

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Batna 2  
Mustapha Ben Boulaïd  
Faculté de Technologie



جامعة باتنة 2  
مصطفى بن بولعيد  
كلية التكنولوجيا

**Département : Electrotechnique**

**Filières : Electromécanique et Electrotechnique**

**SUPPORT DE COURS**

**Module : Schémas et Appareillage**

**ELM59 & ELT521**

**CHAPITRE 03**

**DIFFÉRENTS DÉMARRAGES/ FREINAGES  
DES MOTEURS ASYNCHRONES**

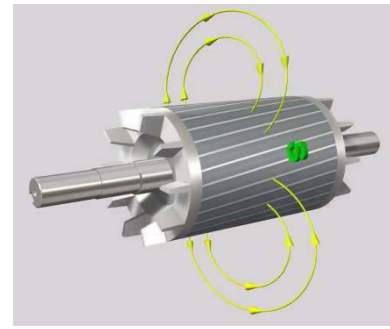
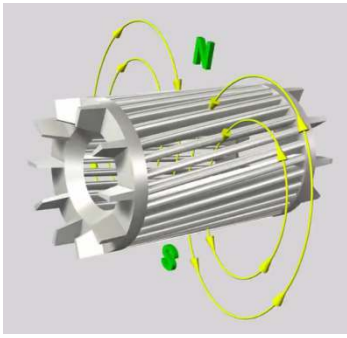
✓ *Chargés de cours : - BOUBIR Messaoud - MELLAS Abdessemed*

✓ *Chargés des T.P. : BOUKHALFA Ghoulem Allah - DJARAF Nour El HOuda - MELLAS Abdessemed*

*Préparé par : Pr. DRID Said et Réorganisé par : Mr. BOUBIR Messaoud*

*Année Universitaire : 2022 - 2023*

# I. DIFFERENTS DEMARRAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES



## 1. Les Démarreurs :

Lors de la mise sous tension d'un moteur asynchrone, celui-ci provoque un fort appel de courant qui peut provoquer des chutes de tension importantes dans une installation électrique. Pour ces raisons en autres, il faut parfois effectuer un démarrage différent du démarrage direct.

Il est donc logique de limiter le courant pendant le démarrage à une valeur acceptable. Mais si l'on limite le courant, on limite du fait la tension (dans certain cas seulement). Or le couple est lié à la tension d'alimentation par la loi :  $C = f(U^2)$ . On voit bien le problème apparaître. Si on limite la tension, on limite le couple du moteur. Le fait de diminuer la tension de  $\sqrt{3}$  diminue le couple par 3. Une autre grandeur apparaît faisant la différence ou l'écart entre la vitesse du champ tournant  $n_s$  et celle du rotor  $n_r$ , appelée glissement et est désignée par le symbole « g », avec  $g = (n_s - n_r)/n_s$  en % comprise entre 0 et 1. Aussi, il faut indiquer que la vitesse du champ tournant au stator  $n_s = 60.f/p$ , est fonction de la fréquence de la tension et le nombre de paires de pôles de la machine.

## 2. Moteur à cage simple :

C'est une cage constituée simplement d'un type de barre soit carrée (comme dans l'exemple), soit cylindrique. Il a l'avantage d'être peu cher à fabriquer. Par contre, on peut constater que son couple de démarrage est assez faible. Pour une charge ayant des frottements secs importants (frottement au démarrage), il se peut que le moteur démarre difficilement

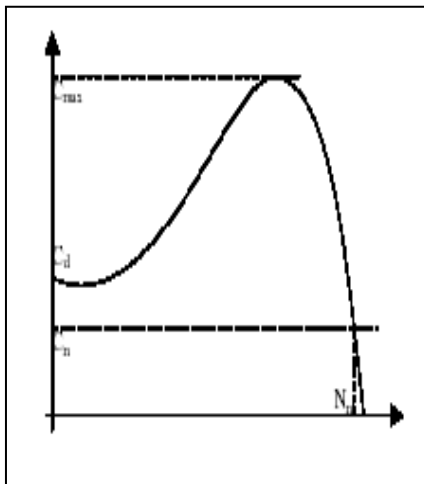


Fig.1 : Caractéristique couple vitesse

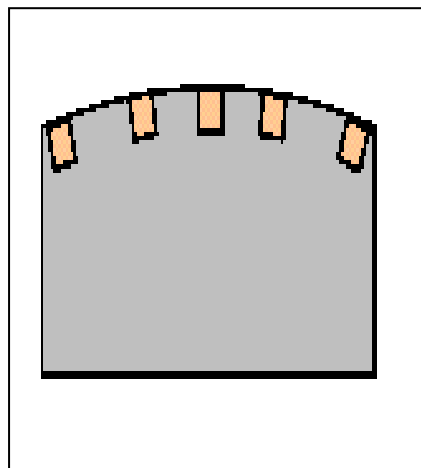


Fig.2 : Cage simple

## 3. Cage à encoches profondes :

C'est une cage constituée d'un type de barre plus profond que précédemment. Lors du démarrage, un phénomène physique fait circuler le courant dans la périphérie des conducteurs (effet de peau). Comme l'extérieur de la cage a une section plus faible, la résistance est plus élevée et le courant un peu plus limité. A la fin du démarrage, le courant circule dans toute la surface de la cage.

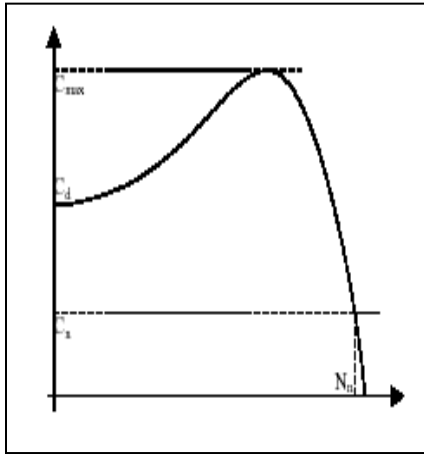


Fig.3 : Caractéristique couple vitesse

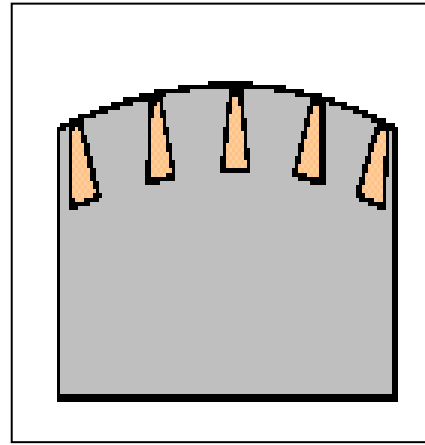


Fig.4 : Cage à encoches profonde

**4. Cage double :**

C'est une cage constituée de deux types de barres ayant des caractéristiques différentes. Lors du démarrage, comme sur la cage profonde, le courant circule dans la cage extérieure (plus résistante que la cage intérieure). On peut constater que son couple de démarrage est assez bon.

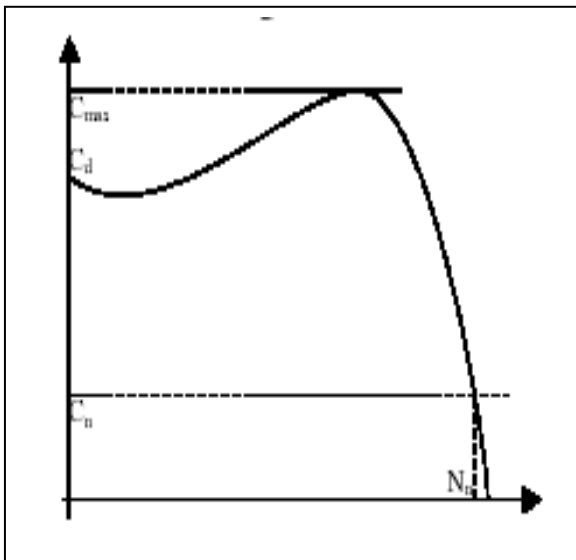


Fig.5 : Caractéristique couple vitesse

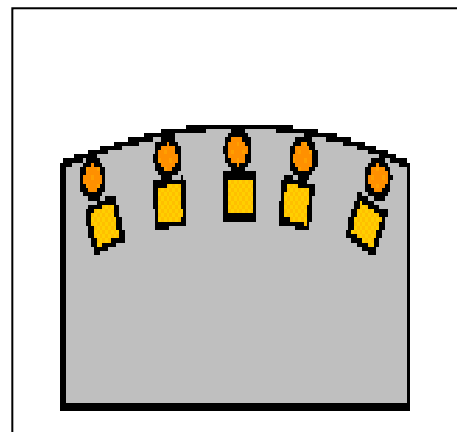


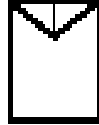






Fig.6 : Cage à encoches profonde

**5. Symboles :**

	Démarrateur de moteur (symbole générale)		Démarrateur avec mise à l'arrêt automatique		Démarrateur semi-automatique où Démarrateur automatique
---	---	---	--	--	--

Un sens de marche		Deux sens de marche
Couplage triangle		Couplage étoile
Contacteur		Discontacteur (contacteur associé à un relais de protection)
Résistance		Autotransformateur

### 6. Démarrage direct :

C'est le mode de démarrage le plus simple. Le moteur démarre sur ses caractéristiques "naturelles". Au démarrage, le moteur se compose comme un transformateur dont le secondaire (rotor) est presque en court-circuit, d'où la pointe de courant au démarrage.

$$I_d = 5 \text{ à } 8 I_n$$

$$C_d = 0,5 \text{ à } 1,5 C_n$$

$I_d, C_d$  : Courant et couple de démarrage  
 $I_n, C_n$  : Courant et couple nominal

Fig.7 : Schéma unifilaire

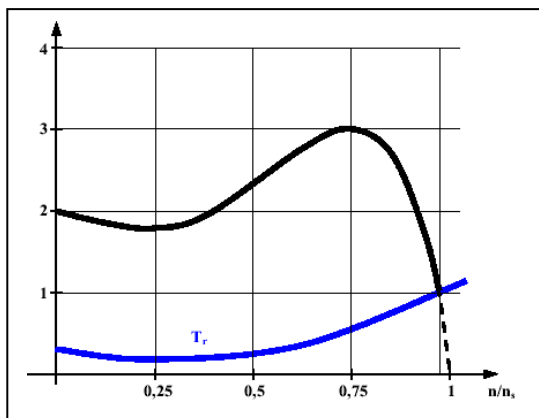
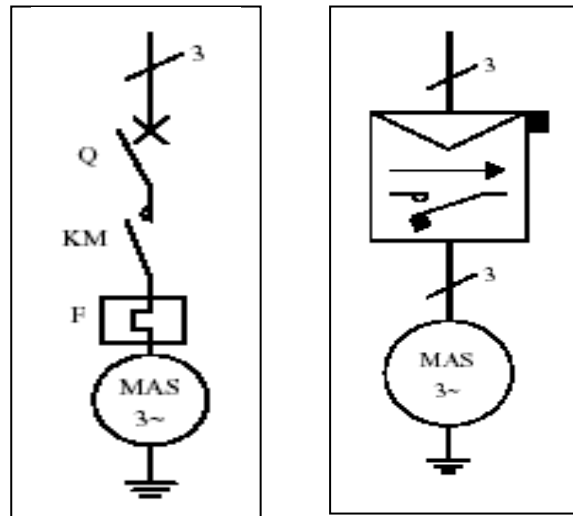


Fig.8 : Caractéristique couple \_ vitesse

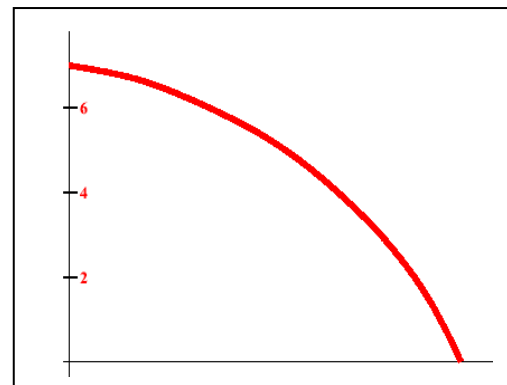


Fig.9 : Caractéristique courant \_ vitesse

Malgré les avantages qu'il présente (simplicité de l'appareillage, démarrage rapide, coût faible), le démarrage direct convient dans les cas où :

- La puissance du moteur est faible par rapport à la puissance du réseau (dimension du câble)
- La machine à entraîner ne nécessite pas de mise en rotation progressive et peut accepter une mise en rotation rapide
- Le couple de démarrage doit être élevé

Ce démarrage ne convient pas si

- Le réseau ne peut accepter de chute de tension
- La machine entraînée ne peut accepter les à-coups mécaniques brutaux
- Le confort et la sécurité des usagers sont mis en cause (escalier mécanique)

### 7. Démarrage étoile triangle :

- **Ce mode de démarrage n'est utilisable si les deux extrémités de chaque enroulement sont accessibles. De plus, il faut que le moteur soit compatible avec un couplage final triangle.**

Lors du couplage étoile, chaque enroulement est alimenté sous une tension  $\sqrt{3}$  fois plus faible, de ce fait, le courant et le couple sont divisés par 3. Lorsque les caractéristiques courant ou couple sont admissibles,

on passe au couplage triangle. Le passage du couplage étoile au couplage triangle n'étant pas instantané, le courant est coupé pendant 30 à 50 ms environ. Cette coupure du courant provoque une démagnétisation du circuit magnétique. Lors de la fermeture du contacteur triangle, une pointe de courant réapparaît brève mais importante(magnétisation du moteur).

$$I_d = 1,5 \text{ à } 2,6 I$$

$$C_d = 0,2 \text{ à } 0,5$$

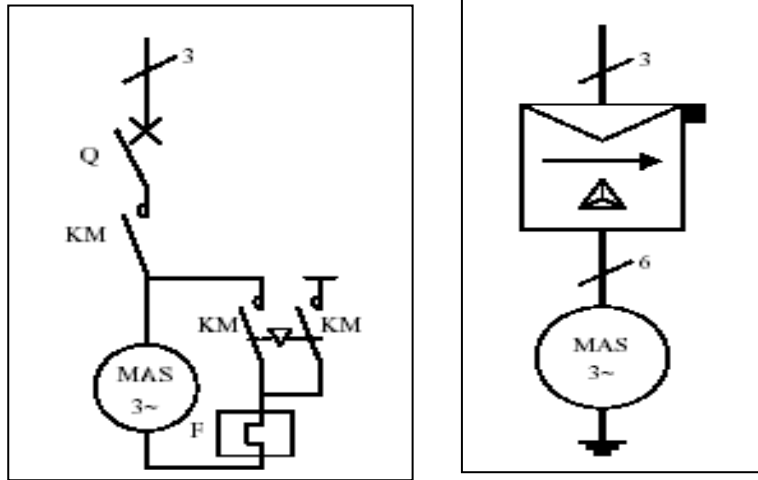


Fig.10 : Schéma unifilaire

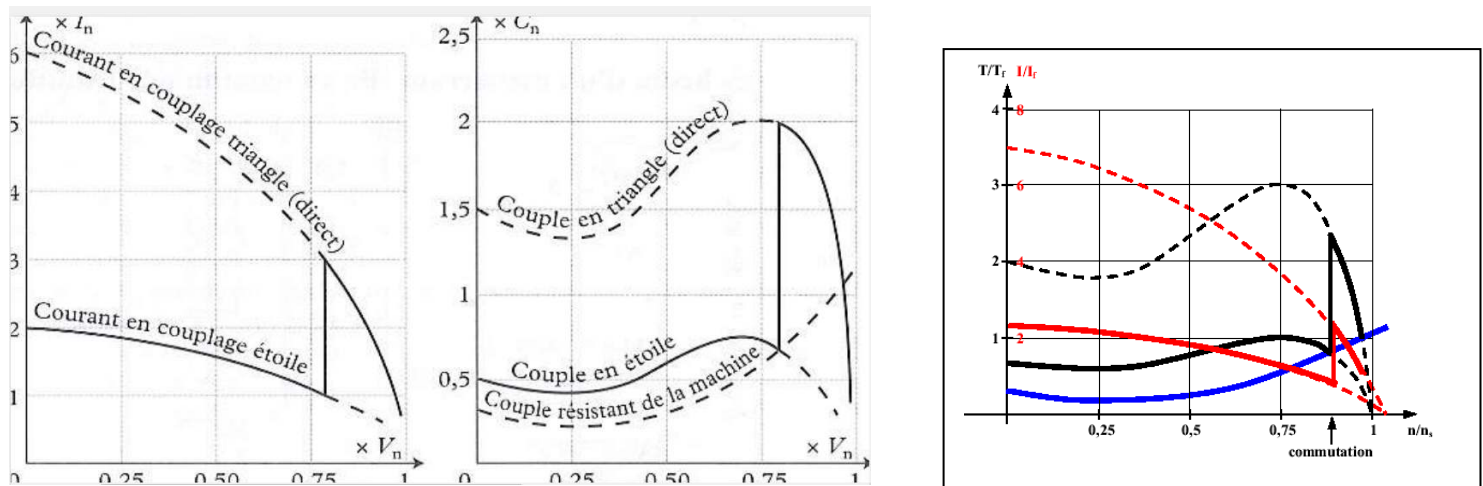


Fig.11 : Caractéristiques (couple- vitesse) et (courant vitesse)

**8. Démarrage statorique à résistances :**

Le principe consiste à démarrer le moteur en direct, mais dans un premier temps par des résistances électriques, limitant ainsi le courant de démarrage. Le moteur démarrant sous tension réduite, celle-ci augmente progressivement en même temps que le courant diminue. La valeur des résistances est calculée en fonction de la pointe de courant admissible ou du couple de démarrage minimum.

$$I_d = 4,5 I_n \text{ environ}$$

$$C_d = 0,75 C_n$$

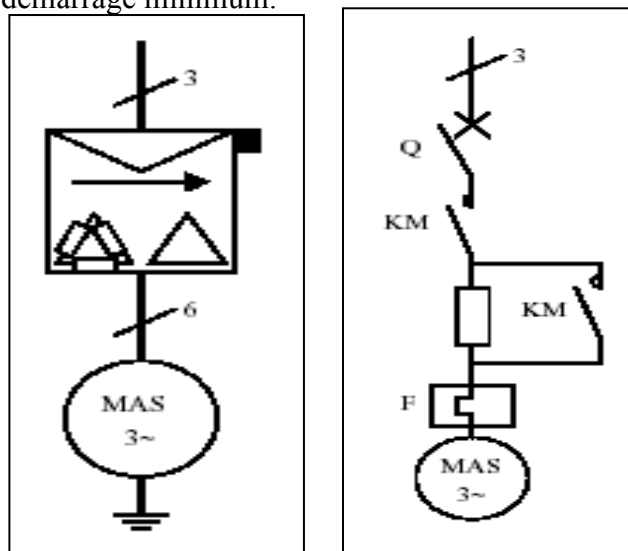


Fig.12 : Schéma unifilaire

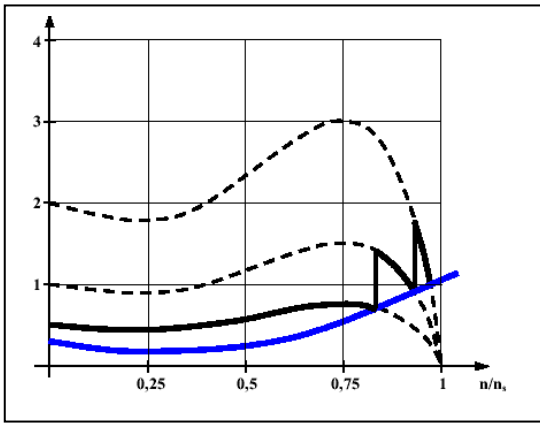


Fig.13 : Caractéristique couple- vitesse

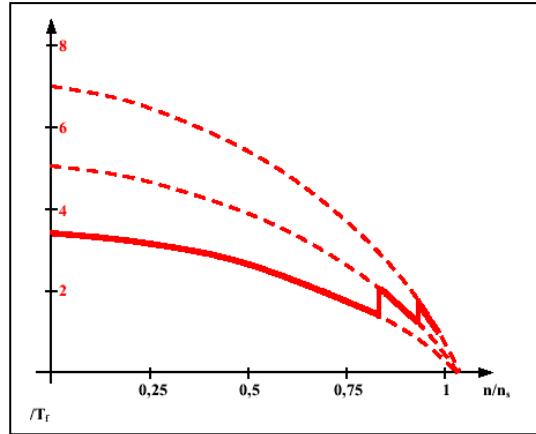


Fig.14 : Caractéristique courant vitesse

**Remarque :**

Le démarrage statorique peut être associé au dispositif de démarrage étoile triangle. On démarre en étoile, puis on passe en couplage triangle avec les résistances, et enfin on termine en couplage triangle directe. Pour les moteurs de grosse puissance, les résistances sont remplacées par un démarreur à résistances électrolytiques. Des barres sont plongées progressivement dans une cuve remplis de liquide. Au fur et a mesure que les barres plongent, la résistance diminue progressivement, et en fin de démarrage, on court-circuite les résistances.

**9. Démarrage par autotransformateur :**

Dans le démarrage par autotransformateur, on effectue le même type que le démarrage étoile triangle (on a en plus le choix du rapport des tensions en choisissant le rapport de transformation) mais les phénomènes transitoires du démarrage étoile triangle (pointe de courant au passage triangle, ne vont plus exister car le courant n'est jamais coupé.

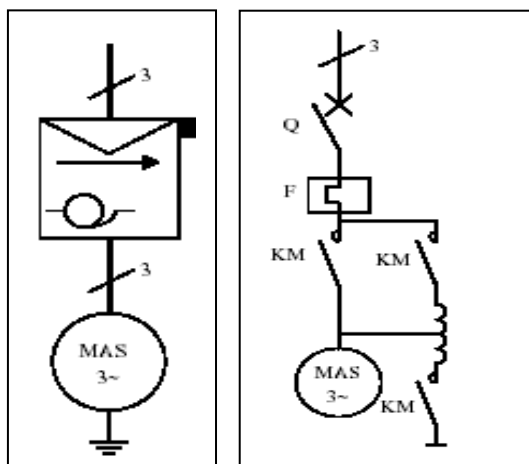
Dans un premier temps, on démarre le moteur sur un autotransformateur couplé en étoile. De ce fait, le moteur est alimenté sous une tension réduite réglable.

Avant de passer en pleine tension, on ouvre le couplage étoile de l'autotransformateur, ce qui met en place des inductances sur chaque ligne limitant un peu la pointe et presque aussitôt, on court-circuite ces inductances pour coupler le moteur directement au réseau.

$$I_d = 1,7 \text{ à } 4 I_n$$

$$C_d = 0,5 \text{ à } 0,85 C_n$$

Fig.15 : Schéma unifilaire



Ce mode de démarrage est surtout utilisé pour les fortes puissances (> 100 kW) et conduit à une installation relativement élevé, surtout pour la conception de l'autotransformateur.

**10. Démarrage rotorique :**

Dans tous les démarreurs précédents, nous n'avons utilisé que des moteurs à cage d'écureuil. Pour ce démarreur, nous avons besoin d'avoir accès au conducteur rotorique. Le fait de rajouter des résistances au rotor provoque une limitation de la pointe de courant au démarrage. En plus, il a l'avantage, si les résistances sont bien choisit, de démarrer avec le couple maximal du moteur.

$< 2,5 C_n$   
 $< 2,5 I_n$

Fig.16 : Schéma unifilaire

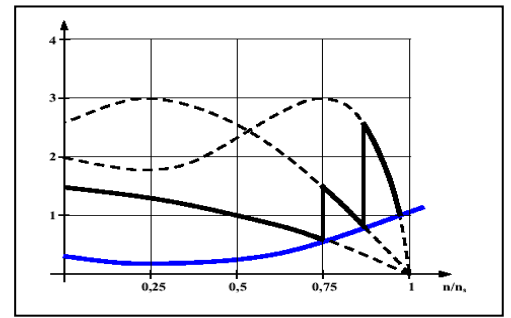
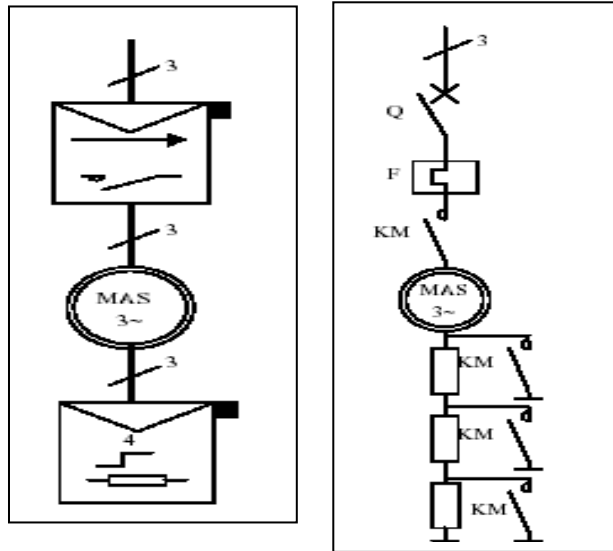


Fig.17 : Caractéristique couple- vitesse

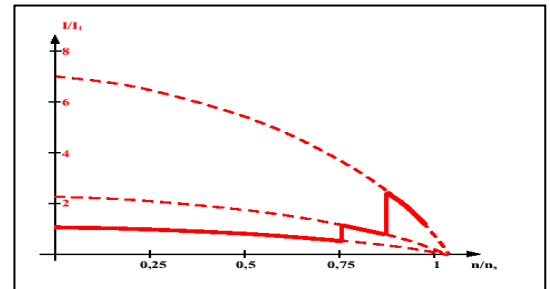


Fig.18 : Caractéristique courant vitesse

## البطاقة الإسمية: بطاقة التعريف الوطنية

### La plaque signalétique

Tous les moteurs électriques doivent être équipés d'une plaque signalétique. Cette plaque est la carte d'identité d'un moteur électrique.

* LEROY SOMER Mot. 3~ PLS 180 M-T						
SOMER N° 734570 GD 002 kg 102						
IP 23 IK08	I cl.F	40°C	S1	%	c/h	
V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A	
Δ 380	50	2928	30	0.88	57.6	
Δ 400		2936		0.84	57.2	
Y 690		2936		0.84	33	
Δ 415	60	2942	34	0.81	57.3	
Δ 440		3537		0.88	54.3	
Δ 460		3542		0.87	54.2	
DE 6212 2RSC3				g		
NDE 6210 2RSC3				h		

* LEROY SOMER MOT. 3~ PLS 315 L						
N° 703 932 00 GF 01 kg 790						
IP23 IK08	I cl.F	40°C	S1	%	c/h	
V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A	
Δ 380	50	2970	250	0.92	434	
Δ 400		2974		0.90	422	
Y 690		2974		0.90	244	
Δ 415	60	2976	288	0.88	415	
Δ 440		3568		0.92	418	
Δ 460		3572		0.91	417	
DE 6316 C3		035 g		ESSO UNIREX N3		
NDE 6316 C3		2900 h				

Exemples de plaques signalétiques motrices

Définition des symboles des plaques signalétiques :

**CE** Repère légal de la conformité du matériel aux exigences des Directives Européennes.

MOT 3 ~ : Moteur triphasé alternatif  
PLS : Série  
180 : Hauteur d'axe  
M : Symbole de carter  
T : Indice d'imprégnation

**N° moteur**

734570 : Numéro série moteur  
G : Année de production  
D : Mois de production  
002 : N° d'ordre dans la série

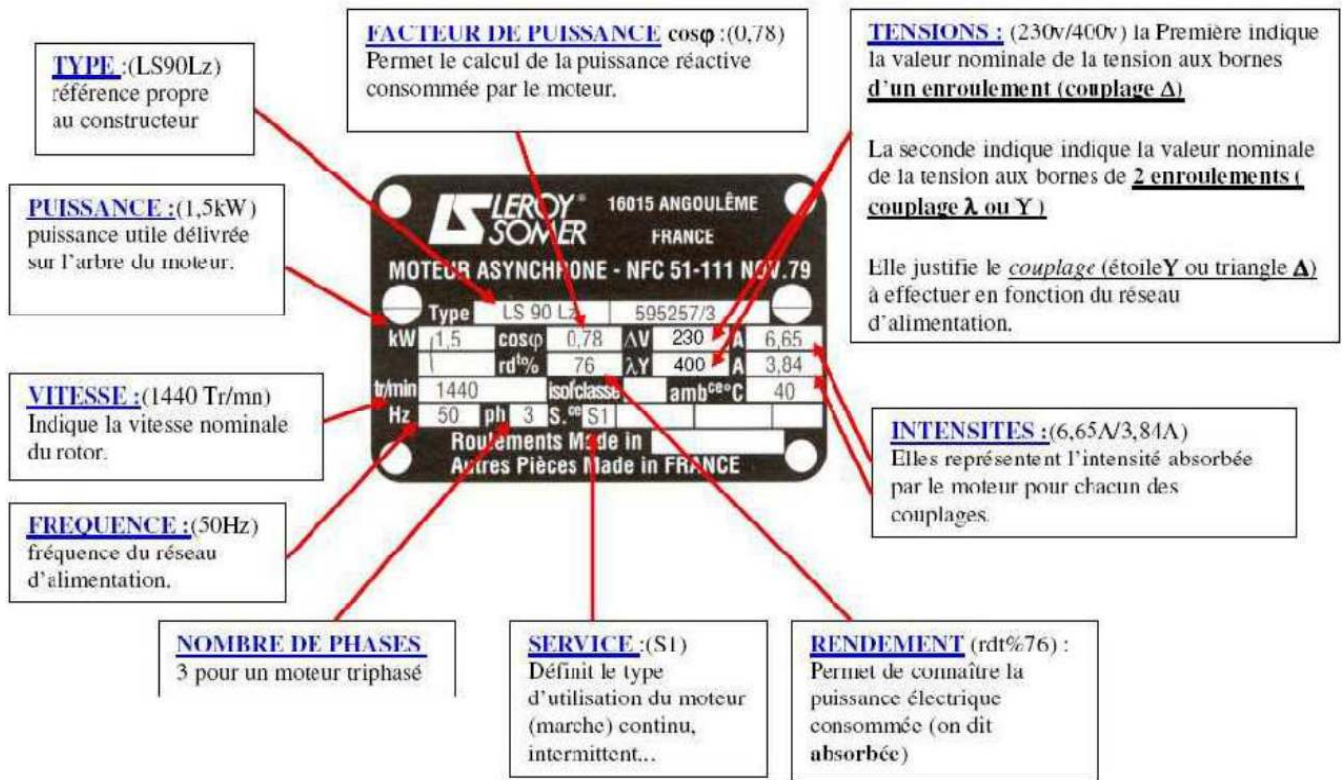
70393200 : Numéro série moteur  
G : Année de production  
F : Mois de production  
01 : N° d'ordre dans la série

kg : Masse  
IP23 : Indice de protection  
IK08 : Indice de résistance aux chocs  
I cl. F : Classe d'isolation F  
40°C : Température d'ambiance contractuelle de fonctionnement selon CEI 60034-1  
S : Service  
% : Facteur de marche  
c/h : Nombre de cycles par heure  
V : Tension d'alimentation  
Hz : Fréquence d'alimentation  
min<sup>-1</sup> : Nombre de tours par minute  
kW : Puissance assignée  
cos φ : Facteur de puissance  
A : Intensité assignée  
Δ : Branchement triangle  
Y : Branchement étoile

**Roulements**

DE : "Drive end" Roulement côté entraînement  
NDE : "Non drive end" Roulement côté opposé à l'entraînement  
g : Masse de graisse à chaque graissage (en g)  
h : Périodicité de graissage (en heures)  
UNIREX N3 : Type de graisse

Définition des symboles des plaques signalétiques



### Couplage du moteur asynchrone : étoile ou triangle

Le couplage d'un moteur asynchrone peut être triangle, étoile, ou impossible selon la tension réseau et la tension nominale du moteur.

Couplage du moteur asynchrone : étoile ou triangle

Moteur \ Réseau	127V/220V	220V/380V	380V/660V
127V/220V	Star	<b>DELTA</b>	لا يصلح
220V/380V	لا يصلح	Star	<b>DELTA</b>
380V/660V	لا يصلح	لا يصلح	Star

- Tension nominale du moteur et tension de réseau  
En couplage triangle, chaque enroulement du moteur asynchrone voit directement la tension appliquée.  
En couplage étoile, chaque enroulement voit une tension réduite (divisée par racine de 3).  
Note : le neutre n'est jamais utilisé.

- Couplage Etoile ou triangle : le bon choix  
Pour les couplages étoile ou triangle du moteur asynchrone, les différents cas sont possibles.
- Tensions égales : couplage étoile

Quand les tension réseau et nominale du moteur sont égales, on choisit le couplage étoile.

**exemple** : moteur 230V/400V sur réseau 230V/400V : couplage étoile

Ici, la tension est de 400V entre phases. Or chaque enroulement a besoin de 230V pour fonctionner. On choisit donc le couplage étoile. Si on utilisait le couplage triangle, chaque enroulement subirait 400V à ses bornes et serait détruit.

Réseau \ U bobine	220	400	690
110-130V	ETOILE	⊗ Non applicable	⊗ Non applicable
210-240V	TRIANGLE	ETOILE	⊗ Non applicable
370-420V	⊗ Non applicable	TRIANGLE	ETOILE



## II. LES PROCÉDES DE FREINAGES DES M.AS.

### 1. Introduction

Le moteur asynchrone est capable de fonctionner dans les quatre quadrants. Il développe un couple moteur dans l'un et l'autre sens dans les quadrants q1 et q3 et un couple de freinage dans les quadrants q2 et q4. L'inversion du sens de rotation s'obtient en intervertissant deux des trois phases d'alimentation du moteur, ce qui a pour effet d'inverser le sens du champ tournant.

Dans un grand nombre d'applications, l'arrêt du moteur est obtenu simplement par décélération naturelle. Le temps de décélération dépend uniquement de l'inertie de la machine entraînée. Mais il est souvent nécessaire de réduire ce temps.

Lorsque la sécurité l'exige, le freinage doit permettre d'obtenir un temps d'arrêt plus court que celui obtenu par un simple appui sur le bouton d'arrêt. Ainsi, prenons l'exemple d'une scie circulaire machine réputée dangereuse. Le freinage doit être immédiat lors de l'appui sur le bouton arrêt d'urgence.

On dispose de deux types de freinage :

- *Les procédés mécaniques*
- *Les procédés électriques.*

#### **\*\* Les procédés mécaniques:**

Il s'agit d'un frein à disque incorporé au moteur, on appelle l'ensemble moteur frein:

C'est une action effectuée sur le rotor. Il existe deux types de freinage dans ce cas de procédé.

- *Freinage à appel de courant,*
- *Freinage à manque de courant.*

#### **\*\* Les procédés électriques:**

C'est une action effectuée sur le stator. Il existe aussi deux types de freinage.

- *Freinage par contre courant,*
- *Freinage par injection du courant continu.*

### 2. Freinage mécanique

Ce sont des moteurs comportant un dispositif de freinage mécanique (mâchoire, disque,...): Moteur frein commandé par un électro-aimant. Il en existe deux types :

#### **Fonctionnement:**

- *une bobine commande le déplacement d'un disque bloqué en rotation.*
- *ce disque vient en contact avec un disque fixe sur le rotor du moteur.*
- *le frottement des deux disques provoque le ralentissement du moteur.*

#### **Deux possibilités:**

- *frein à manque de courant.*
- *frein à appel de courant.*

### 2.1. Frein à appel de courant

**Principe:**

Dans ce premier cas du frein dit à appel de courant, c'est l'alimentation du frein qui provoque le freinage du moteur. Il est nécessaire de brancher une alimentation électrique indépendante de celle du moteur.

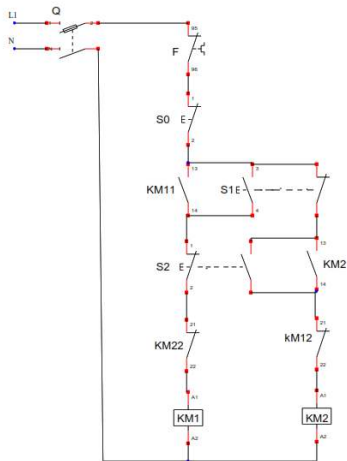
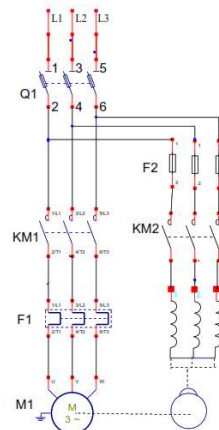


Schéma de Commande



L1,L2,L3: Alimentation triphasée  
 Q1: Sectionneur fusible  
 F1: Relais thermique  
 F2: Fusibles  
 KM1, KM2: Contacteurs  
 M1: Moteur asynchrone triphasée

Schéma de Puissance

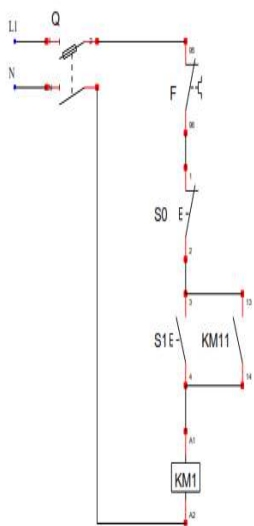
### 2.2. Frein à manque de courant

**\* Principe:**

Le frein est actionné mécaniquement (système de ressort au repos), il est souvent utilisé pour des raisons de sécurité: lorsque le moteur n'est pas alimenté (arrêt normal ou arrêt d'urgence) le freinage est réalisé.

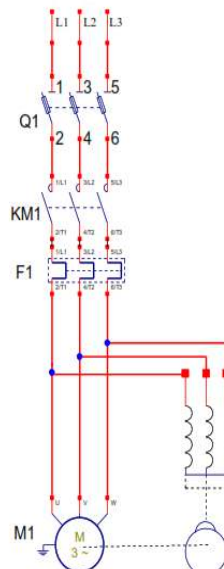
L'électro-aimant est alimenté en triphasé, branche en parallèle sur les enroulements statoriques. L'avantage de ce procédé réside dans le fait que le freinage est toujours assuré, même en cas de coupure d'énergie. C'est la raison pour laquelle ce procédé est fortement conseillé lorsque la sécurité est prépondérante.

Le frein à manque de courant fonctionne de pair avec le moteur: il est raccordé en parallèle avec le moteur au niveau même du boîtier de raccordement.



Q: Sectionneur  
 F: Relais thermique  
 S0: Bouton poussoir arrêt  
 S1: Bouton poussoir marche  
 KM1: Contacteur principale  
 KM11: contact de maintien

Schéma de Commande



L1,L2,L3: Alimentation triphasée  
 Q: Sectionneur fusible  
 F: Relais thermique  
 KM1: Contacteur principale  
 M1: Moteur asynchrone triphasée

Schéma de Puissance

**Remarques:**

- La rotation n'est possible que si les enroulements du stator et les enroulements du frein sont alimentés.
- On obtient avec ce dispositif un freinage brutale, avec un maintien en position blocage. Il existe des moteurs freins avec un électro-aimant alimenté en courant redressé par l'intermédiaire d'un pont de diodes.

### 3. Freinage électrique

#### 3.1. Freinage par contre courant

**\* Principe:**

Le freinage par contre courant consiste à inverser deux phases d'alimentation, moteur lance, pour qu'il change de sens de rotation. La fréquence de rotation va alors décroître rapidement et au moment où elle devient nulle, on coupe l'alimentation. Le changement de sens de rotation, moteur lance, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator. Même avec les résistances qui limitent le courant, la fermeture simultanée de km1 et km2 provoquerait un court-circuit, il faut donc impérativement verrouiller électriquement et mécaniquement. Il faut aussi couper l'alimentation du frein au moment précis où le moteur s'arrête sinon, il va repartir dans l'autre sens. Normalement un capteur tachymétrique va se charger de ce travail.

Généralement, un dispositif électrique de coupure déconnecte le moteur du réseau au moment du passage de la vitesse à  $n=0$ . Le couple de freinage moyen est en général, supérieur au couple de démarrage.

**Inconvénient :** Ce mode de freinage a un inconvénient majeur car il implique des courants absorbés importants (environ 7 fois  $I_n$ )

- \* On peut dire que c'est un procédé de freinage très efficace.
- \* Ce freinage doit être interrompu dès l'arrêt du rotor sinon risque de redémarrer dans le sens inverse.
- \* Il n'existe pas de blocage.

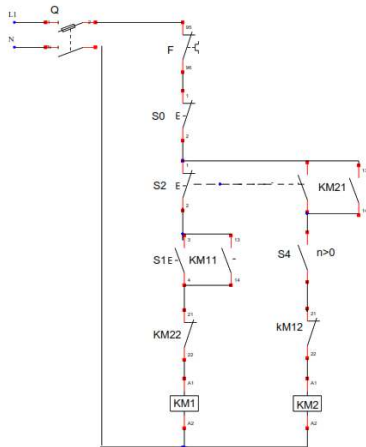


Schéma de Commande

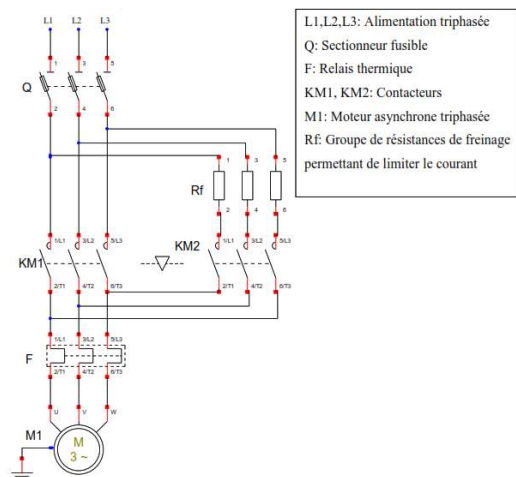


Schéma de Puissance

#### 3.2. Freinage par injection du courant continu

**\* Principe:**

Ce mode de freinage est utilisé sur les moteurs à bagues et à cage. Lorsqu'on applique une tension triphasée aux bornes du stator d'un moteur asynchrone triphase, on crée un champ tournant qui entraîne le rotor en rotation à une fréquence de rotation légèrement inférieure en raison du glissement.

Si tout en coupant l'alimentation triphasée, on applique à ce stator une tension continue, on crée alors un champ fixe, ce dernier a pour effet le blocage du rotor (moteur).

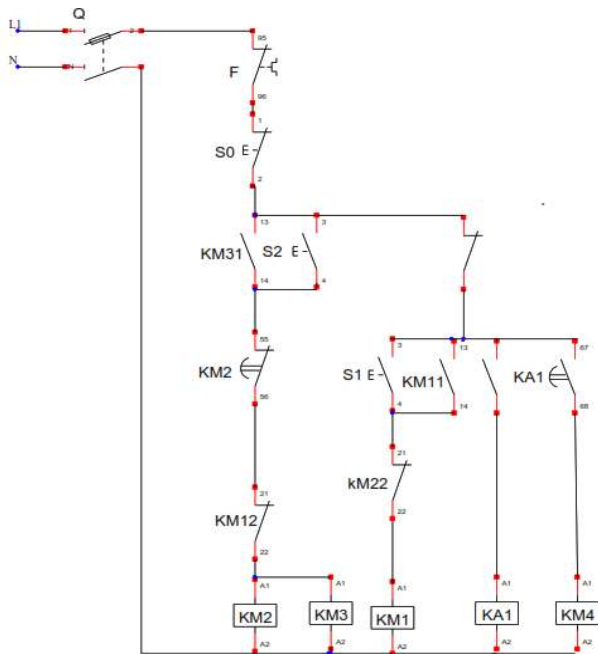


Schéma de Commande

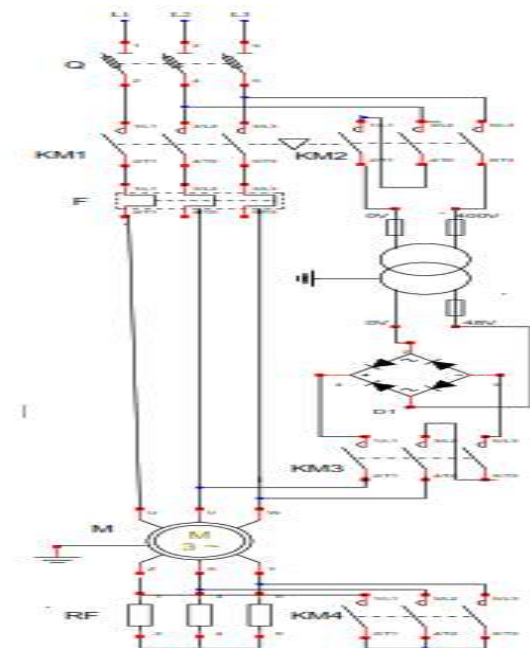


Schéma de Puissance

**Avantage:**

- Pas de risque de démarrage dans l'autre sens.

**Inconvénient:**

- Il faut couper le courant dans le stator pour éviter l'échauffement.

**Remarque:**

- Il n'y a toujours pas de blocage.
- Le courant de freinage est de l'ordre 1,3in. La valeur de la tension redressée dépasse rarement 20Volts pour ne pas provoquer d'échauffement excessif.
- Les résistances rotoriques sont remises en service.