text{C} < t < +40^{\circ}\text{C}$ | Ta                      | T             | TC             |
| $+5^{\circ}\text{C} < t < +65^{\circ}\text{C}$ | Ta2                     | T2            | TC2            |
| $t > +65^{\circ}\text{C}$                      | Sur devis               | Sur devis     | Sur devis      |
| Repère plaqué                                  | Ta                      | T             | TC             |

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

Les constructeurs proposent en réalisation standard deux niveaux de protection. Leroy Sommer propose ses machines avec des protections de type IP 23X pour les moteurs standard et IP55X pour les moteurs fermés.

| 1 <sup>er</sup> chiffre :<br>protection contre<br>les corps solides |      |   | 2 <sup>e</sup> chiffre :<br>protection contre<br>les liquides |      |  | 3 <sup>e</sup> chiffre :<br>protection mécanique |      |  |
|---|------|---|---|------|--|--|------|--|
| IP  | F*   | Tests   | IP  | F*   | Tests  | IP   | F*   | Tests  |
| 0 xx  | AE 1 | Pas de protection.  | x 0 x   | AD 1 | Pas de protection.   | xx 0   |      | Pas de protection.   |
| 1 xx  |      | Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm (ex. : contacts involontaires de la main).<br> | x 1 x   | AD 2 | Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation).<br>   | xx 1   | AG 1 | Énergie de choc : 0,225 joule.<br>    |
| 2 xx  |      | Protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm (ex. : doigt de la main).<br>                  | x 2 x   |      | Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale.<br> | xx 2   |      | Énergie de choc : 0,375 joule.<br>    |
| 3 xx  | AE 2 | Protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm (outils, fils).<br>                          | x 3 x   | AD 3 | Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale.<br>             | xx 3   |      | Énergie de choc : 0,500 joule.<br>   |
| 4 xx  | AE 3 | Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm (outils fins, petits fils).<br>               | x 4 x   | AD 4 | Protégé contre les projections d'eau de toutes directions.<br>            | xx 5   | AG 2 | Énergie de choc : 2,00 joules.<br>  |
| 5 xx  | AE 4 | Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible).<br>                                       | x 5 x   | AD 5 | Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance.<br>        | xx 7   | Ag 3 | Énergie de choc : 6,00 joules.<br>  |
| 6 xx  | AE 4 | Totalement protégé contre les poussières.<br>  | x 6 x   | AD 6 | Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer.<br> | xx 9   | Ag 4 | Énergie de choc : 20,00 joules.<br> |
|   |      |   | x 7 x   | AD 7 | Protégé contre les effets de l'immersion.<br>                             |  |      |  |
|   |      |   | x 8 x   | AD 8 | Protégé contre les effets prolongés de l'immersion sous pression.<br>     |  |      |  |

e) 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 de connaître les efforts sur les roulements et les choisir en conséquence). Des options sont disponibles : filtre de ventilation, dynamo tachymétrique, frein mécanique ...

f) Caractéristiques électriques moteur LSK 1122 L

Alimentation monophasée moteur LSK 1122 L

**Les caractéristiques électriques sont données pour:**

- degré de protection IP 23
- mode de refroidissement IC 06 (V.F.)
- service continu S1
- température ambiante  $\leq 40^{\circ}\text{C}$ .

Masse totale: 90 kg  
 Moment d'inertie: 0,032 kg.m<sup>2</sup>  
 Puissance d'excitation: 0,35 kW

**38 N.m**

$n_{\text{max méca}}$ : 4000 min<sup>-1</sup>  
 Lexique des abréviations: voir page 84.

**PONT MIXTE**

| P<br>avec self<br>kW | P<br>sans self<br>kW | Vitesse de rotation n pour tension d'induit U |                            | $n_{\text{maxi Elec.}}$<br>min <sup>-1</sup> | M<br>N.m | I**<br>A | $\eta$<br>Hors excit. | L<br>mH | $R_{115^{\circ}}$<br>$\Omega$ | $U_{\text{max}}$<br>V | $L_a$<br>additionnelle<br>mH | Indice | Délai |
|----------------------|----------------------|---|----------------------------|--|----------|----------|-----------------------|---------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------|-------|
|                      |                      | 260 V<br>min <sup>-1</sup>                    | 310 V<br>min <sup>-1</sup> |  |          |          |                       |         |                               |                       |                              |        |       |
| 3                    | 2,6                  | 780   |                            | 1920   | 37       | 14       | 0,71                  | 110     | 3,98                          | 500                   | 30                           | 01     | **    |
| 3,7                  | 3,2                  |   | 930                        | 2280   | 38       | 14       | 0,73                  | 110     | 3,98                          | 500                   | 30                           |        |       |
| 3,6                  | 3,1                  | 920   |                            | 2220   | 37       | 16,5     | 0,72                  | 75      | 2,78                          | 500                   | 25                           | 02     | **    |
| 4,4                  | 3,8                  |   | 1090                       | 2650   | 39       | 16,5     | 0,74                  | 75      | 2,78                          | 500                   | 25                           |        |       |
| 4,2                  | 3,6                  | 1090  |                            | 2670   | 37       | 18,5     | 0,74                  | 55      | 2,03                          | 500                   | 20                           | 03     | **    |
| 5                    | 4,4                  |   | 1300                       | 3160   | 37       | 18,5     | 0,77                  | 55      | 2,03                          | 500                   | 20                           |        |       |
| 5,7                  | 4,9                  | 1370  |                            | 3320   | 40       | 24,5     | 0,77                  | 35      | 1,28                          | 500                   | 15                           | 04     | **    |
| 6,7                  | 5,8                  |   | 1630                       | 3960   | 39       | 24       | 0,78                  | 35      | 1,28                          | 500                   | 15                           |        |       |
| 7                    | 6                    | 1830  |                            | 4000   | 37       | 29,5     | 0,79                  | 19      | 0,69                          | 500                   | 10                           | 05     | **    |
| 8,5                  | 7,4                  |   | 2180                       | 4000   | 37       | 29,5     | 0,81                  | 19      | 0,69                          | 500                   | 10                           |        |       |

**PONT COMPLET**

| P<br>sans self<br>kW | Vitesse de rotation n pour tension d'induit U |      | $n_{\text{maxi Elec.}}$<br>min <sup>-1</sup> | M<br>N.m | I<br>A | $\eta$<br>Hors excit. | L<br>mH | $R_{115^{\circ}}$<br>$\Omega$ | $U_{\text{max}}$<br>V | Indice | Délai |
|----------------------|---|------|--|----------|--------|-----------------------|---------|-------------------------------|-----------------------|--------|-------|
|                      | 240 V<br>min <sup>-1</sup>                    |      |  |          |        |                       |         |                               |                       |        |       |
| 1,2                  |   | 720  | 1920   | 16       | 7      | 0,71                  | 110     | 3,98                          | 500                   | 01     | **    |
| 1,7                  |   | 850  | 2220   | 19       | 10     | 0,72                  | 75      | 2,78                          | 500                   | 02     | **    |
| 2,3                  |   | 1010 | 2670   | 22       | 13     | 0,74                  | 55      | 2,03                          | 500                   | 03     | **    |
| 3,7                  |   | 1270 | 3320   | 28       | 20     | 0,77                  | 35      | 1,28                          | 500                   | 04     | **    |
| 5,6                  |   | 1690 | 4000   | 32       | 29,5   | 0,79                  | 19      | 0,69                          | 500                   | 05     | **    |

Alimentation triphasée moteur LSK 1122 L

**Les caractéristiques électriques sont données pour:**

- alimentation en triphasé pont complet
- degré de protection IP 23
- mode de refroidissement IC 06 (V.F.)
- service continu S1
- température ambiante ≤ 40°C.

Masse totale: 90 kg  
Moment d'inertie: 0,032 kg.m<sup>2</sup>  
Puissance d'excitation: 0,45 kW

**47N.m**

$\eta_{\text{max méca}}$ : 4000 min<sup>-1</sup>

Lexique des abréviations: voir page 84.

| P<br>kW | Vitesse de rotation n pour tension d'induit U |                            |                            |                            |                            |                            |                            | n <sub>maxi</sub><br>Elec.<br>min <sup>-1</sup> | M<br>N.m | I<br>A | $\eta$<br>Hors exc. | L<br>mH | R <sub>1,15°</sub><br>$\Omega$ | U <sub>max</sub><br>V | Indice | Délai |
|---------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|----------|--------|---------------------|---------|--------------------------------|-----------------------|--------|-------|
|         | 260 V<br>min <sup>-1</sup>                    | 310 V<br>min <sup>-1</sup> | 400 V<br>min <sup>-1</sup> | 420 V<br>min <sup>-1</sup> | 440 V<br>min <sup>-1</sup> | 460 V<br>min <sup>-1</sup> | 500 V<br>min <sup>-1</sup> |   |          |        |                     |         |                                |                       |        |       |
| 3,6     | 750   |                            |                            |                            |                            |                            |                            | 1120  | 46       | 18,5   | 0,74                | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 4,4     |   | 890                        |                            |                            |                            |                            |                            | 1330  | 47       | 18,5   | 0,76                | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 5,6     |   |                            | 1180                       |                            |                            |                            |                            | 1380  | 45       | 18     | 0,77                | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 5,9     |   |                            |                            | 1240                       |                            |                            |                            | 1450  | 45       | 18     | 0,78                | 110     | 3,98                           | 500                   | 0 1    | **    |
| 6,3     |   |                            |                            |                            | 1300                       |                            |                            | 1510  | 46       | 18     | 0,79                | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 6,5     |   |                            |                            |                            |                            | 1350                       |                            | 1580  | 46       | 17,5   | 0,8                 | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 6,8     |   |                            |                            |                            |                            |                            | 1470                       | 1680  | 44       | 17     | 0,8                 | 110     | 3,98                           | 500                   |        |       |
| 4,5     | 860   |                            |                            |                            |                            |                            |                            | 1290  | 50       | 22,5   | 0,76                | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 5,5     |   | 1040                       |                            |                            |                            |                            |                            | 1550  | 51       | 22     | 0,79                | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 7       |   |                            | 1380                       |                            |                            |                            |                            | 1610  | 48       | 21,5   | 0,8                 | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 7,4     |   |                            |                            | 1450                       |                            |                            |                            | 1700  | 49       | 21,5   | 0,81                | 75      | 2,78                           | 500                   | 0 2    | **    |
| 7,8     |   |                            |                            |                            | 1510                       |                            |                            | 1770  | 49       | 21,5   | 0,81                | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 8       |   |                            |                            |                            |                            | 1580                       |                            | 1850  | 48       | 21     | 0,82                | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 8,3     |   |                            |                            |                            |                            |                            | 1710                       | 1960  | 46       | 20     | 0,83                | 75      | 2,78                           | 500                   |        |       |
| 5,2     | 1040  |                            |                            |                            |                            |                            |                            | 1550  | 48       | 25,5   | 0,78                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 6,2     |   | 1250                       |                            |                            |                            |                            |                            | 1860  | 47       | 25     | 0,81                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 7,7     |   |                            | 1650                       |                            |                            |                            |                            | 1940  | 45       | 24     | 0,82                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 8,3     |   |                            |                            | 1740                       |                            |                            |                            | 2040  | 46       | 24     | 0,83                | 55      | 2,03                           | 500                   | 0 3    | **    |
| 8,9     |   |                            |                            |                            | 1810                       |                            |                            | 2120  | 47       | 24     | 0,84                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 9,3     |   |                            |                            |                            |                            | 1890                       |                            | 2210  | 47       | 23,5   | 0,85                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 9,5     |   |                            |                            |                            |                            |                            | 2060                       | 2360  | 44       | 22     | 0,86                | 55      | 2,03                           | 500                   |        |       |
| 6,7     | 1340  |                            |                            |                            |                            |                            |                            | 1960  | 48       | 32     | 0,8                 | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 8       |   | 1670                       |                            |                            |                            |                            |                            | 2340  | 46       | 31,5   | 0,82                | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 10,2    |   |                            | 2060                       |                            |                            |                            |                            | 2410  | 47       | 31     | 0,82                | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 11      |   |                            |                            | 2160                       |                            |                            |                            | 2530  | 49       | 31     | 0,84                | 35      | 1,28                           | 500                   | 0 4    | **    |
| 11,6    |   |                            |                            |                            | 2260                       |                            |                            | 2650  | 49       | 31     | 0,85                | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 12      |   |                            |                            |                            |                            | 2360                       |                            | 2760  | 49       | 30,5   | 0,86                | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 12,9    |   |                            |                            |                            |                            |                            | 2570                       | 2950  | 48       | 30     | 0,86                | 35      | 1,28                           | 500                   |        |       |
| 9,3     | 1800  |                            |                            |                            |                            |                            |                            | 2600  | 49       | 43     | 0,83                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |
| 11,1    |   | 2180                       |                            |                            |                            |                            |                            | 3120  | 49       | 43     | 0,83                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |
| 14,3    |   |                            | 2840                       |                            |                            |                            |                            | 3210  | 48       | 42,5   | 0,84                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |
| 15,2    |   |                            |                            | 3000                       |                            |                            |                            | 3370  | 48       | 42     | 0,86                | 19      | 0,693                          | 500                   | 0 5    | ***   |
| 16      |   |                            |                            |                            | 3130                       |                            |                            | 3530  | 49       | 42     | 0,86                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |
| 16,4    |   |                            |                            |                            |                            | 3330                       |                            | 3680  | 47       | 41,5   | 0,86                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |
| 17,9    |   |                            |                            |                            |                            |                            | 3540                       | 4000  | 48       | 41     | 0,87                | 19      | 0,693                          | 500                   |        |       |

\*: de plus grandes plages de vitesse par désexcitation peuvent être étudiées en fonction de l'application: nous consulter.

Le Site



ENSEIGNER L'

g) Plaque signalétique commentée.

|   |                     |   |                   |   |                   |
|---|---------------------|---|-------------------|---|-------------------|
|  LR 57008<br>IEC 34.1.1990 |                     |  |                   | 2 102 451 / A<br>MADE IN<br>FRANCE  |                   |
|                            |                     | <b>MOTEUR A COURANT CONTINU</b><br><b>DIRECT CURRENT MOTOR</b>                    |                   |  |                   |
| TYPE: LSK 1604 S 02   |                     | N° 700000/10  |                   | 9/1992   M 249 kg   |                   |
| Classe / Ins class H  |                     | IM 1001   |                   | IP 23S IC 06  |                   |
| M <sub>nom</sub> / Rated torque 301 N.m   |                     | Altit. 1000 m   |                   | Temp. 40 °C   |                   |
|   | <b>kW</b>           | <b>min<sup>-1</sup></b>   | <b>V</b>          | <b>A</b>  | <b>V</b> <b>A</b> |
| Nom./Rat.   | 36,3                | 1150  | 440               | 95,5  | 360   3           |
|   | 3,63                | 115   | 44                | 95,5  | 360   3           |
|   | 36,3                | 1720  | 440               | 95,5  | 240               |
| T   | Système peinture: I |   | Induit / Arm.     |   | Excit. / Field    |
| ○   | Service / Duty S1   | DE 6312 2RS C3  | NDE 6312 2RS C3 ○ |   |                   |

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

**LSK** : Série de moteur

**160** : Hauteur d'axe

**4** : Polarité

**S** : Symbole du stator

**02** : Indice constructeur

**N° 700000** : N° série moteur

**/10** : N° d'ordre dans la série

**9** : Mois de production

**/92** : Année de production

**M 249 kg** : Masse

**Classe H** : Classe d'isolation

**IM 1001** : Position de fonctionnement

**IP 23S** : Indice de protection

**IC 06** : Mode de refroidissement

**Mnom 301Nm** : Moment nominal

**Altit. 1000 m** : Altitude maximale de fonctionnement en mètres

**Temp. 40 °C** : Température maximale ambiante de fonctionnement

**Caractéristiques nominales Nom**

36,3 kW : Puissance

1150 min<sup>-1</sup> : Nombre de tours par minute

440 V : Tension d'induit

95,5 A : Intensité d'induit

360 V : Tension d'excitation

3 A : Intensité d'excitation

**Autre point de fonctionnement**

3,63 kW : Puissance

115 min<sup>-1</sup> : Nombre de tours par minute

44 V : Tension d'induit

95,5 A : Intensité d'induit

360 V : Tension d'excitation

3 A : Intensité d'excitation

**Autre point de fonctionnement**

36,3 kW : Puissance

1720 min<sup>-1</sup> : Nombre de tours par minute

440 V : Tension d'induit

95,5 A : Intensité d'induit

240 V : Tension d'excitation

T : Indice d'imprégnation

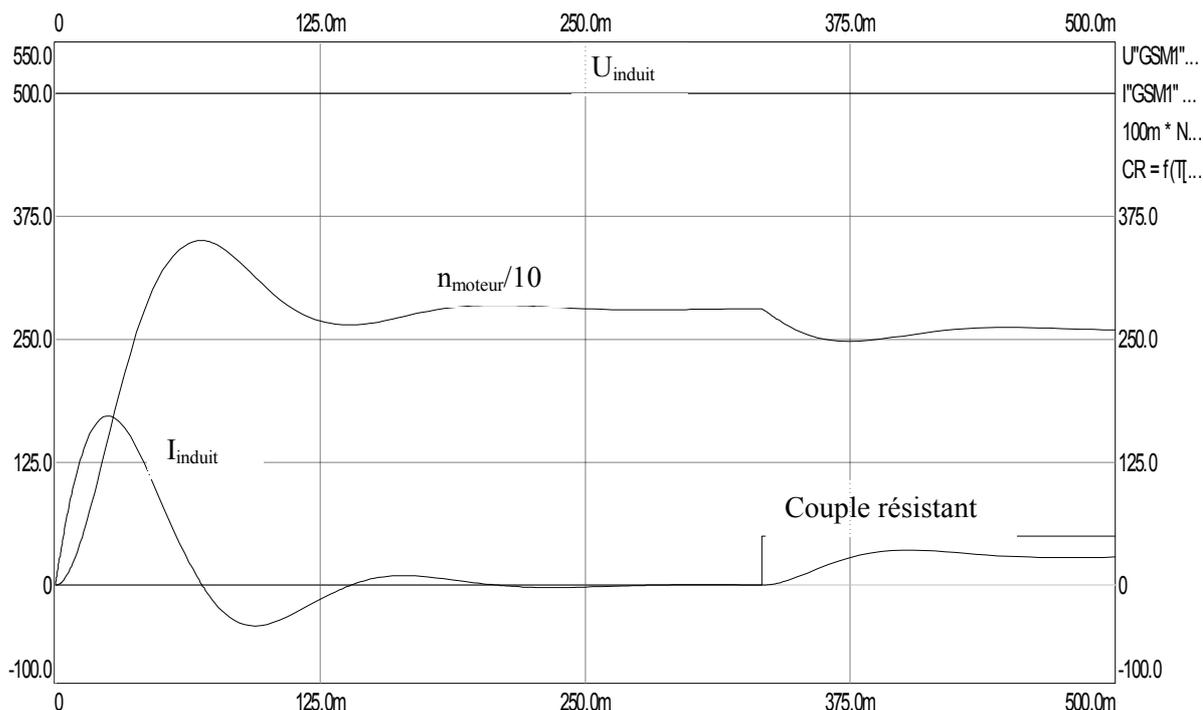
I : Système de peinture

S1 : Service S1

## IV. Alimentation d'une machine à courant continu

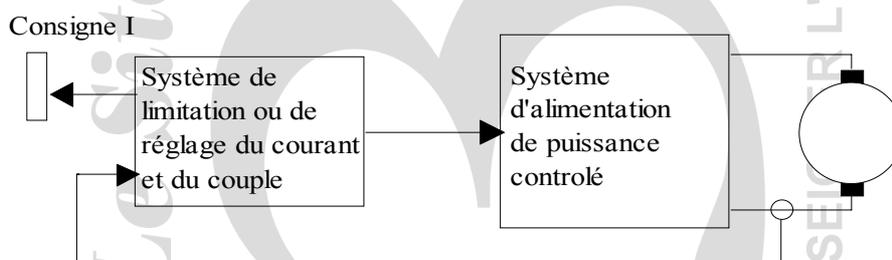
### 1. Alimentation directe sous tension nominale

Envisageons dans un premier temps un démarrage de la machine LSK 1122 L 04 sous sa tension nominale maximale de 500 V. Les caractéristiques de cette machine sont :  $R=1,28 \Omega$ ,  $L=35 \text{ mH}$ ,  $J=0,032 \text{ kg.m}^2$  et  $K_e=1,7$ . Les relevés suivants sont réalisés avec l'aide d'un logiciel de simulation SIMPLORER.



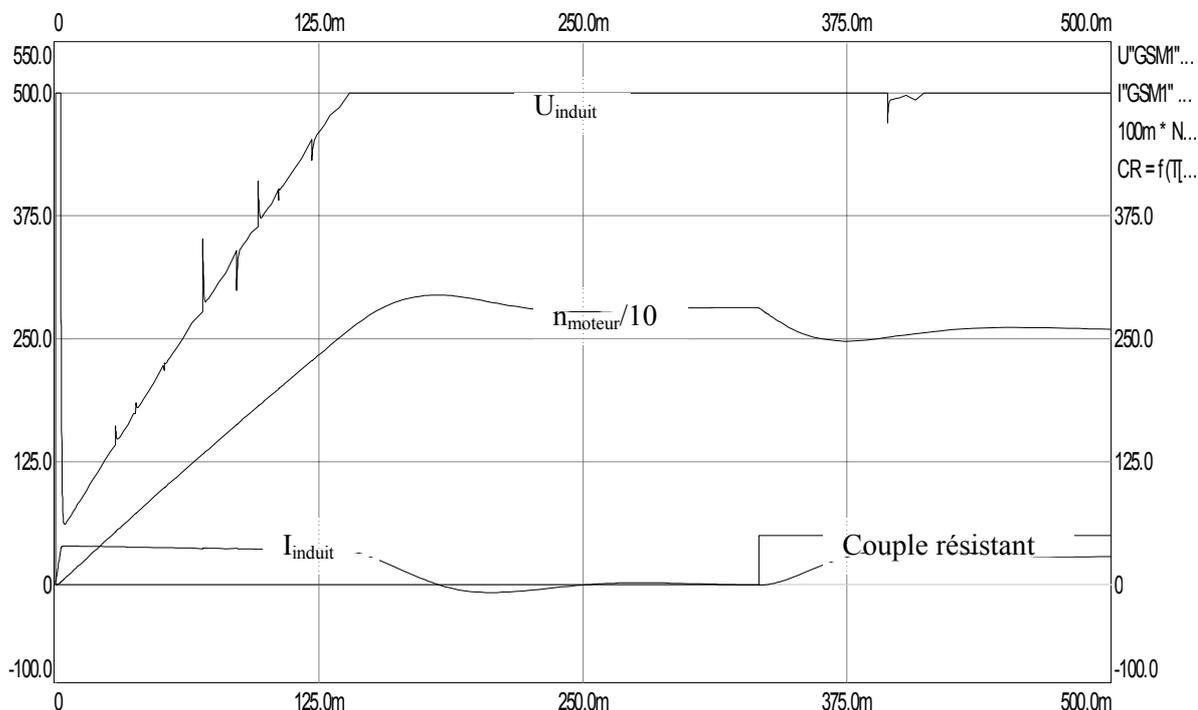
On remarque sur cette simulation une forte surintensité à la mise sous tension du moteur. Ce courant de démarrage de  $\approx 160 \text{ A}$  est égal à plus de trois fois le courant  $I_n$ . Il n'est donc pas admissible pour le collecteur de notre machine. Il est nécessaire de limiter le courant d'induit en adaptant continuellement la tension d'alimentation de la machine afin que courant d'induit ne dépasse pas  $2xI_n$ . Il peut être également souhaitable de contrôler directement le couple de la machine dans certaines applications (effort de traction constant, accélération contrôlée).

### 2. Alimentation avec contrôle du courant/couple



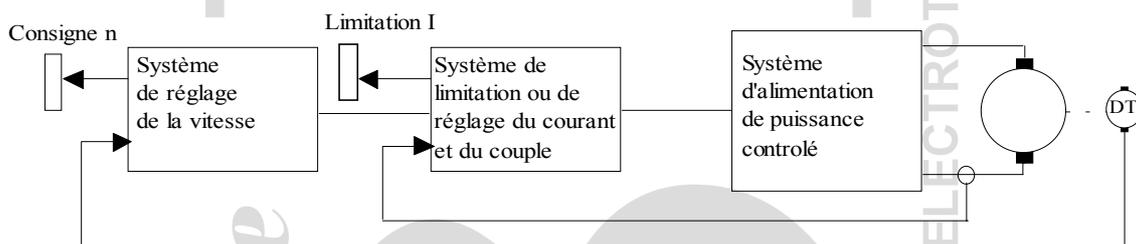
Cette alimentation utilise une source de tension contrôlée ( $U_{\text{moteur}} = k.V_{\text{commande}}$ )

permettant d'ajuster le niveau de tension correspondant au courant souhaité. La tension est limitée à 500 V.

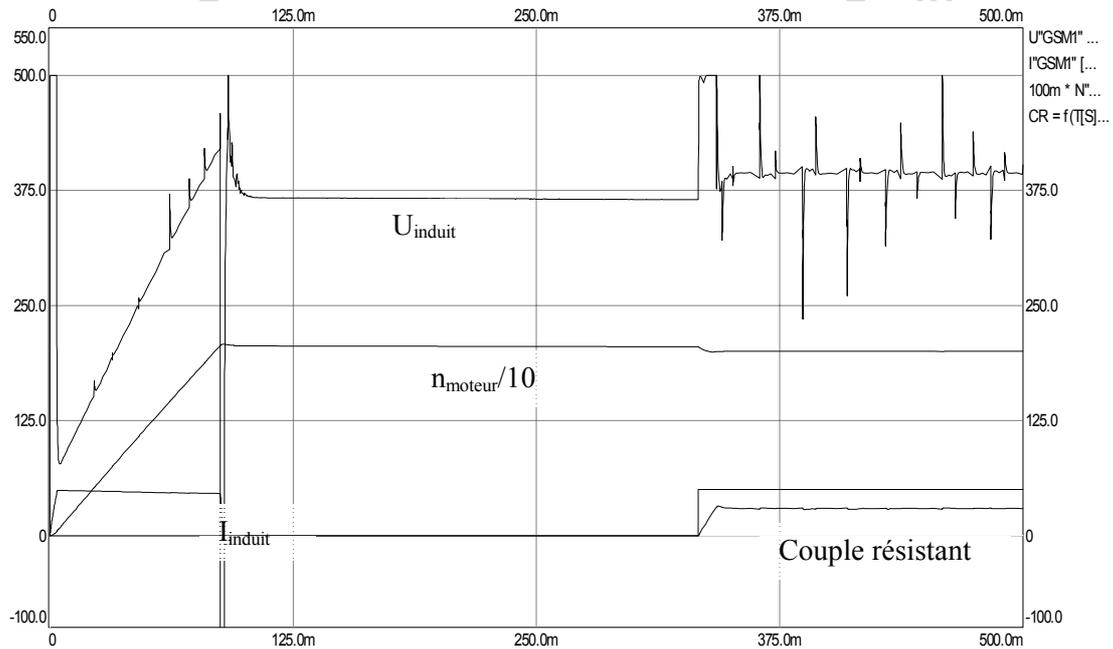


Le courant est ici limité à 40 A ce qui impose un temps de démarrage plus long. La variation de charge appliquée au moteur (de 0 à 50 Nm) fait apparaître une forte variation de la vitesse de rotation. Il faut donc pour contrôler la vitesse de la machine une structure qui vienne positionner le couple  $C_e$  sur la valeur de  $C_r$  à la vitesse désirée. Cette structure devra également limiter le courant à une valeur comprise entre  $I_n$  et  $2.I_n$ .

### 3. Alimentation avec contrôle de la vitesse et limitation du courant

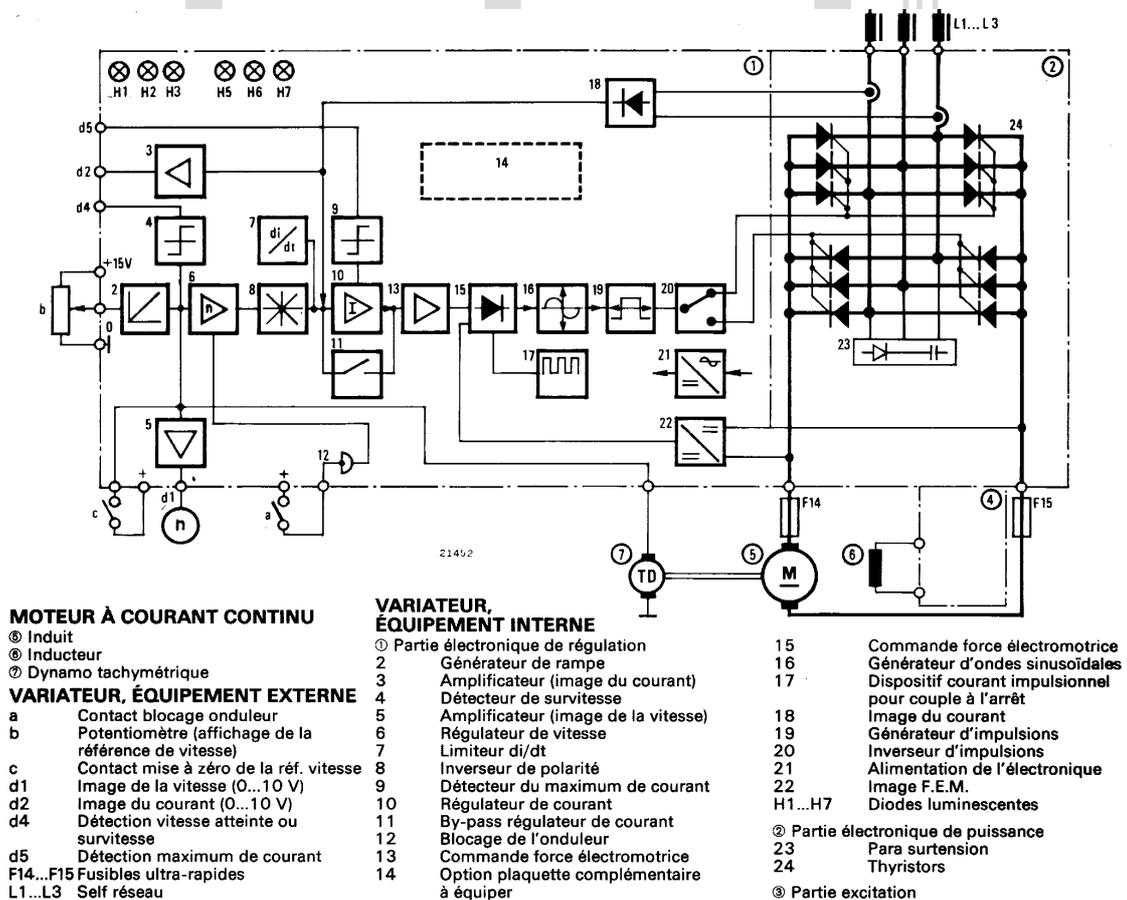


La vitesse initiale et le courant initial sont nuls. On applique tout d'abord la tension maximale autorisée pour atteindre le plus rapidement possible le courant maximal d'induit. On asservit ensuite la tension d'induit pour maintenir le courant d'induit maximal pendant l'accélération. Lorsque la vitesse de 2000 tr/min est atteinte la tension d'induit est positionnée afin d'imposer un courant d'induit tel que  $C_e = C_r$  (dans notre cas le moteur est à vide et les couple de pertes moteur sont négligés donc  $I_{ind} = 0$ ). Lorsque le couple résistant passe de 0 à 47 Nm le système réagit pour maintenir  $C_e = C_r$  à la vitesse de 2000 tr/min.



#### 4. Exemple de système d'alimentation industriel

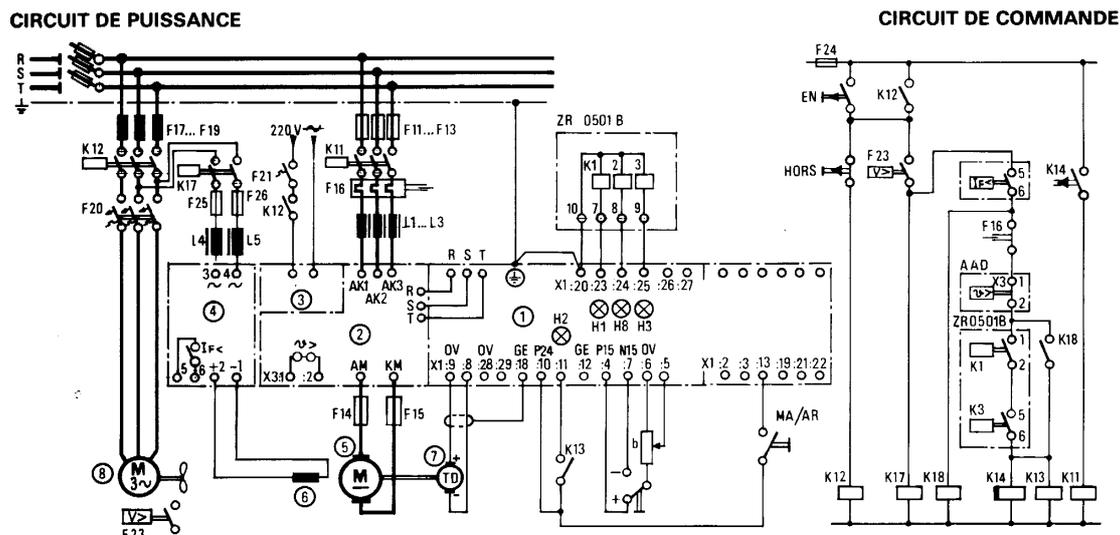
Ceci est un exemple de réalisation industrielle de redresseur commandé fonctionnant dans les quatre quadrants (proposé par ABB industrie)



Le système d'alimentation de puissance contrôlé est réalisé par 2 ponts redresseurs commandés montés tête bêche. Cette solution avec pont redresseur commandé (pont mixte monophasé pour une structure 1 quadrant, pont complet monophasé ou triphasé pour une structure 2 quadrants et 2 ponts complets monophasés ou triphasés montés tête bêche pour une structure 4 quadrants) est de loin la solution la plus utilisée pour l'alimentation des moteurs à courant continu d'une puissance allant de quelques kW à quelques MW. Les hacheurs (1,2 ou 4 quadrants) sont également très fréquemment utilisés pour les petites puissances (quelques W à quelques kW) lorsque l'on recherche des performances dynamiques élevées. La technologie des moteurs utilisés avec les hacheurs doit bien entendu permettre d'atteindre le niveau de performances désiré. Les constantes de temps mécanique mais aussi électrique devront donc dans ce cas être particulièrement faibles (moteur à rotor plat, moteur cloche à rotor sans fer ou moteur "saucisson" (long et de faible diamètre)).

Le système de limitation du courant est constitué d'une mesure (18) monté coté réseau et d'un régulateur ou limiteur de courant (10). Le système de contrôle de la vitesse est constitué d'une mesure par génératrice tachymétrique et d'un régulateur de vitesse (6). On remarque un système de limitation de la vitesse (4) ainsi qu'un système de limitation des accélérations (2) permettant de préserver la mécanique entraînée.

Voici son schéma de raccordement externe (proposé par ABB industrie)



**VARIATEUR**

- ① Partie électronique de régulation
- ② Partie électronique de puissance
- ③ Partie ventilation
- ④ Partie excitation

**MOTEUR À COURANT CONTINU**

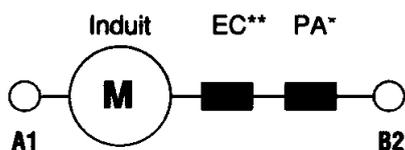
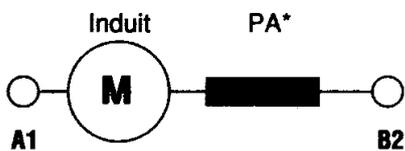
- Ⓢ Induit
- Ⓣ Inducteur
- Ⓩ Dynamo tachymétrique
- Ⓜ Moteur ventilateur

**EQUIPEMENT**

- b Potentiomètre (affichage de la référence "vitesse")
- F11...F13 Fusibles ultra-rapides
- F14 F15 Fusibles ultra-rapides
- F16 Relais thermique
- F17...F19 Fusibles
- F20 Disjoncteur magnéto-thermique
- F21 Disjoncteur magnéto-thermique
- F23 Relais (surveillance ventilation moteur)
- F24 Fusibles
- F25 F26 Fusibles
- H1 Diode luminescente verte (prêt au service)
- H2 Diode luminescente verte (blocage du régulateur)
- H3 Diode luminescente rouge (manque mesure de vitesse, absence tachy)
- H6 Diode luminescente verte (pont n° 1 en service)
- H7 Diode luminescente rouge (pont n° 2 en service)
- H8 Diode luminescente verte (moteur à l'arrêt)
- K11 Contacteur de ligne
- K12 Contacteur auxiliaire (marche ventilation moteur)
- K13 Contacteur auxiliaire (blocage onduleur)
- K14 Contacteur auxiliaire temporisé
- K17 Contacteur auxiliaire (marche alimentation de champ)
- K18 Contacteur auxiliaire
- L1...L3 Self réseau
- L4 L5 Self réseau
- ZR 0501 B Interface à trois relais

2140.1

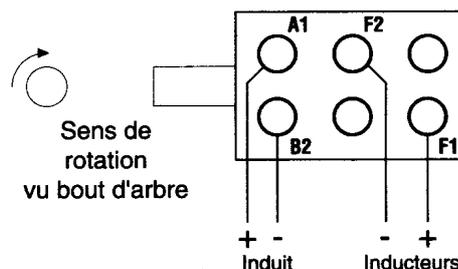
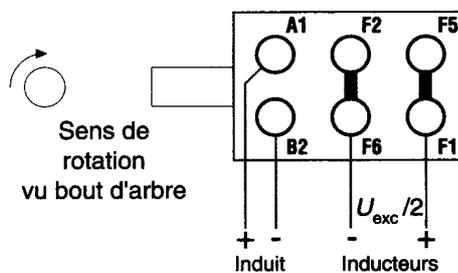
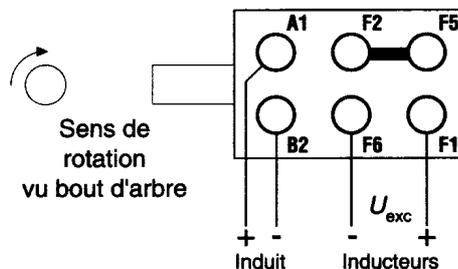
## 5. Raccordement dans la boîte à bornes



Les schémas électriques ci-contre se retrouvent dans la boîte à bornes. On reconnaît dans l'ordre :

- Un moteur non compensé avec pôles d'aide à la commutation (PA)
- Un moteur compensé avec pôles d'aide à la commutation (PC)
- Un inducteur bi-tension par connexion série ou parallèle
- Un inducteur mono-tension

Ci-dessous l'implantation dans la boîte à bornes



Le Site

## Travail personnel

### 1. Choix de moteur et de redresseur.

- La machine à entraîner requiert une puissance de 10 kW à 2000 tr/min
- La machine fonctionne 10 h par jour et subit 2 démarrages dans la journée
- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 240/415 V 50 Hz
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1

#### ✎ Choisir le moteur et le convertisseur

### 2. Choix de moteur alimenté par redresseur triphasé.

- La machine à entraîner requiert une puissance de 8 kW à 1420 tr/min
- La machine fonctionne périodiquement 15 min par heure sans dépasser In
- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 380 V 50 Hz
- Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1
- La température de fonctionnement est de 55°C
- L'altitude d'implantation est de 2000

#### ✎ Choisir le moteur

### 3. Choix de moteur décrivant un cycle de fonctionnement.

- La machine à entraîner a un couple résistant constant et non réversible de 100 Nm
- La machine à entraîner a une inertie de 120 kg.m<sup>2</sup>
- 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 pendant 5s
- La machine à entraîner doit passer de 60 à 0 tr/min en 1s
- La machine à entraîner reste immobile pendant 1s puis le cycle recommence
- Le moteur est accouplé à la machine par un réducteur de rapport 1/20 supposé parfait
- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 230/380 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 :  $\Omega_1$

Couple résistant :  $C_{r1}$

Inertie de la charge :  $J_1$

#### ✎ Calculer les différents couples moteurs nécessaires aux différentes phases en supposant que le LSK 1122 L peut convenir

#### ✎ Déterminer le couple moyen équivalent correspondant

#### ✎ Choisir le moteur LSK 1122 L pour une alimentation monophasée

#### ✎ Choisir le moteur LSK 1122 L pour une alimentation triphasée

## Autocorrection

### 1. Choix de moteur et de redresseur.

- 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. Le facteur de correction pour effectuer le choix du moteur est de 1. 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 2000 tr/min
- ✎ *Le facteur de correction étant unitaire la puissance de 10 kW à 2000 tr/min sera prise en compte pour le dimensionnement du moteur. Ce sont les deux entrées du tableau de choix de la gamme de moteur LSK (III/5). On remarque que ce tableau est valable pour une tension moyenne d'induit de 460 V.*
- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 240/415 V 50 Hz
- ✎ *Le tableau (III/4) nous indique que pour une alimentation monophasée de 240 V la tension maximale en sortie du pont redresseur est de  $\approx 200$  V et pour une alimentation triphasée de 415 V la tension maximale en sortie du pont redresseur est de  $\approx 470$  V.*
- ✎ *Sur le tableau de choix de la gamme de moteur LSK (III/5), donné pour une tension d'induit de 460 V, on place en abscisse 2000 tr/min et en ordonnée  $\approx 460/470$  de 10 kW le moteur LSK 1122 se situe au dessus. Il est donc probable que celui-ci convient dans le cas d'une alimentation triphasée.*
- ✎ *Le coefficient 460/470 est du au fait que la puissance disponible sous une tension de 470 V est à peu près égale à la puissance du tableau sous une tension de 460 V  $\times 470/460$*

$$P = C \cdot \Omega \quad \text{et} \quad n = \frac{60 \cdot U}{2 \cdot \pi \cdot K_e \cdot \Phi_T} - \frac{60 \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot (K_e \cdot \Phi_T)^2} C_e \quad \text{donc} \quad n \approx K \cdot U$$

d'où

$$P(460 \text{ V}) = C \cdot \Omega(460 \text{ V}) \quad \text{et} \quad P(470 \text{ V}) = C \cdot \Omega(470 \text{ V})$$

soit

$$P(460 \text{ V}) = P(470 \text{ V}) \times \frac{\Omega(470 \text{ V})}{\Omega(460 \text{ V})} \approx P(470 \text{ V}) \times \frac{470}{460}$$

- ✎ *Sur le tableau de choix de la gamme de moteur LSK (III/5), donné pour une tension d'induit de 460 V, on place en abscisse 2000 tr/min et en ordonnée  $\approx 460/470$  de 10 kW le moteur LSK 1122 se situe au dessus. Il est donc probable que celui-ci convienne dans le cas d'une alimentation triphasée.*
- ✎ *Sur le tableau de choix de la gamme de moteur LSK (III/5), donné pour une tension d'induit de 460 V, on place en abscisse 2000 tr/min et en ordonnée  $\approx 460/200$  de 10 kW le moteur LSK 1122 se situe au dessous. Le moteur LSK 1124 semble être juste convenable dans le cas d'une alimentation monophasée. Nous n'étudierons pas plus loin cette solution très coûteuse.*
- ✎ *On constate sur le tableau détaillé du moteur 1122 LSK XX (III/6/f) que les modèles 1122 LSK 01, 1122 LSK 02, 1122 LSK 03 ne permettent pas d'atteindre le point 10 kW, 2000 tr/min (le maximum est de 9,3 kW, 1890 tr/min pour 460 V soit 9.5 kW, 1931 tr/min pour 470 V). Le moteur 1122 LSK 04 produit 10,2 kW, 2060 tr/min pour une tension d'alimentation de 400 V ce qui permet d'atteindre 9,9 kW, 2000 tr/min pour une tension*

*d'alimentation de  $\approx 387 V$  (approximation linéaire entre les deux points du tableau). Le moteur 1122 LSK 05 produit 10,2 kW, 2000 tr/min pour une tension d'alimentation de  $\approx 285 V$  (approximation linéaire entre les deux points du tableau encadrant ces valeurs). ce qui est parfaitement réalisable avec un redresseur commandé. C'est donc ce dernier moteur qui convient avec une alimentation triphasée.*

## 2. Choix de moteur alimenté par redresseur triphasé.

- La machine fonctionne périodiquement 15 min par heure sans dépasser In
- ✎ *On reconnaît ici un service intermittent périodique S3 de la machine. Le facteur de correction pour un facteur de marche de 25% est de 1,4 (un moteur de 1 kW peut fournir 1,4 kW).*
- La température de fonctionnement est de 55°C
- L'altitude d'implantation est de 2000
- ✎ *Le coefficient de correction correspondant est de 0,8 (III/6/a) (un moteur de 1 kW peut fournir 0,8 kW).*
- La machine à entraîner requiert une puissance de 8 kW à 1420 tr/min
- ✎ *La puissance de dimensionnement est donc de 8 kW / 1,4 pour prendre en compte le service S3 soit 5,71 kW et de 5,71 kW / 0,8 pour prendre en compte l'altitude et la température soit 7,14 kW.*
- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 380 V 50 Hz
- ✎ *Le tableau (III/4) nous indique que pour une alimentation triphasée la tension maximale en sortie du pont redresseur est de 440 V.*
- ✎ *Sur le tableau de choix de la gamme de moteur LSK (III/5), donné pour une tension d'induit de 460 V, on place en abscisse 1420 tr/min et en ordonnée 460/440 de 7,14 kW le moteur LSK 1122 se situe au dessus. Il est donc probable que celui-ci convienne dans le cas d'une alimentation triphasée.*
- ✎ *On constate sur le tableau détaillé du moteur 1122 LSK XX (III/6/f) que le modèle 1122 LSK 01 ne permet pas d'atteindre le point 7,14 kW, 1420 tr/min (le maximum est de 6,3 kW, 1300 tr/min pour 440 V). Le moteur 1122 LSK 02 produit quant à lui 7,4 kW, 1450 tr/min pour une tension d'alimentation de 420 V ce qui permet d'atteindre 7,22 kW, 1420 tr/min pour une tension d'alimentation de  $\approx 410 V$  (ce qui est parfaitement réalisable en ajustant l'angle de retard à l'allumage des thyristors constituant le pont redresseur commandé).*

## 3. Choix de moteur Décivant un cycle de fonctionnement.

- ✎ **Déterminer les caractéristiques utiles en sortie de l'arbre moteur repère 1**  
**Vitesse de rotation :  $\Omega_1$**
- ✎ *La vitesse maximale de fonctionnement après le réducteur est de  $n_2 = 60$  tr/min. Le réducteur 1/20 du moteur vers la charge nous permet de calculer la vitesse de rotation en sortie moteur  $n_1 = 60$  tr/min  $\times 20 = 1200$  tr/min soit  $\Omega_1 = 125,66$  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 :  $P_1 = C_1 \cdot \Omega_1 = P_2 = C_2 \cdot \Omega_2$  d'où :*

$$C_{r1} = C_{r2} \times \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = 5 Nm$$

**Inertie de la charge :  $J_1$**

- La machine à entraîner a une inertie de 120 kg.m<sup>2</sup>
- ✎ *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 :*

$$W_1 = \frac{1}{2} J_1 \times \Omega_1^2 = W_2 = \frac{1}{2} J_2 \times \Omega_2^2 \quad \text{soit} \quad J_1 = J_2 \times \frac{\Omega_2^2}{\Omega_1^2} = 0,3 \text{ kg.m}^2$$

✎ **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 (y compris le couple de pertes du moteur)

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

Il faut donc un moteur pressenti : le LSK 1122 L :  $J_m = 0,032 \text{ kg.m}^2$  et revenir sur ce choix en cas de mauvais choix. On a donc  $J_{1T} = J_1 + J_m = 0,332 \text{ kg.m}^2$  et  $C_{r1} = 5 Nm$ .

$$C_{m1} = J_{1T} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,332 \times \frac{125,66}{1} + 5 = 46,72 Nm$$

- 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 :*

$$C_{m1} = C_{r1} = 5 Nm$$

- 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 :*

$$C_{m1} = J_{1T} \frac{d\Omega_1}{dt} + C_{r1} = 0,332 \times \frac{-125,66}{1} + 5 = -36,72 Nm$$

Le signe moins indique seulement une phase de freinage.

- La machine à entraîner reste immobile pendant 1s puis le cycle recommence
- ✎ *Si la charge n'est pas entraînée aucun couple n'est utile durant cette phase.*
- ✎ **Déterminer le couple moyen équivalent**
- ✎ *Pour ce service type S5 le calcul d'un couple moyen équivalent est nécessaire pour le dimensionnement du moteur. Il est donné par la relation :*

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

Les valeurs 5 Nm et 0 Nm sont remplacées par  $N_{nom}/2$  du LSK 1122 L :

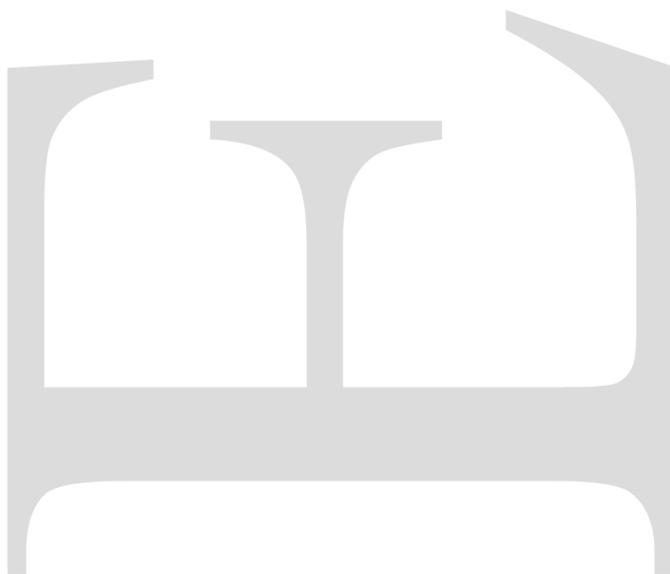
$$C_m = \sqrt{\frac{(46,72)^2 \cdot 1s + (23,5)^2 \cdot 5s + (-36,72)^2 \cdot 1s + (23,5)^2 \cdot 1s}{1s + 5s + 1s + 1s}} = 29,25 Nm$$

✎ **Choisir le moteur pour une alimentation monophasée**

- L'ensemble machine/convertisseur est raccordé au réseau triphasé 230/380 V 50 Hz
  - Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1
- ✎ *Le tableau (III/4) nous indique que pour une alimentation monophasée de 230 V la tension maximale en sortie du pont redresseur est de 190 V. Aucun coefficient de correction n'est à prendre en compte. La puissance est de  $29,25 \times 125,66 = 3675 \text{ W}$  (pour 1200 tr/min). Les 4 premiers moteurs alimentés avec un pont complet (4 quadrants) ne permettent pas d'obtenir la vitesse désirée. Le LSK 1122 L 05 alimenté sous 190 V permet 4,43 kW pour 1338 tr/min et 3,97 kW, 1200 tr/min pour 170 V de tension d'induit. Cette solution est satisfaisante.*

✎ **Choisir le moteur pour une alimentation triphasée**

- ✎ *Le tableau (III/4) nous indique que pour une alimentation triphasée de 380 V la tension maximale en sortie du pont redresseur est de 440 V. Aucun coefficient de correction n'est à prendre en compte. La puissance est de 3675 W pour 1200 tr/min. Le LSK 1122 L 01 alimenté sous 420 V permet 5,9 kW pour 1240 tr/min et 5,7 kW, 1200 tr/min pour 407 V de tension d'induit. Cette solution est très(trop ?) largement satisfaisante.*



Le Site

ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE