Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

Technicien Spécialisé

Génie Electrique

2ème année ESA

Manuel de cours

Module 25

Inspection et entretien des moteurs électriques et des alternateurs



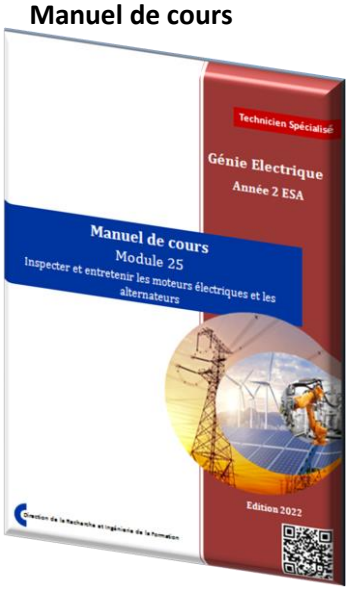
Edition 2022

Direction de la Recherche et Ingénierie de la Formation

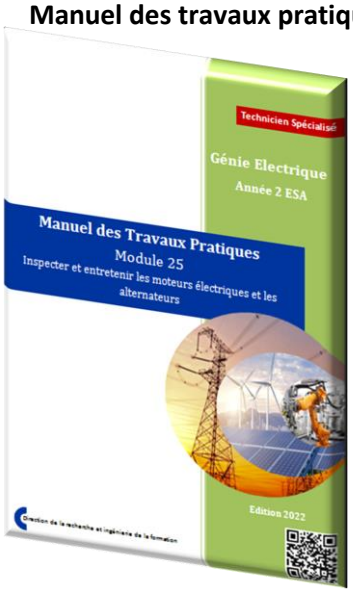
Avant-propos

Les manuels de cours, de travaux pratiques et le guide e-learning sont téléchargeables à partir de la plateforme e-learning moyennant les codes QR suivants :

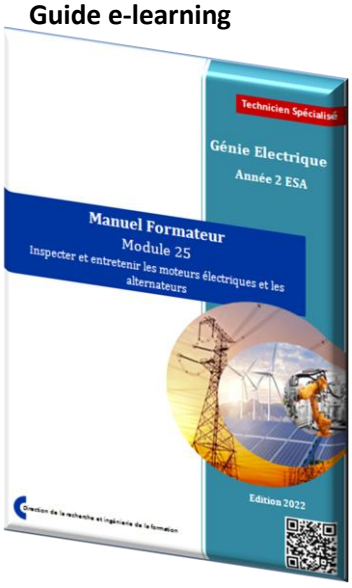
Manuel de cours



Manuel des travaux pratiques



Guide e-learning



SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 2
SOMMAIRE 3
COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS 6
CHAPITRE I 9
LES MACHINES ELECTRIQUES 9
1. INTRODUCTION 10
2. TECHNOLOGIES ET SPÉCIFICATIONS DES MACHINES ÉLECTRIQUES 11
2.1 Matériaux magnétiques 11
2.2 Matériaux conducteurs 11
2.3 Matériaux isolants - Classe d'isolation 12
2.4 Les carcasses des moteurs électriques 12
2.5 Échauffement des machines électriques 13
2.6 Systèmes de refroidissement des machines électriques 14
2.7 Services de marche 15
2.8 Indice de protection IPxx et IKxx 16
2.9 Plaque signalétique 17
3. MACHINES À COURANT ALTERNATIF (C.A.) 17
3.1 Principe de fonctionnement de machines à courant alternatif 18
3.2 Machines asynchrones 19
3.3 Machines synchrones 27
4. MACHINES À COURANT CONTINU (C.C.) 31
4.1 Constitution 31
4.2 Principe de fonctionnement 32
4.3 Excitation des moteurs à courant continu 34
4.4 Génératrices à courant continu 34
5. MOTEURS UNIVERSELS 35
6. MOTEURS PAS À PAS 38
6.1 Moteur à aimant permanent: 38
6.2 Moteur pas à pas à réluctance variable : 40
6.3 Moteur hybride 41
CHAPITRE II 43
LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE-COMMANDE DES MACHINES ÉLECTRIQUES 43
1. INTRODUCTION. 44

2. LES APPAREILS DE COMMANDE ET DE PROTECTION 44
2.1 Disjoncteur moteur 44
2.2 Le sectionneur porte fusible 44
2.3 Interrupteur sectionneur 45
2.4 Fusibles 46
2.5 Relais thermique 46
2.6 Le contacteur 47
2.7 Capteur de fin de course 48
2.8 Bloc auxiliaire temporisé 48
2.9 Bloc de contacts auxiliaires 49
3. PROTECTION DES MOTEURS 50
3.1 Dispositif de sectionnement 50
3.2 Protection contre les surintensités 50
3.3 Protection contre les surcharges 50
3.4 Autres types de protection 51
4. DÉMARRAGES DES MOTEURS 52
4.1 Démarreurs pour moteurs triphasés 52
4.2 Démarreurs pour moteurs monophasés 60
4.3 Démarreurs pour moteurs c.c. 61
5. FREINAGE DES MOTEURS 64
5.1 Freinage électrique 65
5.2 Freinage mécanique 67
6. RÉGULATION DE LA VITESSE DES MOTEURS 71
6.1 Introduction 71
6.2 Les moto-variateurs mécaniques 71
6.3 Groupe tournant associé à de l'électronique de puissance 72
CHAPITRE III 76
INSTALLATION, INSPECTION ET MAINTENANCE DES MACHINES ÉLECTRIQUES 76
1. INTRODUCTION. 77
1.1 La maintenance préventive 77
1.2 La maintenance correctrive 78
2. INSTALLATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES 78
2.1 Avant l'installation 78
2.2 Travaux préalables 80
2.3 Procédure d'installation du moteur 85
3. INSPECTION ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE DES MACHINES ÉLECTRIQUES 89
3.1 Inspection visuelle 89

3.2 Vérifications électriques 91
3.3 Inspection des balais et du collecteur 93
3.4 Vérification du système refroidissement..... 95
3.5 Autres recommendations..... 95
3.6 Lubrification des moteurs électriques 96
4. MAINTENANCE CORRECTIVE DES MACHINES ÉLECTRIQUES 100
4.1 Procédures de démontage et de rémontage des moteurs 100
4.2 Montage des roulements 103
4.3 Entretien Balais- Collecteur 106
4.4 Differentes défaillances d'un moteur asynchrone 110
BIBLIOGRAPHIE.....117
CHAPITRE IV 119

COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS

Module 17 : Inspection et entretien des moteurs électriques et des alternateurs

Code : GEESA-17 **Durée : 60 heures**

ENONCE DE LA COMPETENCE

Inspecter et entretenir les moteurs électriques et les alternateurs

CONTEXTE DE REALISATION

- Individuellement

- À partir de:
  - Directives ;
  - Cahier des charges d'une installation équipée de moteurs électriques et/ou alternateurs
  - Schémas de puissance et de de commande ;
  - Dossier constructeur (manuel opératoire, manuel maintenance …)
  - Simulation de problème de dysfonctionnement.
  - Normes et standards marocain et internationaux
  - Procédures de sécurité

- À l'aide :
  - Moteurs à courant continu
  - Moteurs à courant alternatif
  - Appareillage électrique pour circuits de puissance et commande
  - Banc d'essais pour moteurs électriques
  - Banc d'essais pour alternateurs
  - Appareils de mesure (ampérage, vibration, température, isolement …)

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Pertinence de la terminologie utilisée.
- Utilisation appropriée de l'outillage et de l'équipement
- Montage soigné et propre.
- Utilisation correcte des instruments de mesures.
- Précision des mesures
- Respect des tolérances
- Respect des règles de santé et de sécurité au travail.

ÉLEMENTS DE LA COMPETENCE	CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
A. Interpréter le cahier des charges des travaux d'installation des alternateurs	• Interprétation judicieuse des éléments du cahier des charges et des directives • Interprétation juste de l'information technique sur le type d'alternateur, et des modes de fonctionnement • Analyse juste des plans de détail • Interprétation correcte du schéma de câblage
B. Choisir les appareillages de protection et de commande nécessaires à l'installation d'un alternateur.	• Sélection minutieuse des dispositifs de protection du circuit de puissance • Choix approprié des dispositifs de commande, des coffrets, des câbles et des canalisations. • Choix approprié de l'outillage.
C. Installer un alternateur	• Détermination judicieuse des modes de fixation • Choix judicieux de l'emplacement du moteur électrique, de la boite de commande, du tableau et des canalisations. • Respect de la technique de fixation. • Installation correcte des câbles et des canalisations. • Repérage conforme des conducteurs. • Conformité des essais de fonctionnement de l'alternateur • Respect des conditions de synchronisation et de fonctionnement en parallèle des alternateurs à courant alternative • Répartition minutieuse des puissances entre deux alternateurs
D. Réaliser des travaux de maintenance des moteurs électriques et des alternateurs	• Planification judicieuse des travaux de maintenance préventive et corrective • Vérification minutieuse des réglages et des paramètres de fonctionnement • Diagnostic correct des défaillances • Recherches minutieuses des causes de dysfonctionnement sur banc et schémas • Utilisation correcte des appareils de contrôle • Précision des mesures • Sélection juste des outils de travail • Application correcte des techniques de démontage et remontage • Application correcte des techniques de démontage et remontage des roulements et des éléments de transmission • Changement correct des pièces endommagées

ÉLEMENTS DE LA COMPETENCE	CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
E. Vérifier la qualité des travaux d'installation des moteurs électriques et des alternateurs	• Dimensions et géométries conformes avec le cahier de charges • Respect des tolérances • Exécution correcte des essais en charge • Contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement. • Utilisation appropriée des instruments de mesure. • Respect des règles de santé et de sécurité • Rangement et nettoyage approprié de l'aire de travail. • Rédaction correcte du rapport d'installation ou de la fiche d'intervention.

Chapitre I

Les Machines Electriques

1. Introduction

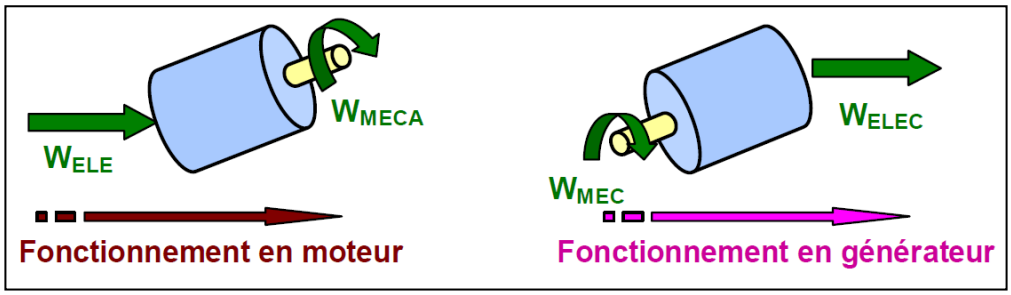
On peut difficilement trouver de nos jours, une activité soit industrielle ou domestique sans machine électriques. Une multitude de machines électriques de types différentes sont à notre disposition. Chaque type de machine possède ses caractéristiques propres qui permettent de l'adapter à une application ou à une autre.

Dans ce chapitre on présente une vue d'ensemble des principaux types de machines électriques actuellement utilisés, y compris celles de nouvelle technologie.

Une machine électrique tournante est un dispositif électromécanique fonctionnant en moteur et en génératrice elle est dite réversible.

Énergie électrique –→ Énergie mécanique (Mode Moteur)

Énergie mécanique –→ Énergie électrique (Mode Génératrice)



Une machine électrique tournante peut fonctionner avec :

Du courant continu : Machine à courant continu

- Moteur à courant continu
- Dynamo (génératrice à courant continu)

Du courant alternatif, monophasé ou triphasé

- Machine synchrone

a. Moteur synchrone

b. Alternateur synchrone

- Machine asynchrone

a. Moteur asynchrone

b. Génératrice hypersynchrone

2. Technologies et spécifications des machines électriques

Les machines électriques comportent :

1. des matériaux magnétiques chargés de conduire et canaliser le flux magnétique;
2. des matériaux conducteurs chargés de conduire et canaliser les courants électriques ;
3. des isolants ;
4. un « contenant » : carcasse d'un moteur;
5. un système de refroidissement.

2.1 Matériaux magnétiques

Les machines soumises à des champs magnétiques variables sont le siège de pertes par courants de Foucault et de pertes par hystérésis, la somme de ces pertes est appelée pertes fer.



Afin de réduire les pertes par courants de Foucault, on feuillète le circuit magnétique. Celui-ci est réalisé par assemblage de tôle de 2 à 3 dixièmes de millimètre d'épaisseur. Ces tôles sont recouvertes d'isolant électrique.

2.2 Matériaux conducteurs

Le métal utilisé pour réaliser les bobinages des machines électriques est généralement le cuivre car, à part l'argent, c'est les matériaux dont la résistivité est la plus faible. Cependant, pour les machines où l'on souhaite disposer de câble assez léger, on utilise l'aluminium. Suivant les applications, on ajoute au cuivre quelques % de chrome, de béryllium, de cadmium ou encore de nickel.

2.3 Matériaux isolants - Classe d'isolation

Les conducteurs sont isolés avec du papier, du coton, du bois, du PVC, du caoutchouc, des thermoplastiques . . .

Une fois la machine construite, on l'étuve afin de supprimer l'humidité puis on l'imprègne avec des vernis ou des résines, suit éventuellement une phase de cuisson.

Les différents isolants répondent à un cahier des charges incluant la valeur de la tension électrique à supporter, la température de fonctionnement, les contraintes fonctionnelles et d'agencement de l'isolant dans la machine. C'est la qualité de ses isolants qui fait la qualité d'une machine.

La classe d'isolation définie par la norme indique la température maximale de fonctionnement des bobinages. Un dépassement de 10°C de la température maximum divise la durée de vie de la machine par 2.

Classe d'isolation	A	E	B	F	H
Température limite	110°C	115 °C	130 °C	155 °C	180 °C°

Les machines sont refroidies par rayonnement, conduction ou convection selon la puissance. Dans un ordre croissant des puissances des machines on trouve :

1. la convection naturelle : on munit le carter de nombreuses ailettes afin d'augmenter la surface d'échange carter/atmosphère.
2. la convection forcée : en plaçant un ventilateur sur l'axe du moteur.
3. un double circuit de refroidissement :
   - circuit primaire avec air, huile ou hydrogène ;
   - circuit secondaire à air généralement.

Pour les applications à faible vitesse, le refroidissement doit être soigneusement étudié et on peut mettre en œuvre un moto-ventilateur séparé.

2.4 Les carcasses des moteurs électriques

La carcasse sert de support, transmet les efforts à l'assise de la machine, joue le rôle d'enveloppe, assure la protection contre les agents extérieurs et guide l'air de ventilation ; elle agit aussi parfois comme échangeur thermique ; c'est le cas des carcasses coulées des moteurs à ailettes ou des moteurs fermés à tubes.

Dans certains cas, comme dans les machines à courant continu et dans l'alternateur inversé, la carcasse peut aussi servir de circuit magnétique.

Les carcasses peuvent être réalisées en métal coulé (fonte, acier ou aluminium) ; c'est le cas des petites machines, par exemple le moteur asynchrone à ailettes de refroidissement.

Pour des puissances plus importantes, supérieures à quelques centaines de kilowatts, la construction mécanosoudée s'impose ; elle est réalisée en tôles d'acier découpées, cintrées et soudées.



Petites machines



Machines puissantes

Les carcasses sont étudiées pour recevoir le circuit magnétique bobiné et, éventuellement, un échangeur thermique, incorporé ou non, et des paliers flasques.

2.5 Échauffement des machines électriques

La température interne d'une machine est liée à ses pertes qui sont-elles mêmes liées à la puissance électrique qu'elle convertit.

La protection thermique des machines peut être assurée par divers dispositifs, plus ou moins élaborés et coûteux :

- mesure du courant dans la machine et calcul de l'échauffement (relais thermique, disjoncteur) ;
- sonde interne tout ou rien ;
- sont de mesure PT100 ou thermocouple, intégrée au moteur raccordée à un relais de mesure ;
- calcul de l'état thermique de la machine par le calculateur du variateur de vitesse qui alimente la machine.

2.6 Systèmes de refroidissement des machines électriques

La ventilation d'un moteur électrique est capitale. Sans moyen pour refroidir le moteur, ce dernier risque de surchauffer et d'être gravement détérioré (ou même devenir totalement inutilisable). C'est pourquoi il vous faut choisir une ventilation efficace et adaptée à l'utilisation de votre moteur.

Les moteurs électriques peuvent être soit auto-ventilés ou moto-ventilés.

- Les moteurs électriques auto-ventilés disposent d'un ventilateur associé au moteur, c'est-à-dire que c'est le moteur qui fait tourner son ventilateur.
- A l'inverse, les moteurs électriques moto-ventilés possèdent un système de refroidissement indépendant : le ventilateur est actionné par un autre moteur.

Dans beaucoup de cas, l'auto-ventilation est suffisante pour assurer le refroidissement du moteur. Cependant, il est recommandé d'utiliser une ventilation forcée si :

- Le moteur est utilisé en basse vitesse sur une longue durée
- Le moteur est poussé à grande vitesse

En bref, si vous utilisez un appareillage de type variateur de fréquence sur votre moteur triphasé ou monophasé, n'oubliez pas d'y ajouter une ventilation forcée.

La meilleure façon de prolonger la durée de vie d'un ventilateur est de mettre en place un capot.



Ventilateur collier



Ventilation forcée



Capots de protection

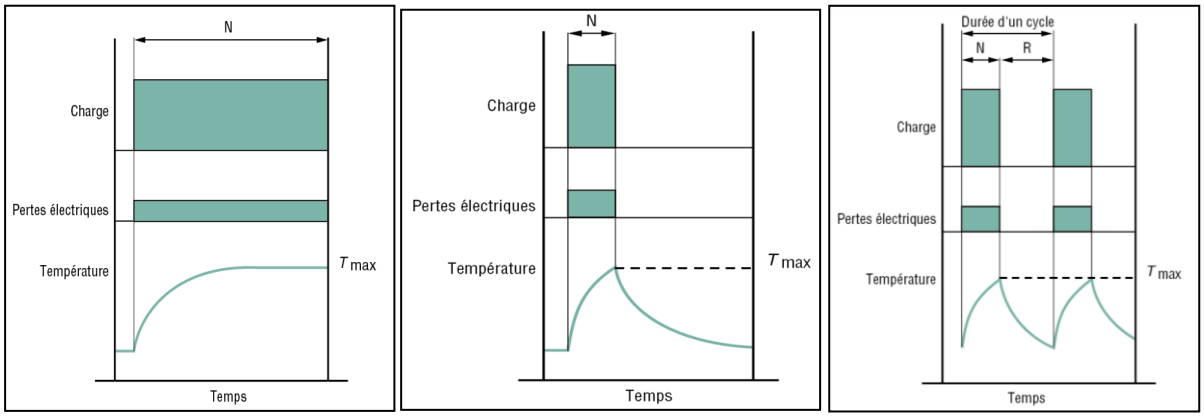
2.7 Services de marche

Le service des moteurs est indiqué sur la plaque signalétique. Il indique le cycle de fonctionnement d'un moteur, correspondant à sa puissance nominale.

Lors de sa conception, le moteur électrique est prévu pour fonctionner dans un type de service. Un moteur devant être démarré le matin à 8 heures et arrêté le soir à 20 heures n'aura pas le même échauffement qu'un moteur d'ascenseur qui n'arrête pas de démarrer et de s'arrêter et donc pas le même type de service.

Il existe neuf types de services différents, de S1 à S9, les plus courants sont les services S1, S2 et S3.

- S1 : Service continu (le plus commun)
- S2: Service temporaire
- S3: Service périodique intermittent sans démarrage



***Avec N** = Fonctionnement à charge constante; **R** = Repos; **Tmax** = Température maximale atteinte*

2.8 Indice de protection IPxx et IKxx

L'indice IP est donné pour tous les équipements électriques et est indiqué par deux chiffres :

- le premier correspond à la protection contre la pénétration des corps solides;
- le deuxième correspond à la protection contre la pénétration des liquides.

L'indice IK détermine le degré de protection du matériel contre les chocs d'origine mécanique.

Indice de protection contre la pénétration des corps solides		Indice de protection contre la pénétration des liquides	
0	Pas de protection	0	Pas de protection
1	Protection contre les corps solides >50 mm	1	Protection contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2	Protection contre les corps solides >12 mm	2	Protection contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3	Protection contre les corps solides >2,5 mm	3	Protection contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 60° de la verticale
4	Protection contre les corps solides >1 mm	4	Protection contre les projections d'eau de toutes directions
5	Protection contre les poussières	5	Protection contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6	Etanchéité à la poussière	6	Totalement protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
		7	Protection contre les effets de l'immersion
		8	Protection contre les effets de l'immersion prolongée

Exemple :

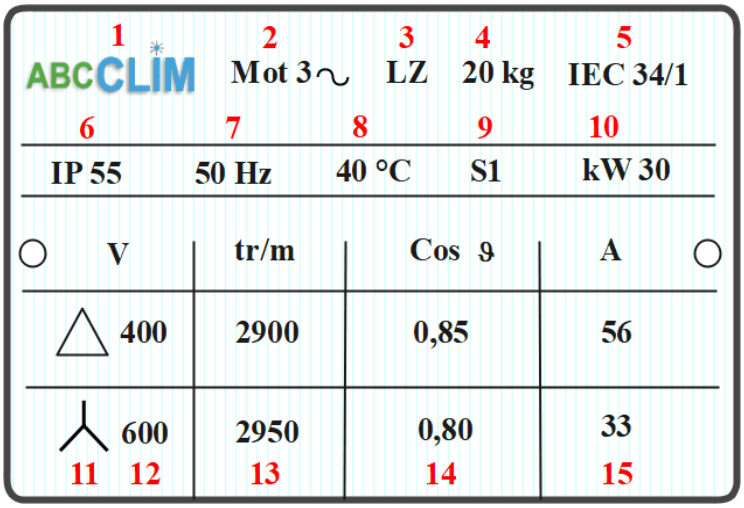
IP 6 5

Par exemple : IK08 indique que Le matériel est protégé contre un choc équivalent à la chute d'une masse de 1,25kg depuis une hauteur de 40cm (correspondant à une énergie de 5 Joules).

2.9 Plaque signalétique

La plaque signalétique c'est la carte d'identité d'un moteur, tous les renseignements utiles y sont répertoriés. Il est intéressant de connaître la signification des différents symboles, chiffres, abréviation.

Le nombre d'indications dépend d'un constructeur à l'autre et d'un modèle à l'autre. Ci-dessous un exemple illustratif.



1: Constructeur
2: Indique que c'est un moteur triphasé courant alternatif
3: Référence constructeur
4: Poids du moteur
5: Norme qui permet aux constructeurs d'harmoniser la construction des moteurs, support, diamètre, hauteur axe.
6: Indice de protection
7: Fréquence du courant
8: Température maximum d'utilisation
9: Services de marche,
10: Puissance délivrée en bout d'arbre (utile).
11: Type de couplage (étoile ou triangle)
12: Tension nominale du moteur
13: Vitesse réelle du moteur (vitesse du rotor) en tour/minute.
14: Cosinus phi, (cos ϕ = P/S).
15: Intensité nominale du moteur en Ampère.

3. Machines à courant alternatif (c.a.)

Les machines à courant alternatif sont les machines employées le plus fréquemment dans l'industrie. Elles possèdent en effet plusieurs avantages par rapport aux machines à courant continu : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile. Les forces d'attraction ou de répulsion au sein des machines électriques sont dues à l'interaction de deux champs magnétiques, l'un créé par l'enroulement du stator et l'autre par l'enroulement du rotor.

3.1 Principe de fonctionnement de machines à courant alternatif

Les machines électriques à courant alternatif (alternateurs, moteurs synchrones et asynchrones) reposent en grande majorité sur le principe du champ tournant, il est donc impératif de bien comprendre cette notion et ses caractéristiques avant d'aborder les différents types.

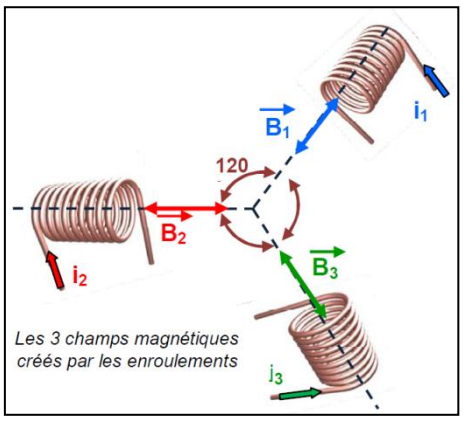
Le principe de réalisation est assez simple :

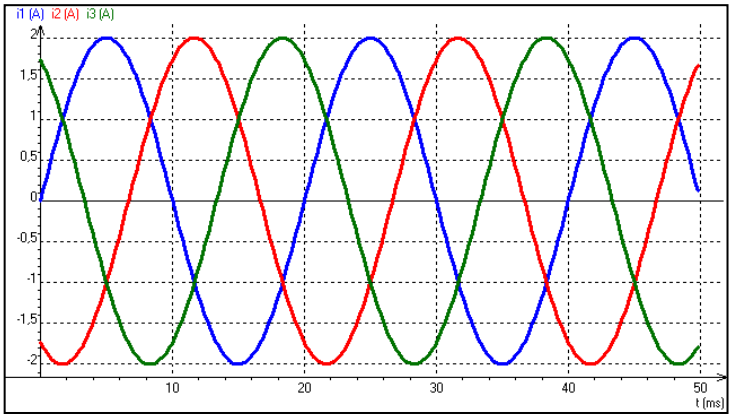
Trois enroulements sont placés à 120° l'un de l'autre autour de l'axe de rotation de la machine. Ils sont traversés par un système triphasé équilibré de courants.

$i1(t) = \hat{I}.\sin(wt)$

$i2(t) = \hat{I}.\sin(wt - 2\pi/3)$

$i3(t) = \hat{I}.\sin(wt + 2\pi/3)$





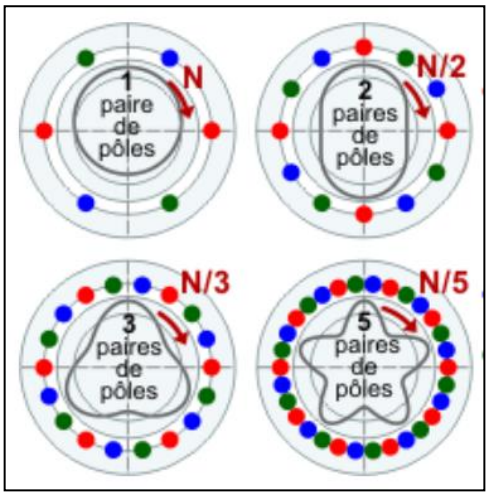
Chaque enroulement est alors le siège d'un champ magnétique oscillant sinusoïdalement à la pulsation w, selon une direction alignée sur son axe.

En conséquence, le système triphasé de courants engendre 3 champs magnétiques à 120° l'un de l'autre dans l'espace, oscillant à la même pulsation w, mais déphasés de 120° entre eux dans le temps.

Il en résulte un champ magnétique résultant ($B_{RÉS}$) de module constant, tournant autour de l'axe de la machine à la pulsation w

Le dispositif décrit plus haut réalise un champ magnétique bipolaire,(1 paire de pôles nord et sud), tournant à la fréquence du courant qui circule dans chacune des 3 bobines.

On réalise également des champs magnétiques tournants multipolaires, (p paires de pôles nord et sud), en disposant 3p bobines alimentées en courants triphasés. On obtient ainsi des champs tournants à une vitesse N (tr/s) inférieure à la fréquence F des courants dans les bobines :



$$N = \frac{F}{P}\left(^{tr}/_{s}\right) = \frac{60xF}{p}\left(^{tr}/_{min}\right)$$

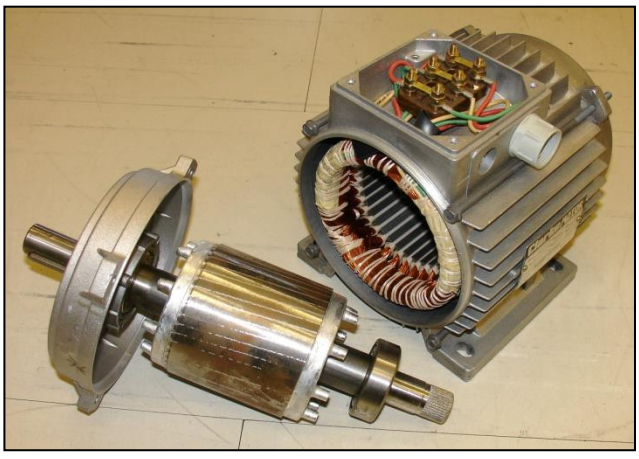
Ce champ tourne soit dans le sens horaire, soit dans le sens antihoraire, en fonction de l'ordre des phases raccordées au moteur.

L'inversion du sens de rotation d'un moteur triphasé s'obtient tout simplement en changeant l'ordre de raccordement de deux des trois conducteurs d'alimentation.

3.2 Machines asynchrones

Comme les autres machines électriques (machine à courant continu, machine synchrone),

Cette machine est réversible et susceptible de se comporter, selon la source d'énergie, soit en « moteur » soit en « générateur », dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse



3.2.1 Moteurs asynchrone triphasés

Le rotor d'un moteur asynchrone ne tourne pas à la vitesse synchrone, c'est-à-dire à la vitesse du champ magnétique du stator,

mais il existe un léger décalage temporel entre les deux vitesses. Ce décalage, nommé ‘‘glissement’’, s’exprime en pourcentage de la vitesse synchrone.

$$g = (\Omega s - \Omega) / \Omega s = (ns - n)/ns$$

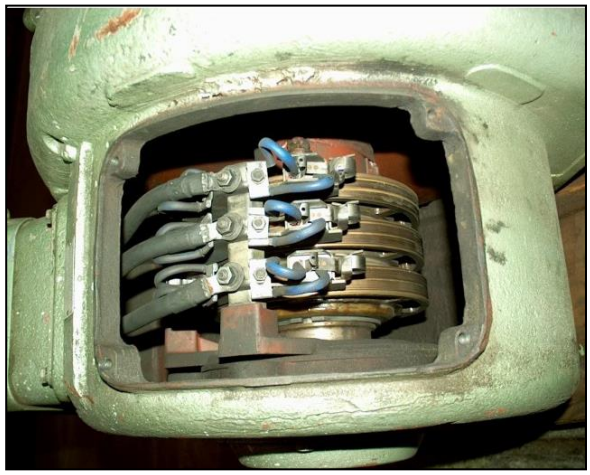
Le glissement du moteur est le résultat de l’interaction entre le champ magnétique du stator et le champ magnétique créé par les courants induits circulant dans le rotor. C'est à cause du glissement que le moteur est appelé "asynchrone".

On peut distinguer quatre types de rotor :

a. Rotor bobiné



Le rotor comporte un enroulement bobiné à l’intérieur d’un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l’arbre de la machine. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l’axe de la machine de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques.

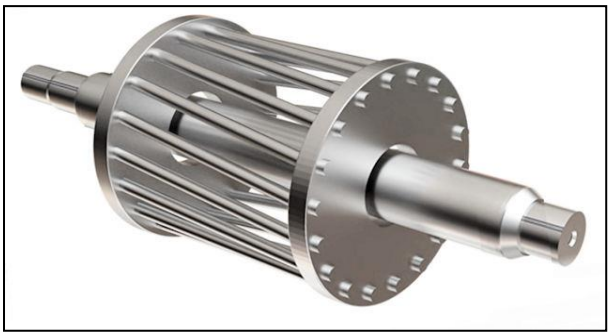


Les extrémités des enroulements rotoriques sont reliées à des bagues montées sur l’arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique (résistances, électronique de puissance…) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux.

b. Rotor à cage (en court-circuit) : c'est le plus fréquent.

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques (anneaux de court-circuit), le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil.

Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur.



Cage d'écureuil en aluminium moulé



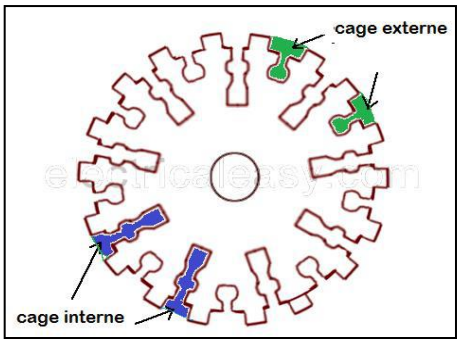
Rotor avec canal de ventilation

Ce type de moteur, beaucoup plus avantageux que le moteur à rotor bobiné (aisé à construire, à prix inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande). Il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service. En revanche, son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

c. Rotor à double cage

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

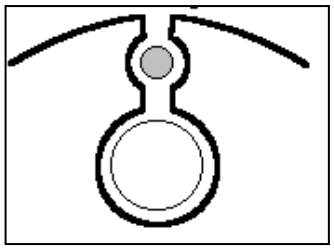




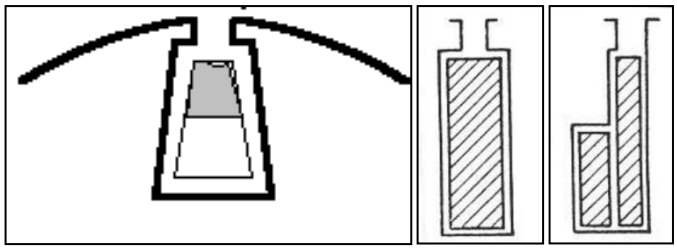
On peut ainsi, obtenir des couples de démarrage de deux à trois fois supérieurs à ceux du rotor à simple cage sans trop augmenter le glissement nominal.

d. Rotor à encoches profondes

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



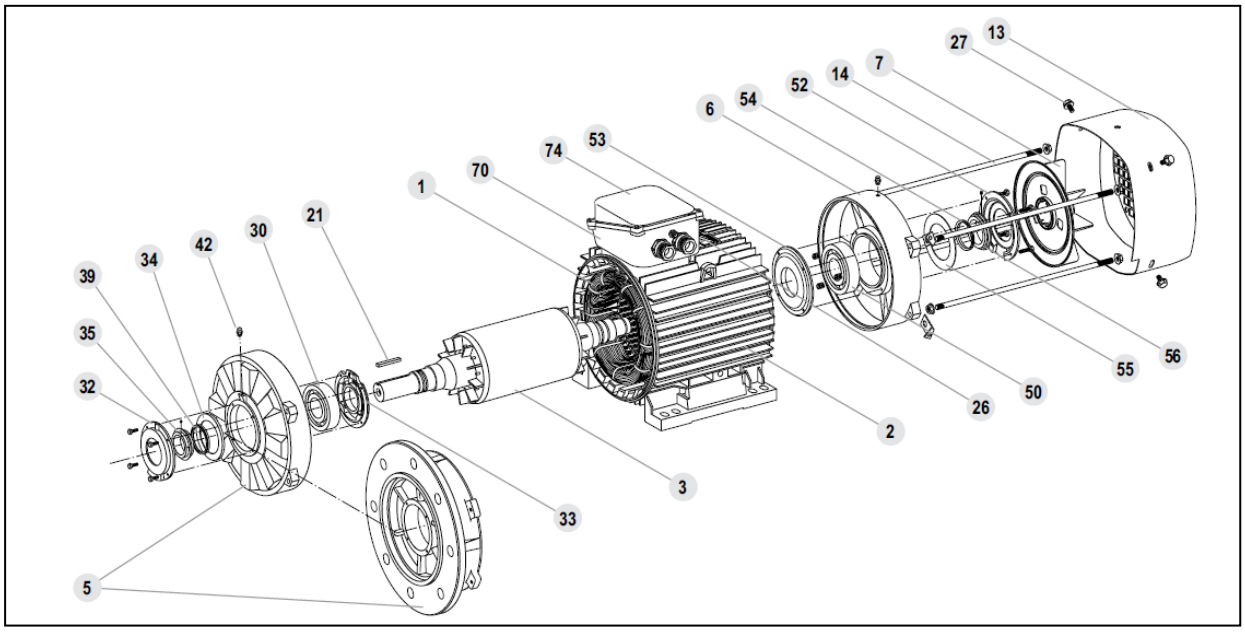
Double cage,



encoches profondes (différentes formes)

Ce type de moteur, est très utilisé, notamment dans le cas des moteurs à haute tension à fort couple de démarrage.

<u>Exemple d'une vue éclatée et nomenclature d'un moteur asynchrone triphasé.</u>



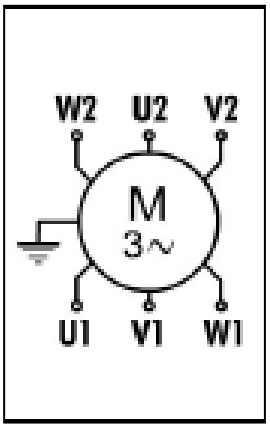
Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	27	Vis de fixation du capot	52	Chapeau extérieur arrière
2	Carter	30	Roulement côté accouplement	53	Chapeau intérieur arrière
3	Rotor	32	Chapeau extérieur côté accouplement	54	Joint arrière
5	Flasque côté accouplement	33	Chapeau intérieur côté accouplement	55	Soupape à graisse fixe arrière
6	Flasque arrière	34	Soupape à graisse fixe côté accouplement	56	Soupape à graisse mobile arrière
7	Ventilateur	35	Soupape à graisse mobile côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	39	Joint côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes
14	Tiges de montage	42	Graisseurs		
21	Clavette	50	Roulement arrière		

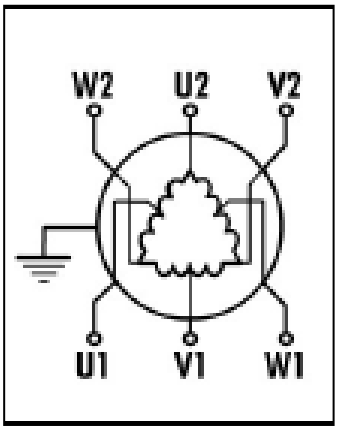
e. Moteur asynchrone à deux vitesses (moteur dahlander)

Le moteur Dahlander dispose de deux vitesses de rotation par couplage d'enroulement (ou couplage de pôles).

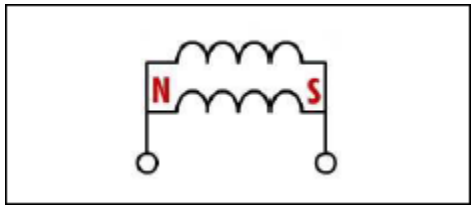
Il possède deux bobinages par phases que l'on peut coupler en parallèle (une paire de pôles) ou en série (deux paires de pôles).



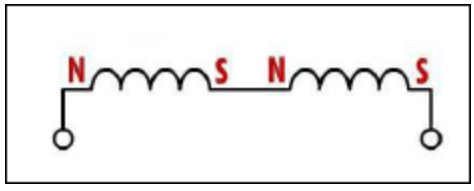




En associant les deux bobinages en parallèle, leurs actions vont se superposer et ils se comporteront comme un seul enroulement (une paire de pôles). Le moteur tournera à sa vitesse maximale.



En associant deux bobinages en série, on double le nombre de paires de pôles (deux paires de pôles). La vitesse du moteur est divisée par 2.



3.2.2 Moteurs asynchrones monophasés

Les moteurs monophasés se rencontrent principalement dans des applications et installations domestiques et tertiaires qui ne disposent pas d'un réseau de distribution triphasé (appareils électroménagers, tondeuses, ventilateurs …)

En comparaison avec les moteurs triphasés, à puissance égale, les moteurs monophasés sont plus volumineux et plus onéreux. Ils développent une puissance plus faible (5 kW maximum) et ont un facteur de puissance plus défavorable.

Comme tout moteur, le moteur monophasé est constitué d'un stator et d'un rotor animé en rotation par un champ magnétique tournant. Cependant, la rotation du champ magnétique doit être ici provoquée par un dispositif annexe (d. pages suivantes).

Le champ magnétique créé par l'alimentation monophasée dans un seul enroulement statorique a une amplitude qui varie mais il ne tourne pas et la rotation du rotor placé dedans ne pourra pas démarret.

Deux méthodes principales sont utilisées:

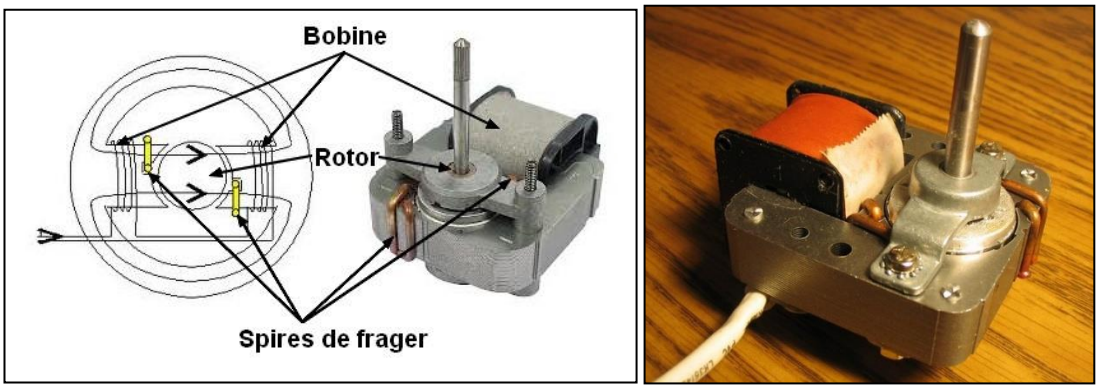
- utilisation d'une spire de Froger,
- ajout d'une seconde bobine et d'un condensateur de déphasage.

a. Moteur à spire de Frager

Ce type de moteur est également appelé moteur à pôles fendus. Chaque pôle comporte une encoche qui délimite deux moitiés, l'une d'elles étant entourée d'une spire de cuivre fermée sur elle-même (spire de Froger).

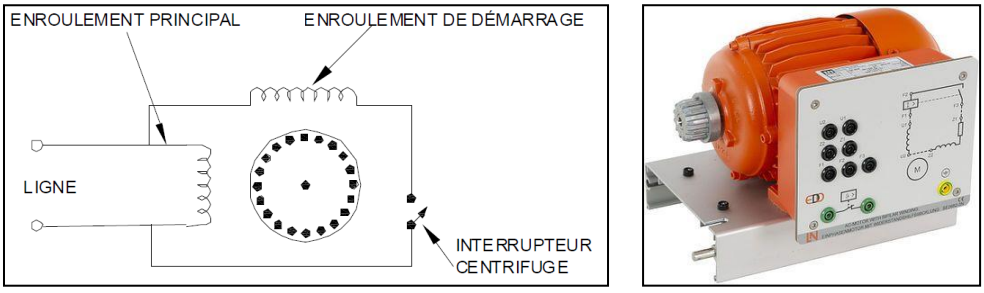
Le courant induit dans cette spire ajoute son action magnétisante à celle du courant parcourant le circuit principal. Le déphasage qui en résulte suffit à privilégier un sens de rotation : le rotor passe devant le demi-pôle non pourvu de spire avant de passer devant l'autre.

Cette technique est utilisée dans les moteurs de faible puissance (moins de 200 W).



b. Moteurs à enroulement auxiliaire de démarrage

Les moteurs à enroulement auxiliaire de démarrage utilisent un enroulement de démarrage dont le rapport résistance/réactance diffère de celui de l'enroulement principal afin de produire le déphasage nécessaire au démarrage du moteur.



Le déphasage n'atteint pas les 90° souhaités, et les champs magnétiques ne sont pas égaux. Il en résulte un couple de démarrage plus faible que dans le cas des autres moteurs.

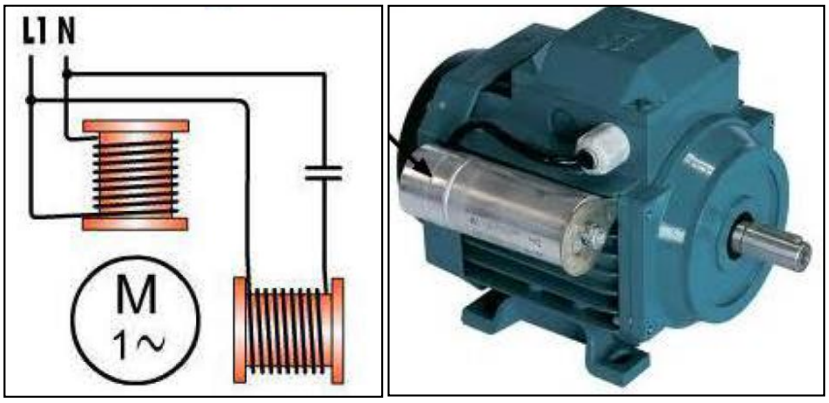
c. Moteurs à enroulement et condensateur de démarrage

Dans les moteurs industriels, on installe dans le stator un second enroulement perpendiculaire à l'enroulement principal, alimenté en série avec un condensateur.

Condensateur permanent

Le condensateur permanent assure le déphasage. La bobine auxiliaire participe en pennanence à la rotation du champ magnétique.

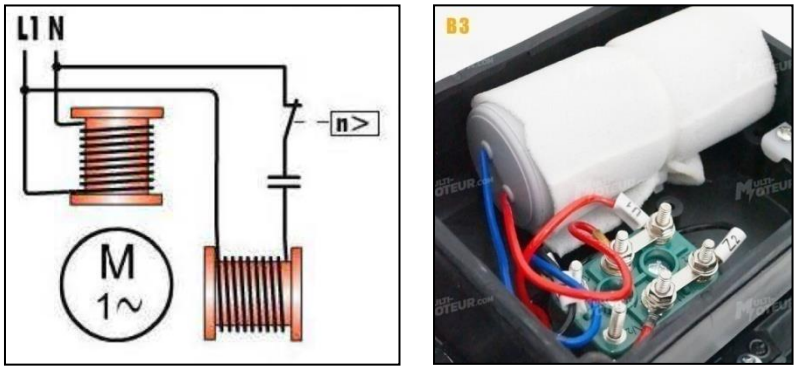
Le couple d'entraînement est régulier mais le couple de démarrage est plus faible.



Condensateur de démarrage

La bobine auxiliaire est sollicitée pendant la phase de démarrage puis est mise hors circuit par un relais électronique ou un capteur centrifuge avant que le moteur développe son couple maximal.

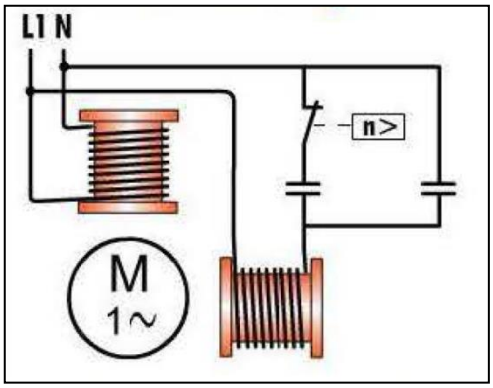
Ensuite, le rotor est entraîné par son inertie.

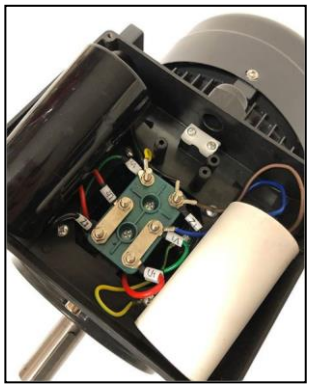


Condensateurs permanent et de démarrage

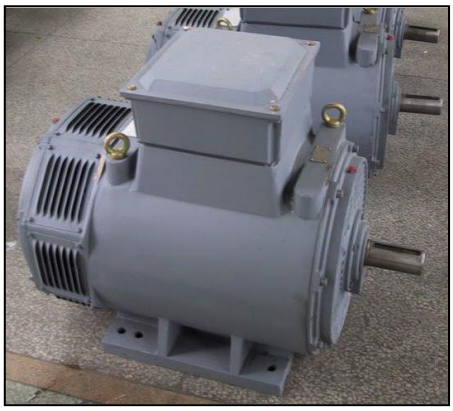
Un condensateur de démarrage est couplé au condensateur permanent pendant la phase de démarrage.

Ce type de moteur présente un couple nominal et un couple de démarrage élevés.





3.2.3 Génératrice asynchrone



La génératrice asynchrone transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique. Son rotor est généralement à cage d'écureuil ; elle bénéficie donc de la robuste simplicité du moteur à cage et des mêmes moyens de fabrication. Elle doit être entraînée au-delà de sa vitesse de synchronisme pour fournir de l'énergie électrique.

Cependant, ces machines asynchrones ne possèdent pas comme les alternateurs un circuit d'excitation. Il faut néanmoins fournir la puissance de magnétisation aussi bien en génératrice qu'en moteur. Afin d'éviter de pénaliser le réseau, on utilise souvent une batterie de condensateurs branchée en parallèle avec la machine pour assurer tout ou partie de cette puissance réactive nécessaire.

3.3 Machines synchrones

Une machine synchrone est une machine électrique tournante dans laquelle le rotor tourne de façon synchrone avec le champ tournant du stator.

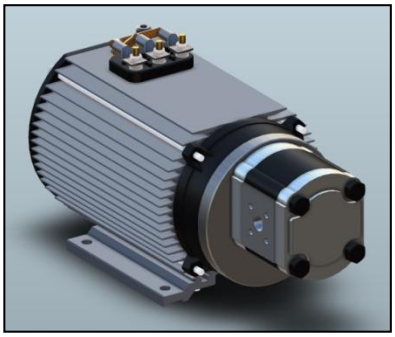
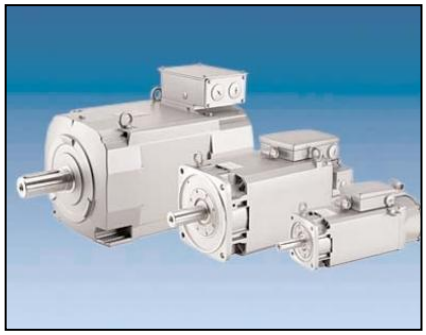
La machine synchrone peut fonctionner en tant que moteur électrique ou générateur électrique.

Au-delà de quelques kilowatts, les machines synchrones sont le plus souvent des machines triphasées. Les alternateurs sont des machines synchrones fonctionnant en génératrice.

3.3.1 Moteurs synchrones

Le moteur synchrone est un moteur à courant alternatif dont la vitesse de rotation du rotor correspond exactement à celle du champ magnétique tournant : la vitesse du rotor est la vitesse de synchronisme.

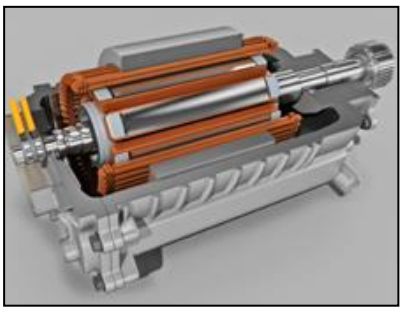
C'est ce qui différencie les moteurs synchrones des moteurs asynchrones ; il n'y a pas de glissement. A la différence des moteurs asynchrones, le rotor du moteur synchrone possède un champ magnétique qui s'accroche au champ tournant du stator.

Les stators, notamment en forte puissance, sont identiques à ceux d'une machine asynchrone.

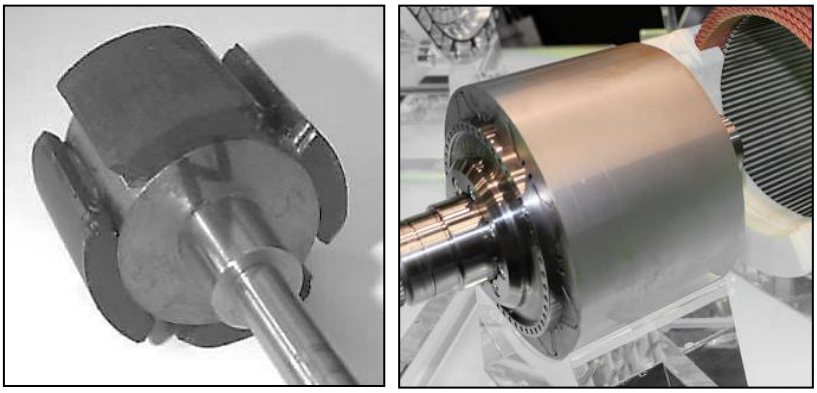
Le rotor peut être constitué :

- d'un enroulement parcouru par un courant continu (courant d'excitation) grace à un système de bagues et de balais. L'enroulement rotorique est bobiné et alimenté au travers de 2 bagues tournantes et de 2 balais.





- ou d'un aimant permanent (moteur Brushless ="sans balais") dons le domaine des faibles puissances.



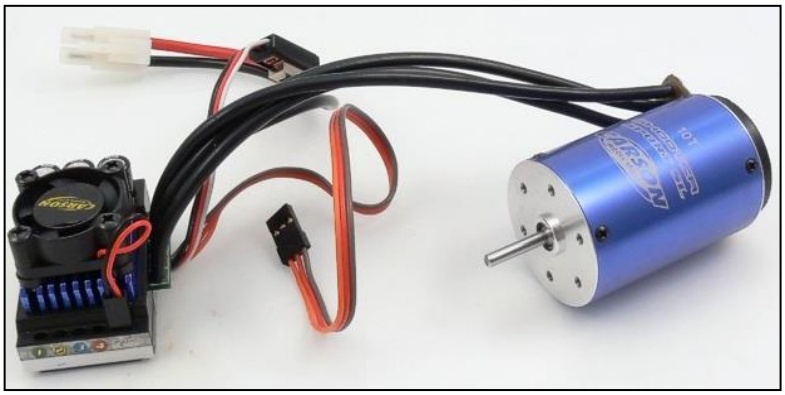
Les moteurs synchrones sont très souvent employés en robotique et dans les machines à commande numérique lorsqu'il est nécessaire de contrôler précisément leur vitesse de rotation. Ils prennent la place des moteurs à courant continu car leur réalisation est plus simple.

Le principal inconvénient des moteurs synchrones vient de la difficulté de les démarrer. Deux méthodes permettent de palier ce problème :

- Démarrage par moteur auxiliaire (asynchrone ou à courant continu) qui entraîne le moteur synchrone à une vitesse proche du synchronisme avant de le coupler au réseau.
- Démarrage en asynchrone : le rotor est équipe d'une cage d'écureuil et est court-circuité le temps qu'il atteigne une vitesse proche de la vitesse de synchronisme. A ce moment, le rotor est alimenté en tension continue et le synchronisme s'établit.

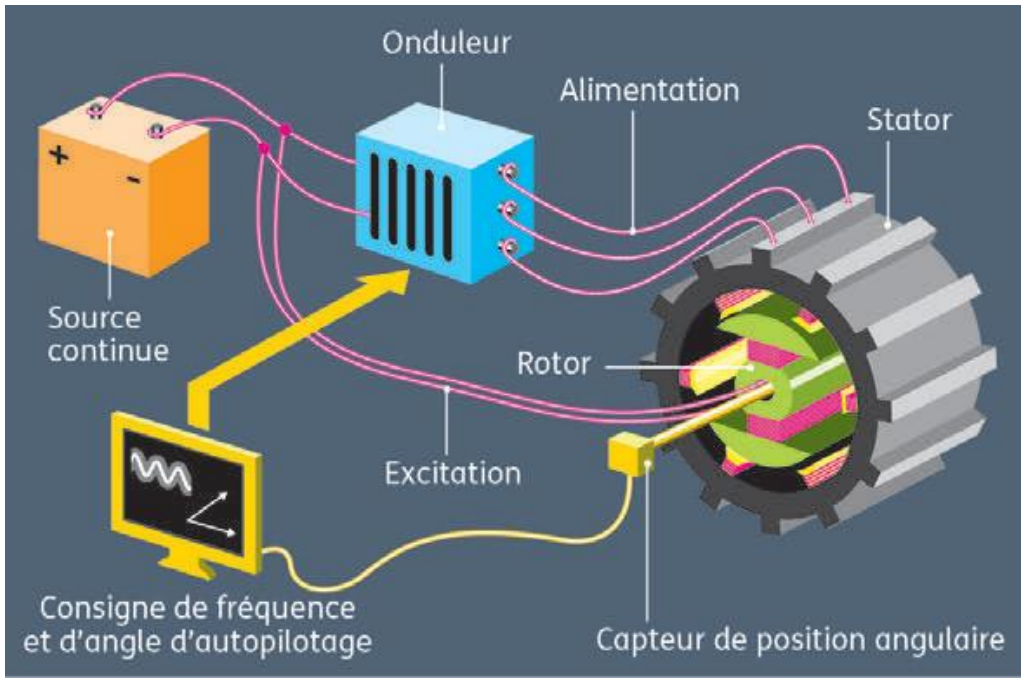
3.3.2 Moteur synchrone autopiloté

L'autopilotage est une réponse apportée au problème de démarrage : un détecteur de position (resolver ou codeur numérique) est associé au moteur. Il transmet à tout



moment la position exacte du rotor à un variateur électronique qui alimente le stator de façon optimale.

Le stator est alimenté en courant alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur (convertisseur continu-alternatif). Le rotor est alimenté directement en courant continu (excitation). Le capteur de position permet de connaître la position instantanée du champ rotorique. La consigne de fréquence permet d'imposer la vitesse de la MS. La boucle d'autopilotage constituée du capteur de position et de la commande de l'onduleur assure un angle d'autopilotage α ou ψ constant nécessaire pour la maîtrise du couple électromagnétique. Le principe d'autopilotage est illustré ci-dessous.

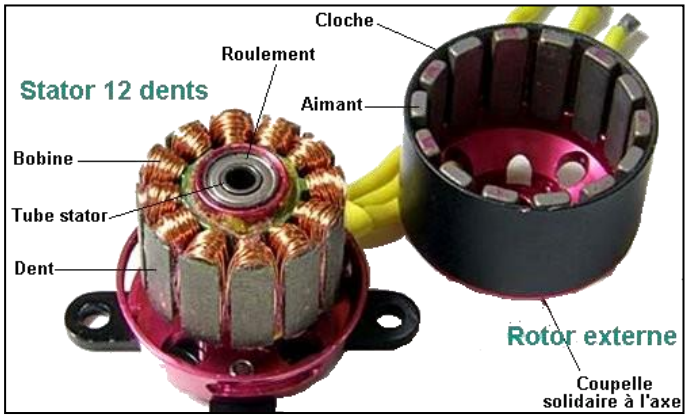


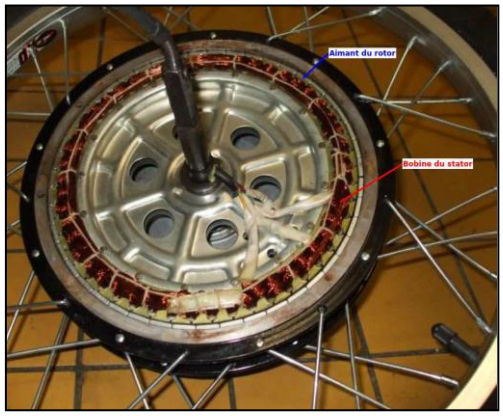
3.3.3 Les moteurs synchrones à rotors externes :

Ces moteurs ont la structure inverse. Le stator bobiné est central, tandis que le rotor, en forme de cloche, va tourner autour du stator.

Ci-dessous un stator à 12 bobines et un rotor externe à 14 pôles. Cette configuration est intéressante en termes de couple moteur.

Utilisations : Ventilateurs, moteurs de disques durs, moteurs de vélos électriques, bateaux ou avions radio commandés…





4. Machines à courant continu (c.c.)

En mode moteur, les machines à courant continu possèdent des caractéristiques qui les rendent intéressantes pour certaines applications.

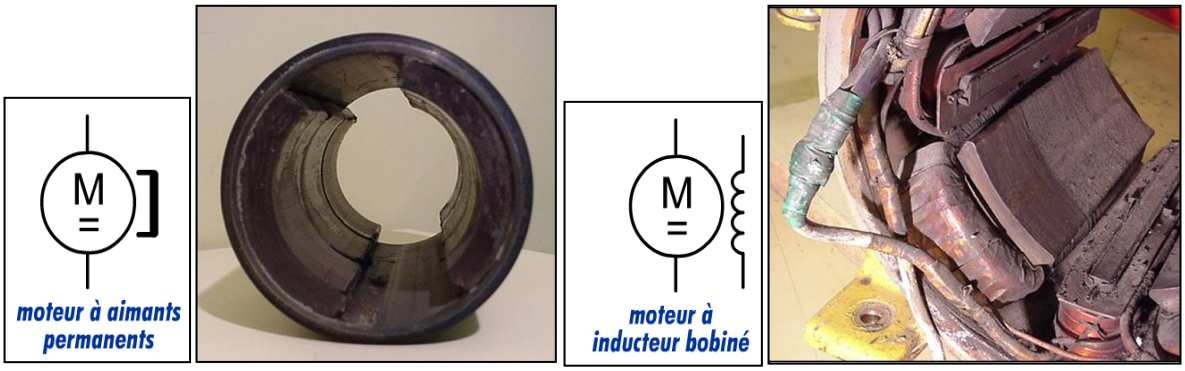
- un couple très élevé aux faibles vitesses font que le moteur série à courant continu convient bien aux applications de traction et de démarrage de machines.
- La gamme de variation de vitesse qui est bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec les autres moteurs électriques, est la caractéristique essentielle des moteurs à courant continu

4.1 Constitution

Le moteur à courant continu est composé des éléments suivants:

- Un inducteur, appelé aussi stator.

L'inducteur est composé, soit d'aimants permanents, soit d'enroulements bobinés autour d'un élément immobile du stator. Il crée le champ magnétique dit statorique.

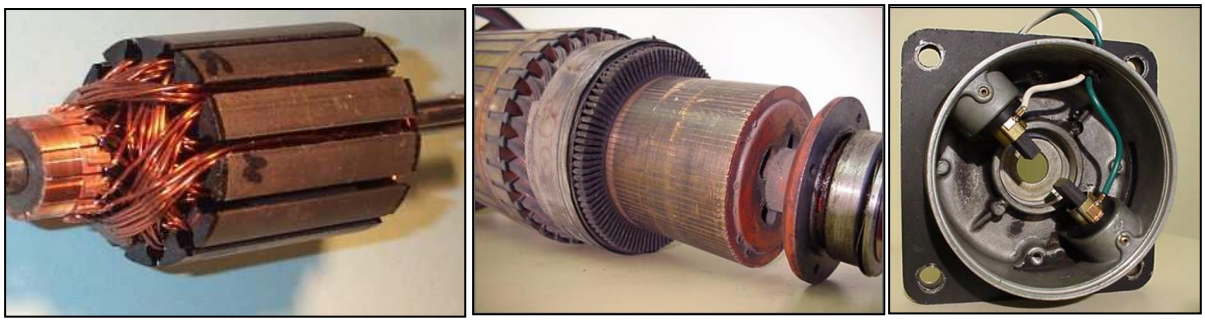


Aimant permanent **Enroulement bobiné**

- Un induit appelé aussi rotor.

Le rotor cylindrique est composé de tôles isolées entre elles et munies d'encoches dans lesquelles sont réparties les conducteurs. Parcourus par un courant, ceux-ci créent le champ magnétique dit rotorique.

- Un collecteur fixé à l'induit, il est en contact avec les charbons.
- Des charbons appelés aussi balais. Ils alimentent l'induit par le collecteur sur lequel ils frottent.



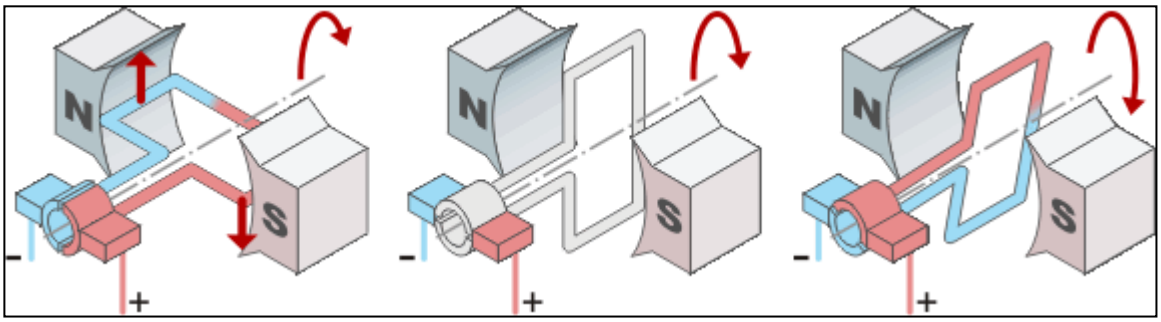
Induit **Collecteur** **Balais.**

4.2 Principe de fonctionnement

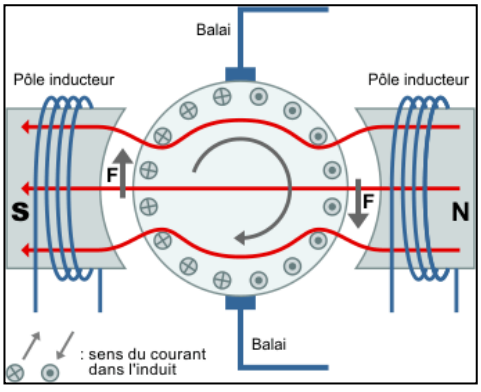
Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent (comme la figure ci-dessous), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud.

Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs.

D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces F égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner.



Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre". Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire.



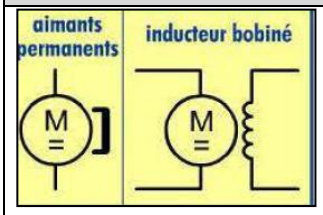
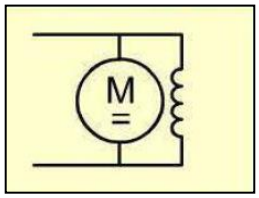
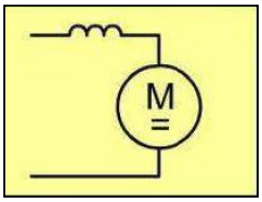
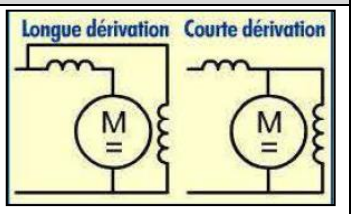
Dans la pratique, la spire est remplacée par un induit (rotor) de conception très complexe sur lequel sont montés des enroulements (composés d'un grand nombre de spires) raccordés à

un collecteur “calé” en bout d’arbre. Dans cette configuration, l’induit peut être considéré comme un seul et même enroulement semblable à une spire unique.

4.3 Excitation des moteurs à courant continu

Le type d'inducteur (à aimant permanent ou inducteur bobiné) et la méthode utilisée pour alimenter l'inducteur et l'induit déterminent le comportement des moteurs à courant continu.

On parle d'excitation pour décrire le mode d'alimentation de l'inducteur et de l'induit bobiné.

Excitation séparée	Excitation dérivation (moteur shunt)	Excitation série (moteur universel)	Excitation composée (moteur compound)
			
Dans le cas d'un inducteur bobiné, nécessite deux alimentations. Petites puissances pour les moteurs à aimants permanents. Risque d'emballement si le courant de l'inducteur est interrompu.	Vitesse relativement constante, quelle que soit la charge (autorégulateur de vitesse). Absence d'emballement à vide. Couple de démarrage moyen.	Fort couple à basse vitesse. Autorégulateur de puissance : la vitesse décroît lorsque la charge augmente. Risque d'emballement à vide.	Couple de démarrage meilleur qu'en dérivation mais plus faible qu'en série. Vitesse relativement stable, quelle que soit la charge. Absence d'emballement à vide.

4.4 Génératrices à courant continu

La machine à courant continu n’est pratiquement plus utilisée pour la production d’énergie (dynamo), elle est remplacée par des alternateurs associés à des redresseurs. Il reste cependant deux applications importantes :

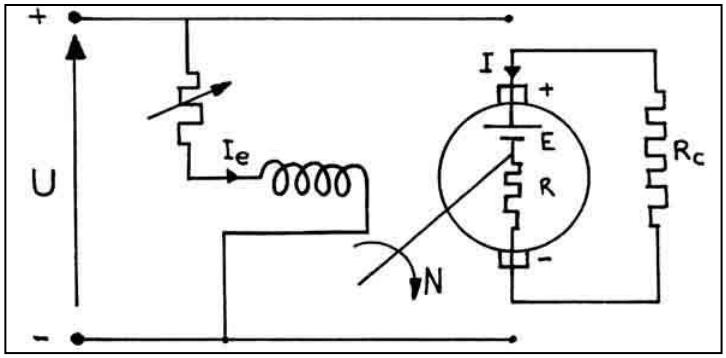
- le freinage rhéostatique ;

- la mesure de vitesse.

3.4.1 Freinage rhéostatique

La réversibilité des moteurs à courant continu leur permet de fonctionner transitoirement en génératrice : pendant les phases de freinage des moteurs de machine-outil, d'engins de levage et de traction (métro), l'énergie cinétique des charges entraînées est transformée en énergie électrique par la machine fonctionnant en génératrice et peut être récupérée.

L'induit du moteur est déconnecté du réseau et refermé sur une résistance RC. Le moteur est entraîné par sa charge à la vitesse N et sa f.é.m. fait circuler un courant I, négatif, dans RC.



3.4.2 Génératrice tachymétrique

On peut utiliser une dynamo pour mesurer la vitesse de rotation. La f.é.m. produite proportionnelle à la vitesse est ensuite introduite dans les chaînes d'asservissements.

Comme on recherche en général une grande précision, on utilise une machine spéciale comportant des aimants permanents comme inducteur, et qui ne doit débiter qu'un courant négligeable de telle sorte que la tension obtenue soit sensiblement égale à la f.é.m. . La construction en est particulièrement soignée pour que la f.é.m. soit exempte de bruits et de fluctuations.

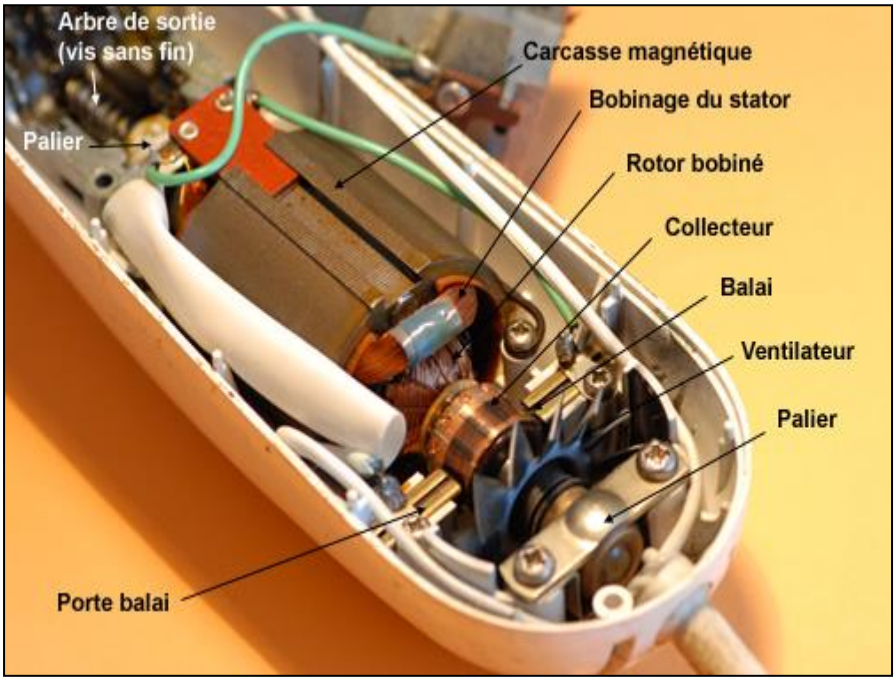


5. Moteurs universels

Un moteur universel est un moteur qui peut être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif. C'est un moteur à courant continu à inducteur bobiné à excitation série : le rotor est connecté en série avec l'enroulement inducteur.

Les moteurs universels sont employés dons des appareils exigeant un couple de démarrage assez élevé ou de grondes vitesses de rotation (jusque 30.000 tours par minute) tout en cherchant à conserver un volume réduit.

On les trouve dons les robots de cuisine et appareils électroménager, l'outillage électroportotif de faible puissance (jusqu'à 1200 W), les sèchecheveux ou encore les aspirateurs.



Le stator du moteur universel comporte des enroulements qui en forment les pôles.

Le rotor est bobiné de façon à former l'induit du moteur. Des balais assurent la connexion en série des pôles et de l'induit, d'où le nom également de moteur série.

Lorsque le moteur universel est alimenté par une tension alternative, un courant de même intensité circule dans les pôles et dans l'induit du moteur, puisque les enroulements sont reliés en série.

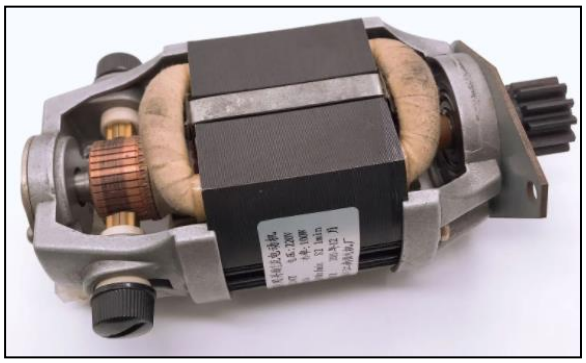
La rotation du moteur est issue de la réaction :

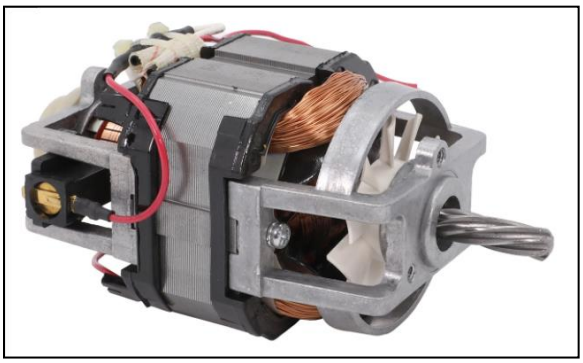
- entre le champ magnétique produit par les enroulements polaires du stator ;

- et celui généré par les enroulements de l'induit du rotor.

La vitesse de rotation du moteur universel est inversement proportionnelle à sa charge. Ainsi, si la charge augmente, la vitesse de rotation diminue. Inversement, si la charge diminue, la vitesse de rotation du moteur augmente.

D'une manière générale, le rendement de ce type de machine est mauvais et leur couple est faible (mais leur coût de fabrication est réduit et leur vitesse de rotation est importante). Quand ils sont utilisés dans des dispositifs exigeant un couple important, ils sont associés à un réducteur mécanique.





Comme dans toute machine à courant continu, le fonctionnement du moteur provoque l'usure des balais ou des charbons alimentant le rotor.

Les ruptures de contact successives dans l'ensemble balais-collecteur génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation et des interférences électromagnétiques qui peuvent être nuisibles au bon fonctionnement d'autres appareils : télévisions, radios, téléphones.

Les zones métalliques massives soumises à des champs magnétiques alternatifs sont le siège de courants de Foucault qui provoquent des pertes par échauffement et diminuent le rendement du moteur.

Pour limiter les courants de Foucault qui apparaissent systématiquement dans toutes les zones métalliques massives soumises à des champs magnétiques alternatifs, son stator et son rotor sont feuilletés.

6. Moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas permettent essentiellement d'obtenir un positionnement très précis : à chaque fois que le moteur reçoit une impulsion électrique de commande, son axe effectue une rotation d'un angle déterminé. Il peut avoir une valeur comprise entre 0,9°et 90°. Les valeurs les plus couramment rencontrées sont :



- 0,9° : soit 400 pas par tour
- 1,8° : soit 200 pas par tour
- 3,6° : soit 100 pas par tour
- 7,5° : soit 48 pas par tour
- 15° : soit 24 pas par tour

La vitesse de rotation est fonction de la fréquence des impulsions. On distingue 3 groupes de moteur pas à pas :

- les moteurs à aimant permanent
- les moteurs à reluctance variable
- les moteurs hybrides

Ces moteurs sont d'une très grande précision et présentent une faible usure mécanique.

Leur commande se faisant par une suite d'impulsions électriques, ils nécessitent d'être alimentés par un circuit électronique spécifique.

6.1 Moteur à aimant permanent:

Un moteur à aimant permanent comprend :

- un rotor bipolaire constitué d'un aimant permanent (partie mobile)
- un stator à deux paires de pôles (partie fixe)



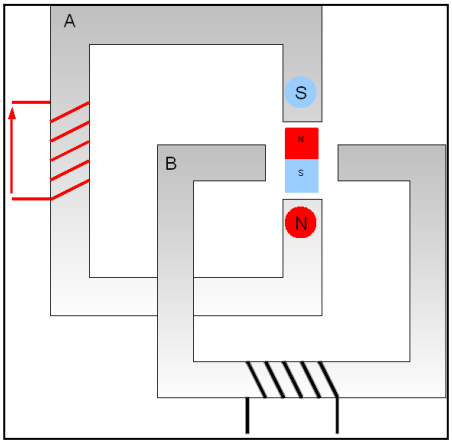
Les bobines diamétralement opposées constituent les phases. Elles sont connectées de façon à créer un pôle Sud et un pôle Nord.

En inversant les sens des courants dans une phase, on permute les pôles engendrés par une bobine. Le rotor se déplace alors et prend une nouvelle position d'équilibre stable. Selon la conception des enroulements, on distingue deux grands types de moteurs pas à pas :

Le moteur bipolaire

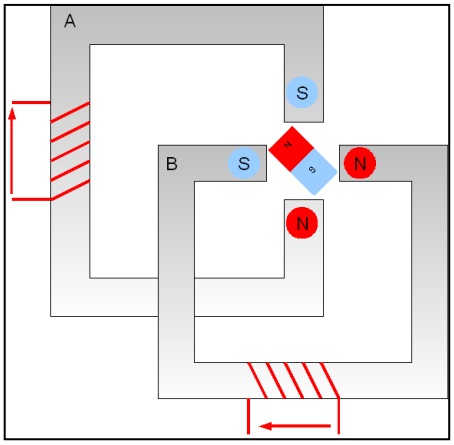
Les enroulements du stator n'ont pas de point milieu. Chaque borne de chaque enroulement est alimentée par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire).

Fonctionnement à pas complet :



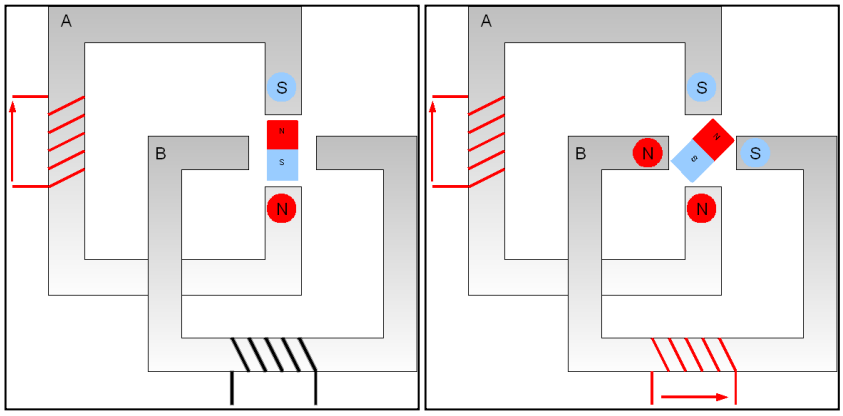
On alimente les bobines, une à une à chaque fois. Il y a quatre pas.

Fonctionnement avec couple maximal :

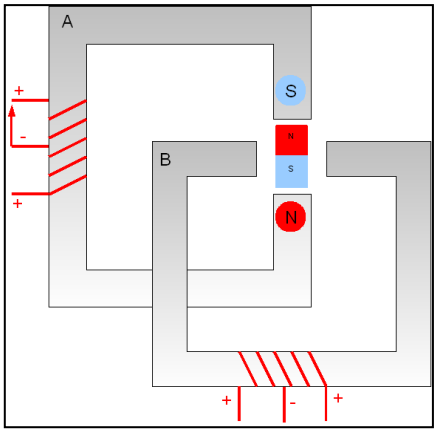


On alimente les bobines, deux par deux à chaque fois. Il y a toujours quatre pas.

Fonctionnement à demi-pas : Si on mélange les deux fonctionnements, on peut obtenir le double de pas, pour faire un tour complet, il faut 8 pas. On parle alors de demi-pas.

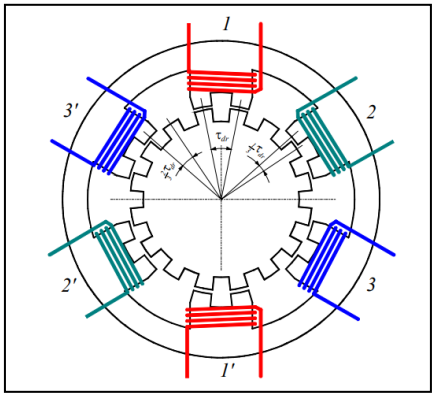


Le moteur unipolaire



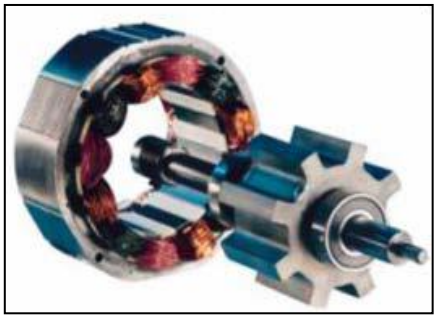
Les enroulements sont à point milieu. Les bornes sont toujours alimentées par une polarité de même signe (d'où le terme unipolaire). L'avantage est que l'on n'inverse jamais le sens du courant, donc la commande est plus simple. Tout le problème est que l'on « double » le nombre d'enroulements, donc le moteur est plus coûteux et encombrant.

6.2 Moteur pas à pas à réluctance variable :



Dans un moteur à réluctance variable, le rotor n'est pas constitué d'un aimant permanent mais est en acier doux.

Le rotor possède un nombre de dents inférieur au nombre de pôles du stator. Les dents vont chercher à s'aligner avec la bobine alimentée qui crée le champ magnétique.



Puisque le rotor n'est pas magnétique, son sens de rotation ne dépend plus de la polarité de l'alimentation des bobines mais seulement de leur séquence.

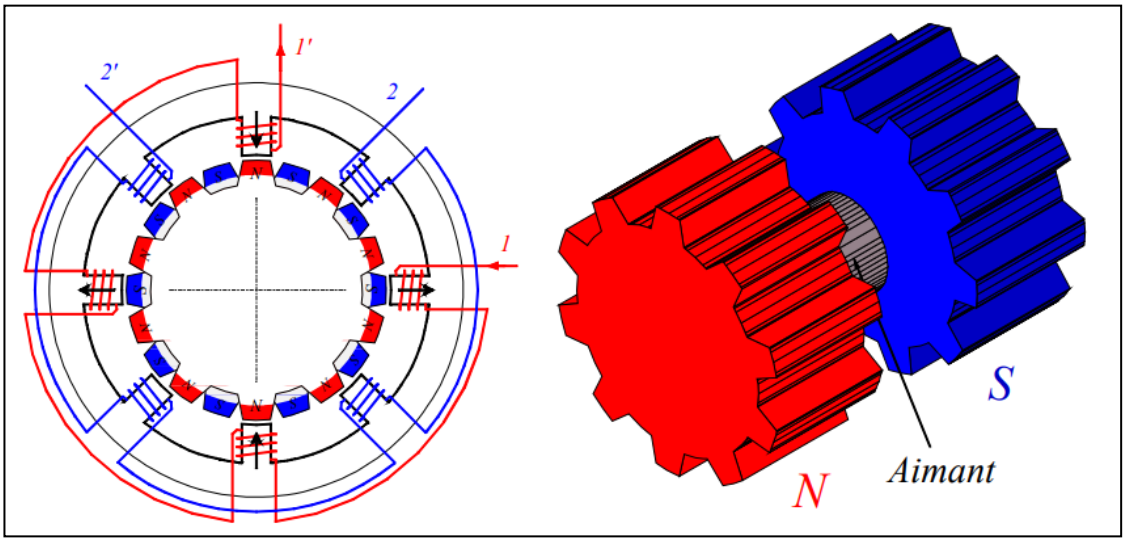
De plus, le moteur ne craint plus la création de courants induits par le rotor et la vitesse peut être nettement plus élevée que pour un moteur à aimant permanent.

6.3 Moteur hybride

Le moteur hybride, très répandu dans le domaine industriel, combine les principes des moteurs à aimant permanent et des moteurs à réluctance variable.

Le stator est toujours constitué de bobinages répartis autour du rotor.

Le rotor est constitué de l'assemblage de deux pièces dentées renfermant entre-elles un aimant créant ainsi un pôle Nord sur l'une et un pôle Sud sur l'autre.



En faisant tourner l'alimentation des bobines, la paire de pôles du rotor la plus proche du nouveau champ magnétique va chercher à s'aligner avec lui, provoquant la rotation, selon le même principe que dans le moteur à réluctance variable.



Le nombre de paires d'enroulements et le nombre de dents du rotor influent directement sur le pas du moteur : plus elles sont nombreuses et plus le pas est petit.



Rotor d'un moteur pas à pas hybride

Chapitre II

Les dispositifs de contrôle-commande des machines électriques

1. Introduction.

Les dispositifs de contrôle-commande de moteurs s'inscrivent dans quatre catégories principales :

- commande et protection des moteurs
- démarrage des moteurs électriques
- Freinage des moteurs électriques
- régulation de la vitesse des moteurs électrique.

2. Les appareils de commande et de protection

2.1 Disjoncteur moteur

Un disjoncteur moteur est un module de protection qui vise à assurer la protection du moteur électrique en cas de surcharge ou de court-circuit. C'est lui qui va couper le courant électrique en cas de danger potentiel pour le moteur. C'est un appareil de protection qui comporte deux relais, relais magnétique qui protège contre les courts-circuits et un relais thermique qui protège contre les surcharges.

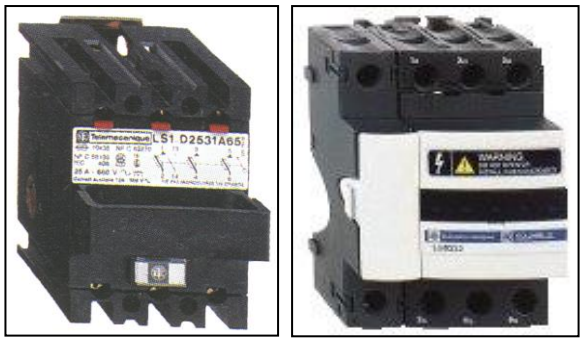


Disjoncteurs **Symbole**

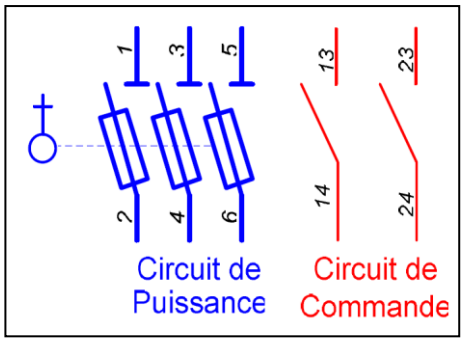
2.2 Le sectionneur porte fusible

Le sectionneur est destiné à fermer ou ouvrir un circuit électrique. Il permet de séparer (isoler) la source d'alimentation électrique et l'équipement électrique. L'ouverture et la fermeture du circuit se fait soit de manière « frontale » ou « latérale (par une poignée)

Le sectionneur porte fusible est également muni de fusibles type aM (accompagnement moteur) dont leur rôle est de protéger l'équipement électrique contre les courts –circuits.



Sectionneur fusible



Symboles

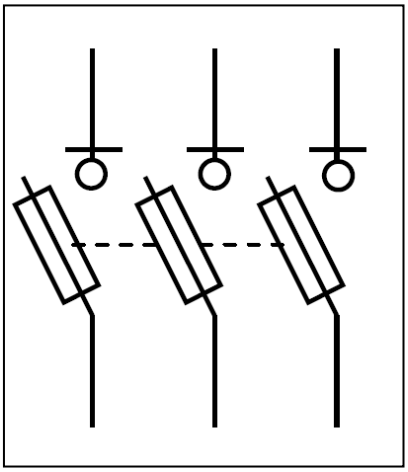
Le pouvoir de coupure est le courant maximal qu'un appareil de sectionnement peut interrompre sans aucun endommagement. Le sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure, il doit être manipulé à vide.

2.3 Interrupteur sectionneur

Un interrupteur sectionneur est une combinaison de deux commandes : un interrupteur classique d'une part, un sectionneur d'autre part.



Interrupteur sectionneur



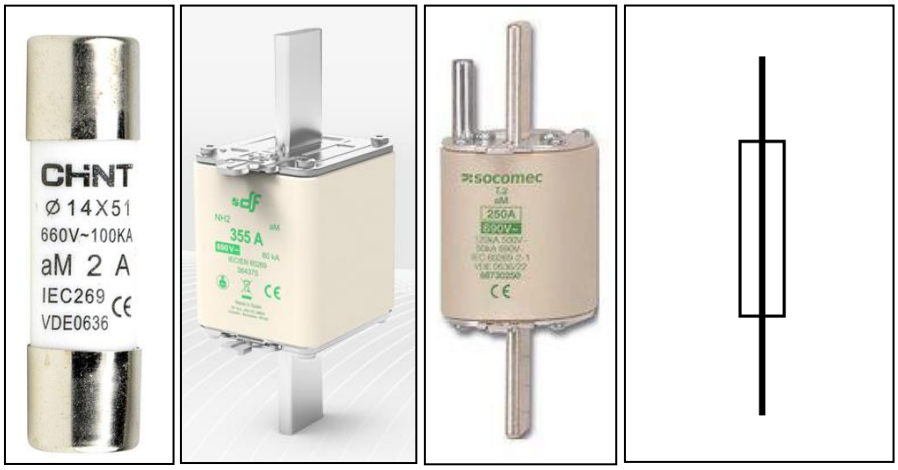
Symbole

L'interrupteur sectionneur a un pouvoir de coupure, peut être manipulé en charge. Il est souvent installé comme coupure d'urgence, en tête de l'installation électrique. En effet, un interrupteur sectionneur assure la séparation d'un circuit électrique lorsque l'installation est en charge.

2.4 Fusibles

Le coupe-circuit à fusible (souvent simplifié en fusible) est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint, ou dépasse, une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps.

Son nom vient du fait qu'il y a fusion d'un matériau conducteur sous l'effet de son élévation de température provoquée par la surintensité.



Fusibles **Symbole**

Il existe plusieurs types de fusibles :

- **gF :** fusible à usage domestique, il assure la protection contre les surcharges et les courts-circuits.
- **gG :** fusible à usage industriel. Protège contre les faibles et fortes surcharges et les courts-circuits. Utilisation : éclairage, four, ligne d'alimentation, …
- **aM :** cartouche à usage industriel, pour l'accompagnement moteur, commence à réagir à partir de 4.In (In est le courant prescrit sur le fusible), protège uniquement contre les courts-circuits.

Utilisation : Moteurs, transformateurs, …

L'inconvenant du fusible est qu'une fois le fusible utilisé pour un court-circuit il faut le changer.

2.5 Relais thermique

Le relais de protection thermique protège le moteur contre les surcharges.

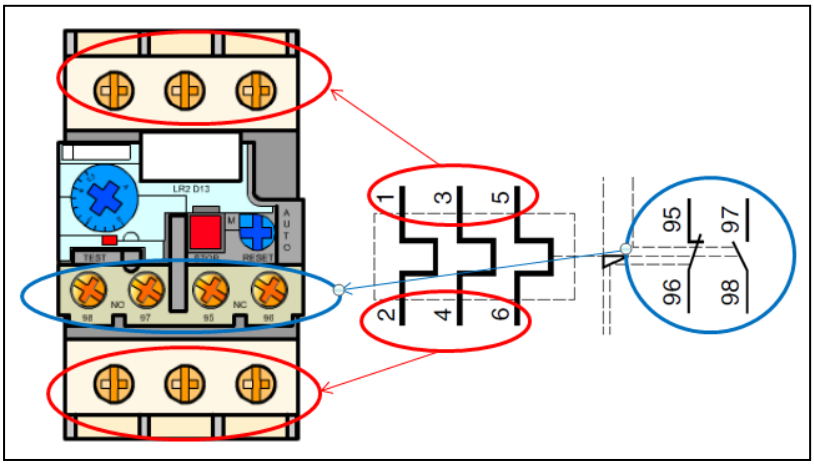
Le relais thermique est un appareil qui protège le moteur contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le moteur.

En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

Le relais thermique n'a pas de pouvoir de coupure, il est toujours associé à un contacteur. Ci-dessous le symbole du relais thermique utilisé dans la puissance (entourer en rouge) et dans la commande (entourer en bleu).



Relais thermique



Symbole

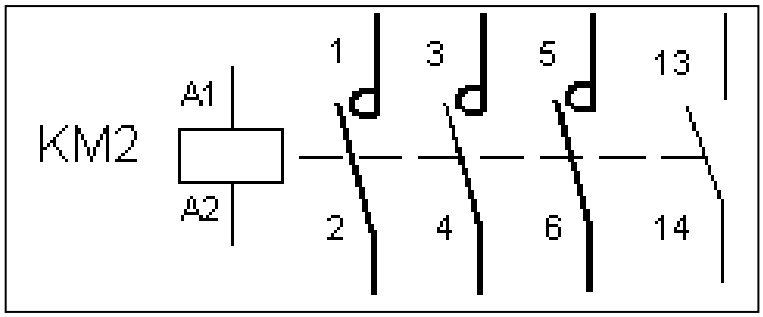
2.6 Le contacteur

Le contacteur est un relais électromagnétique qui permet grâce à des contacts (pôles) de puissance d'assurer le fonctionnement de moteurs, de résistances ou d'autres récepteurs de fortes puissances.

Suivant le modèle, il possède aussi des contacts auxiliaires intégrés ouverts ou fermés, il est possible d'ajouter des additifs ou blocs auxiliaires servant uniquement pour la télécommande ou la signalisation.

En Technologie des Systèmes Automatisées ce composant est appelé préactionneur puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies.





Contacteur **Symbole**

2.7 Capteur de fin de course

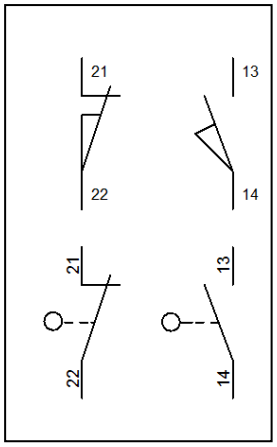
Les capteurs mécaniques ou interrupteurs de position sont en contact direct avec la pièce en mouvement qu'il faut détecter.

L'action mécanique sur la partie mobile du capteur permet d'établir ou d'interrompre un contact électrique.

Ils transmettent au système de traitement les informations de présence, d'absence, de passage, de positionnement ou de fin de course.







Interrupteurs de position **Symbole**

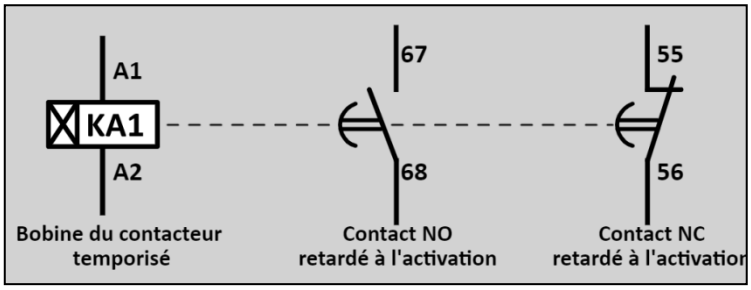
2.8 Bloc auxiliaire temporisé

Les blocs auxiliaires *temporisés* servent à retarder l'action d'un *contacteur* (lors de sa mise sous tension ou lors de son arrêt)

Lorsque l'on a besoin de retarder une mise en marche ou l'arrêt d'un équipement industriel et que l'on utilise une logique câblée (sans automate) avec des contacteurs, il est nécessaire d'utiliser des blocs temporisés soit à l'activation (Travail) ou à la désactivation (Repos).



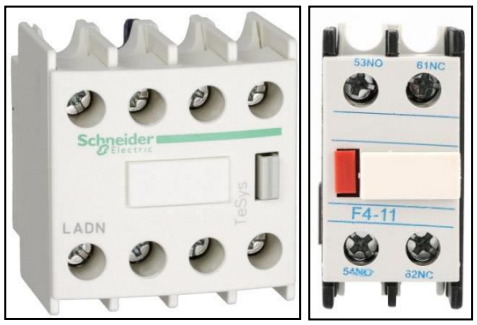
Bloc auxiliaire temporisé



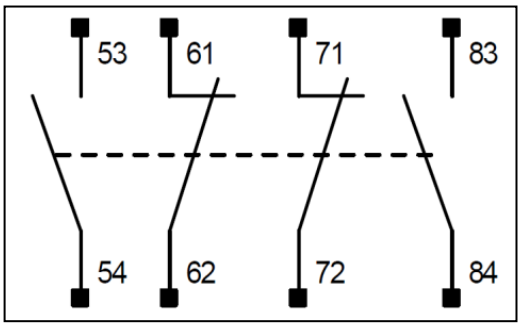
Symboles

2.9 Bloc de contacts auxiliaires

Le bloc de contact auxiliaire est un appareil mécanique de connexion qui s'adapte sur les contacteurs. Il permet d'ajouter de 2 à 4 contacts supplémentaires au contacteur. Les contacts sont prévus pour être utilisés dans la partie commande des circuits. Ils ont la même désignation et repérage dans les schémas que le contacteur sur lequel ils sont installés (KA, KM...).

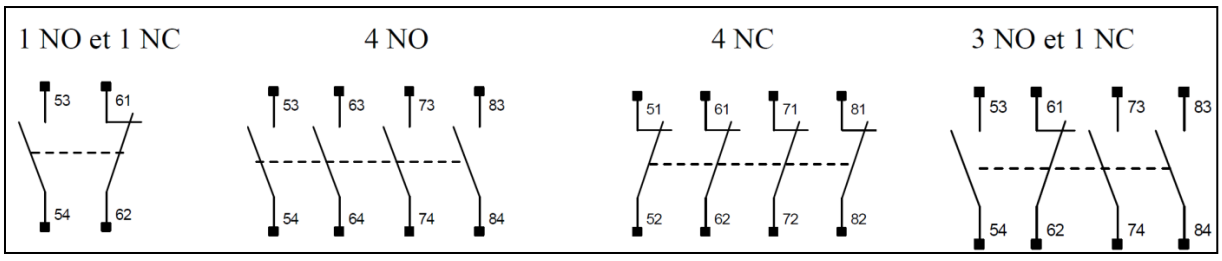


Blocs de contacts auxiliaires



Symbole

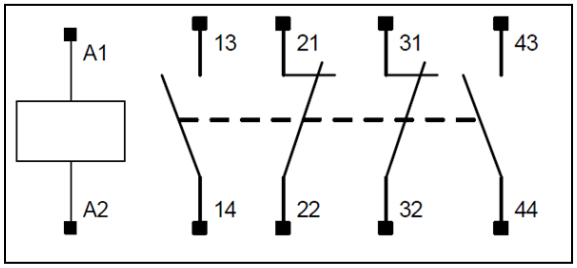
On trouve d'autres modèles d'association de contacts :



Il existe des contacteurs auxiliaires qui ne comportent que des contacts de commandes.



Contacteur auxiliaire



Symbole

3. Protection des moteurs

Les dispositifs de protection servent à protéger le moteur, le réseau d'alimentation et le personnel contre les diverses conditions anormales de la charge entraînée, du réseau d'alimentation ou du moteur lui-même.

3.1 Dispositif de sectionnement

Les normes d'installation électrique exige que le moteur soit muni d'un dispositif de sectionnement approprié et de puissance suffisante permettant de mettre hors tension les conducteurs d'alimentation du moteur et de permettre ainsi au personnel de travailler en toute sécurité sur l'installation.

3.2 Protection contre les surintensités

La norme exige que tout conducteur non mis à la terre d'une dérivation de moteur doit être protégé par un dispositif de protection contre les surintensités. Les dispositifs de protection contre les surintensités coupent l'alimentation électrique lorsque l'appel de courant sur le réseau atteint une valeur excessive. Ces dispositifs, constitués normalement de fusibles ou de disjoncteurs, fonctionnent en cas de court-circuit ou de surcharge très élevée.

3.3 Protection contre les surcharges

Les dispositifs de protection contre les surcharges protègent le moteur contre les conditions de surcharges mécaniques. On compte quatre dispositifs courants de protection contre les surcharges :

3.3.1 Relais de surcharge magnétique,

Ces relais de surcharge fonctionnent sous l'effet de l'action magnétique du courant de charge parcourant une bobine.

3.3.2 Relais de surcharge thermiques,

Un relais de surcharge thermique utilise un élément chauffant monté en série dans l'alimentation du moteur. En cas de surcharge, la chaleur engendrée provoque l'ouverture d'un jeu de contacts qui interrompent le circuit.

3.3.3 Relais de surcharge électroniques,

Dans les relais de surcharge électroniques, le courant de charge est détecté et son effet thermique sur le moteur est calculé. En condition de surcharge, le circuit de détection interrompt le circuit d'alimentation du moteur.

3.3.4 Fusibles

On peut aussi se servir de fusibles pour assurer la protection des moteurs, mais à condition de leur associer un dispositif de protection contre la marche en monophasé pour le cas de fusion d'un seul fusible.

3.4 Autres types de protection

3.4.1 Contre les baisses de tension

La protection contre les baisses de tension fonctionne lorsque la tension d'alimentation devient inférieure à une valeur préétablie.

Le moteur doit être remis en marche après que la tension d'alimentation soit redevenue normale.

3.4.2 Contre les coupures de phase

La protection contre les coupures de phase interrompt l'alimentation de toutes les phases d'un circuit triphasé en cas de défaut sur l'une des phases.

Les protections normales par fusibles, dans le cas de fusion d'un seul fusible, est insuffisantes pour protéger un moteur triphasé contre les dommages dus à la marche en monophasé. Sans protection contre les coupures de phase, le moteur pourra continuer à fonctionner même dans le cas où une phase est manquante. D'où la nécessité de la protection contre les coupures de phase.

3.4.3 Contre les inversions de phase

La protection contre les inversions de phase se déclenche lorsqu'une inversion de phase est détectée sur un circuit triphasé. On a recours à ce type de protection dans le cas notamment des ascenseurs pour lesquels le fonctionnement du moteur en sens inverse pourrait se révéler dangereux ou dommageable.

3.4.4 Contre les défauts à la terre

Un dispositif de protection contre les défauts à la terre se déclenche dans le cas où une phase d'un moteur est mise à la terre et empêche que des courants d'intensité élevée n'endommagent les enroulements du stator ou le noyau magnétique.

4. Démarrages des moteurs

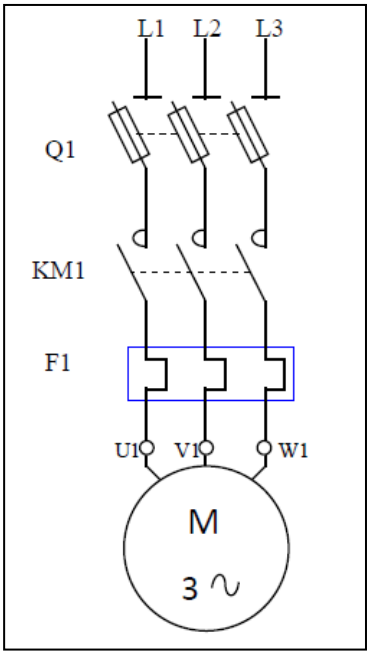
Les démarreurs doivent fournir au moteur un courant lui permettant de développer un couple de démarrage adéquat dans les conditions les plus défavorables de tension du réseau et de charge.

4.1 Démarreurs pour moteurs triphasés

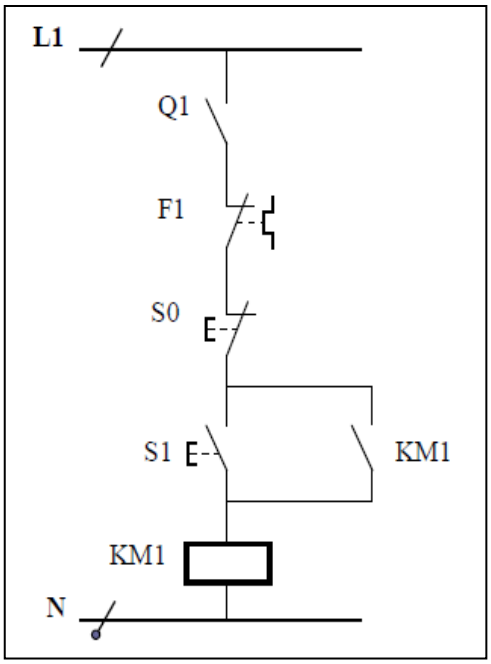
4.1.1 Démarrage direct :

On emploie souvent des démarreurs manuels pour les petits moteurs de puissance inférieure à 7.5 kW. Les contacts du démarreur restent fermés si l'alimentation du circuit est interrompue et le moteur redémarre lorsque la tension est rétablie.

Dans les cas où le redémarrage imprévu d'un moteur risque d'entraîner des accidents, on devra alors employer un démarreur magnétique. Les démarreurs magnétiques sont employés aussi dans les moteurs de puissance plus élevée ou lorsqu'on souhaite les commander à distance. La mise sous tension de la bobine entraîne la fermeture des contacts KM1. Les contacts des relais de surcharge F1 sont disposés de telle sorte qu'un déclenchement par surcharge sur l'une des phases entraîne automatiquement l'ouverture des autres phases et la protection de surcharge.



Circuit de puissance



Circuit de commande

4.1.2 Démarreurs à tension réduite :

Lorsqu'un moteur est branché directement à la source d'alimentation, les courants de ligne peuvent atteindre de trois à six fois le courant nominal du moteur au moment du démarrage. Dans les moteurs puissants ce courant risque de provoquer une chute de tension excessive sur le réseau.

Pour contrer cet effet, on limite le courant de démarrage en abaissant la tension aux bornes du moteur, à l'aide de démarreurs à tension réduite.

4.1.3 Démarrage par élimination de résistances statoriques:

La technique de démarrage par élimination de résistances statoriques consiste à installer trois résistances branchées en série avec le moteur durant la période de démarrage.

Ce dispositif de démarrage provoque une accélération très douce, mais diminue le couple de démarrage du moteur.

Les démarreurs par élimination de résistance se composent des éléments suivants :

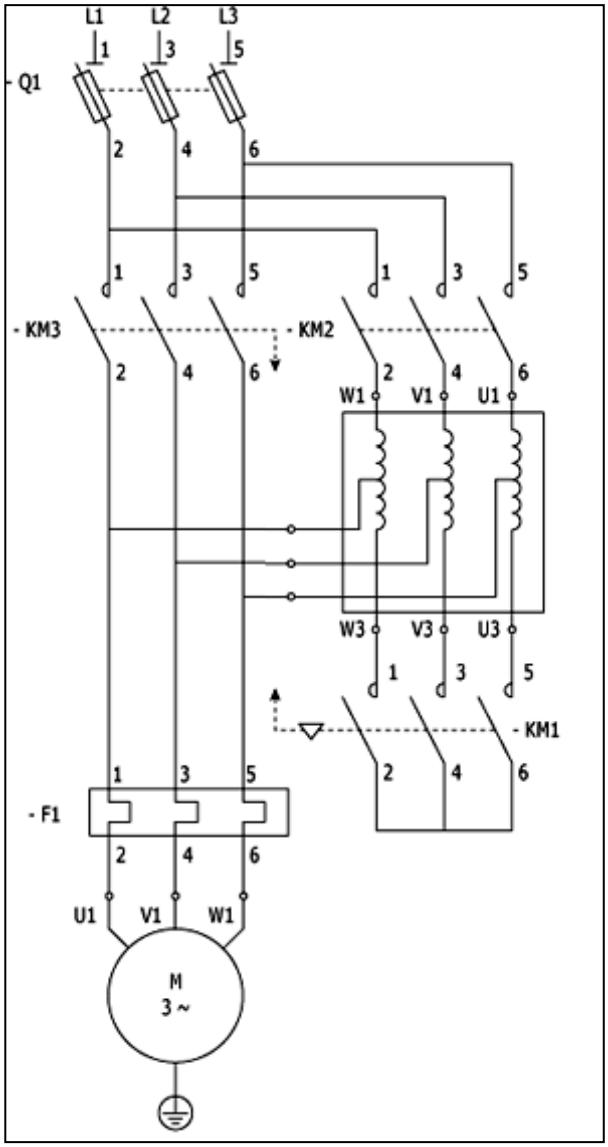
Deux contacteurs (KM1 et KM2), trois résistances (Ru, Rv, Rw) et un relais protection thermique F1. Les schémas de puissance et de commande sont ci-dessous.

4.1.4 Démarreurs par autotransformateurs :

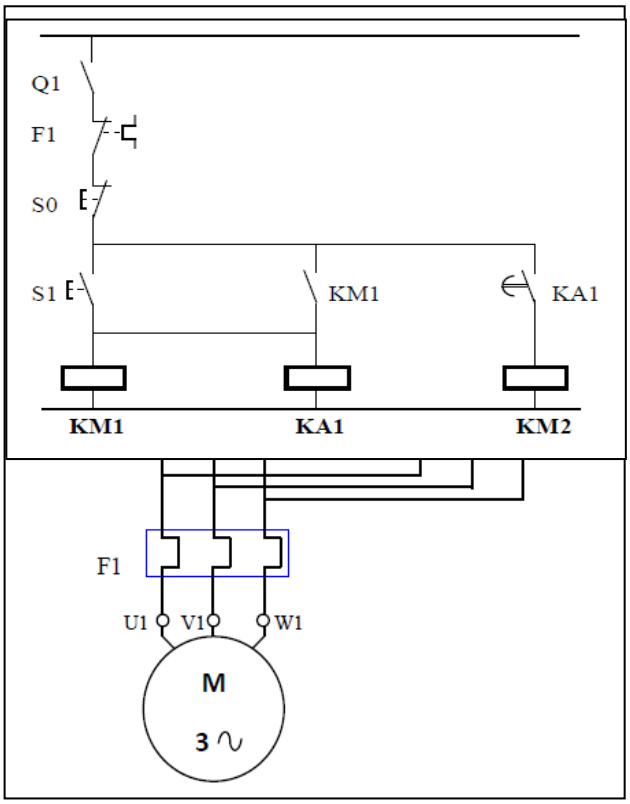
La technique de démarrage par auto-transformateur consiste à réduire la tension fournie au moteur durant le démarrage à l'aide d'un auto-transformateur.

Comparativement au démarreur par résistance, ce dispositif de démarrage permet, pour un même couple de démarrage, de réduire davantage le courant tiré du réseau.

Démarreurs par autotransformateurs



Elimination de résistances statoriques



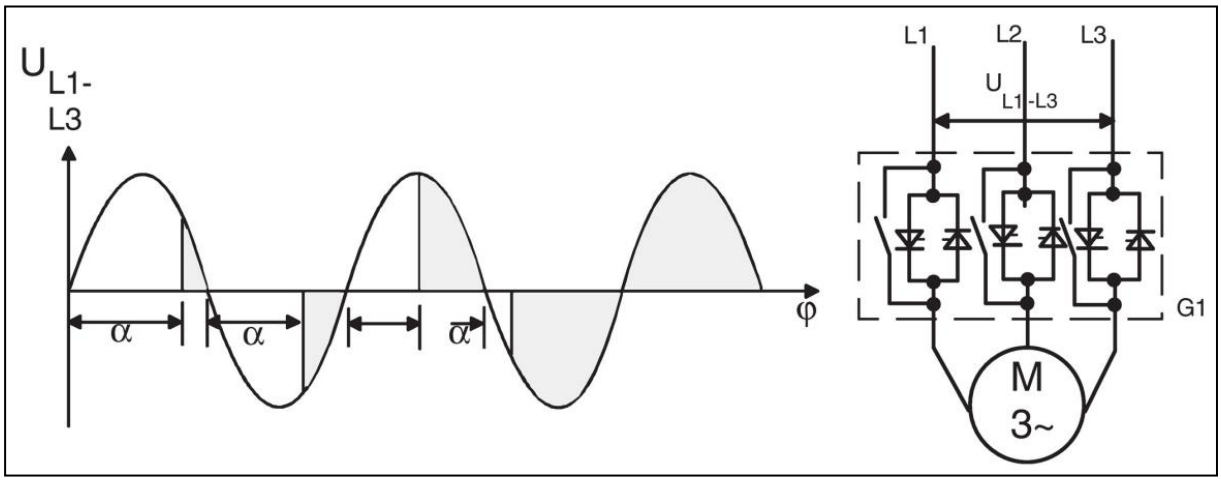
4.1.5 Démarreurs progressif à semi-conducteurs :

Le fonctionnement des différents types de démarreurs classiques se base sur l'utilisation de dispositifs électromécaniques.

Avec l'arrivée sur le marché de nouveaux composants électroniques de puissance, il est possible de remplacer les démarreurs à tension réduite par résistance, par autotransformateur et "étoile-triangle" par des démarreurs électroniques, dont la performance est inégalée.

Les éléments de commutation de puissance utilisés forment un gradateur triphasé.

La figure suivante montre le circuit simplifié d'une commande par angle de phase et schéma de configuration d'un démarreur progressif avec contacts de bypass intégrés



Le circuit de puissance consiste en trois paires de thyristors (redresseurs commandés) branchés en série avec les trois phases de la source d'alimentation. Les thyristors formant chacune des paires sont branchés tête-bêche (en parallèle et inversés l'un par rapport à l'autre), ce qui permet de commander le moteur dans les deux alternances du courant alternatif.

4.1.6 Démarrage étoile-triangle :

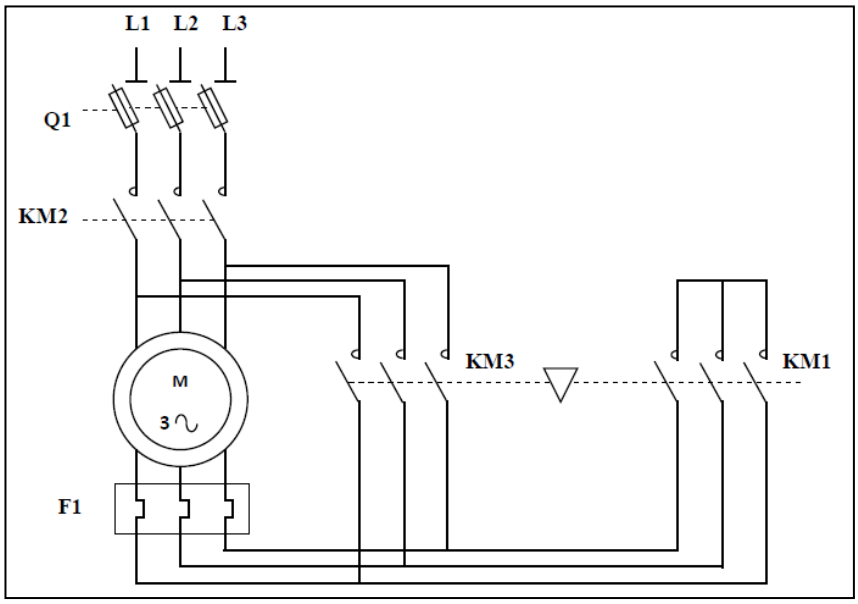
La technique de démarrage "étoile-triangle" consiste à brancher en étoile les enroulements du moteur durant la période de démarrage, puis à les relier en triangle pour la période de marche.

Le rapport des grandeurs entre la tension simple V et la tension composé U d'un réseau triphasé de distribution est ;

$$U = \sqrt{3}.V$$ Soit 58 % de U.

Cette méthode permet d'appliquer au moteur la tension simple durant la période de démarrage. Si la tension composée U est égale à 400 V, la tension aux bornes de chaque enroulement au démarrage sera égale à la tension simple V = 230 V.

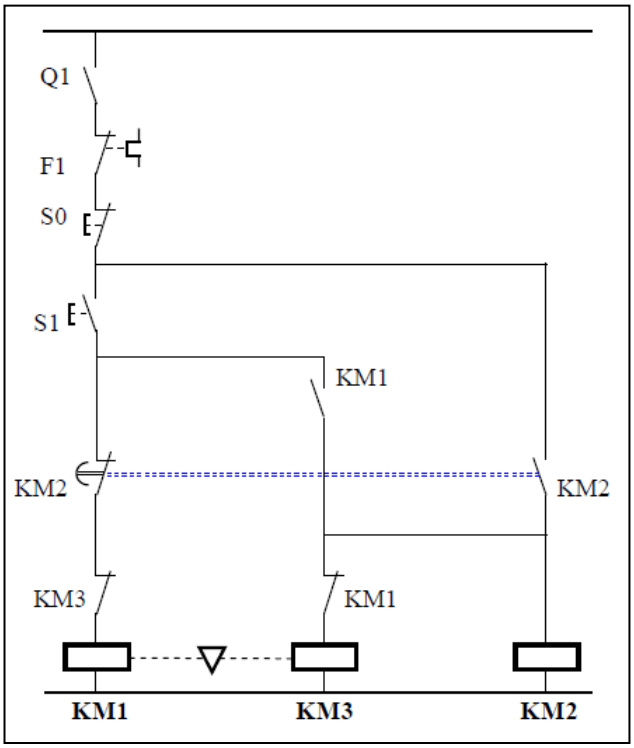
Cette méthode de démarrage est peu coûteuse, réduit considérablement le couple de démarrage du moteur mais elle ne convient pas à des applications nécessitant un fort couple de démarrage.



Circuit de puissance d'un démarrage étoile-triangle

De plus, pour que cette méthode soit réalisable, il faut que le moteur possède six fils de sortie, constituant le début et la fin de chacun des enroulements de phase, de manière à permettre

un branchement en étoile et en triangle. En général, ces six fils sont disponibles dans la boite à bornes.

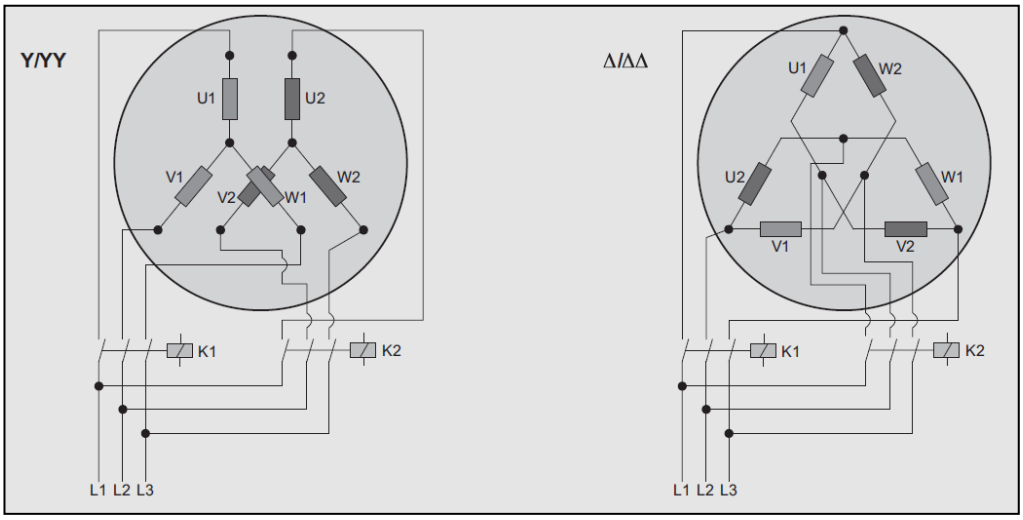


Circuit de commande d'un démarrage étoile-triangle

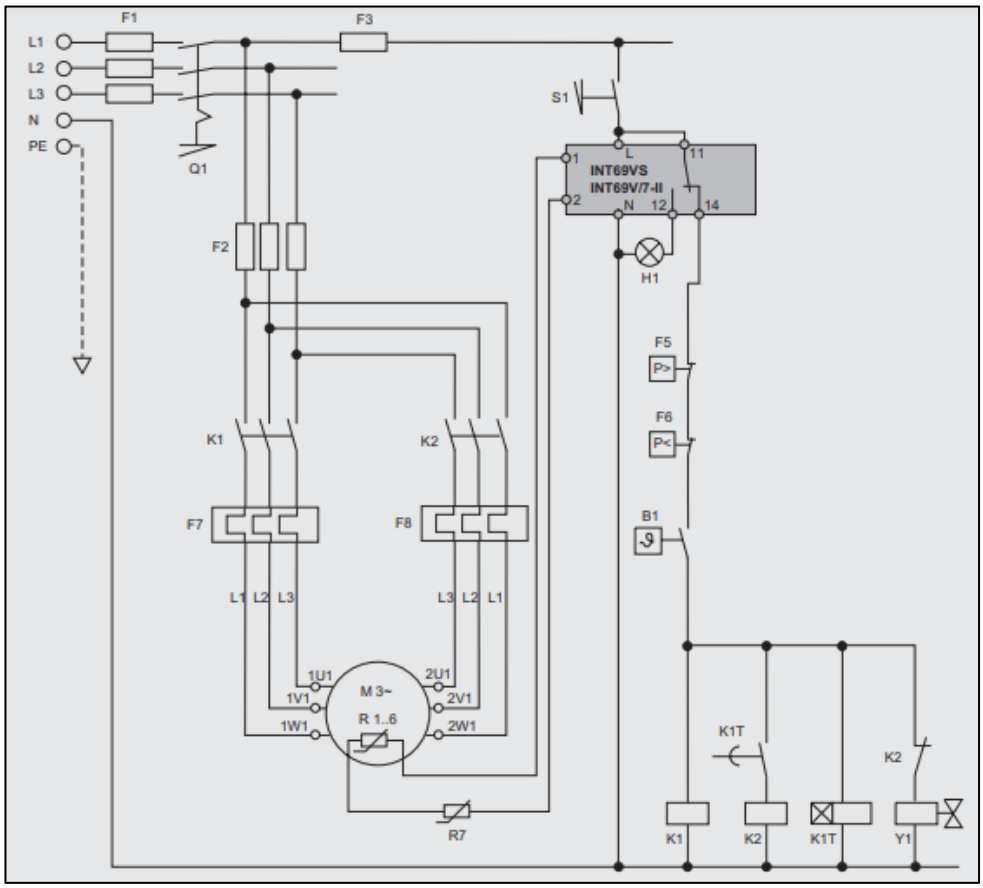
4.1.7 Démarrage par enroulement partiel :

A côté de la méthode habituelle de démarrage Y/Δ par changement de branchement du bobinage du stator, le moteur à bobinage partiel s'est largement imposé dans l'industrie du froid et a même relégué le moteur Y/Δ au second rang dans de nombreux domaines d'application. Il se distingue par un amortissement de courant très efficace au démarrage et un prix bas pour la combinaison contacteur interrupteur.

Pour ce type de moteur, le bobinage du stator est séparé normalement en deux parties – normalement couplées en Y/YY ou Δ/ΔΔ. Les deux paquets de bobines sont disposés en parallèle dans les rainures du stator et dans la partie supérieure du bobinage. Ils sont réciproquement isolés. Ce principe de construction permet le démarrage des deux bobinages partiels en étapes (effet de retard), ce qui réduit considérablement le courant au démarrage.

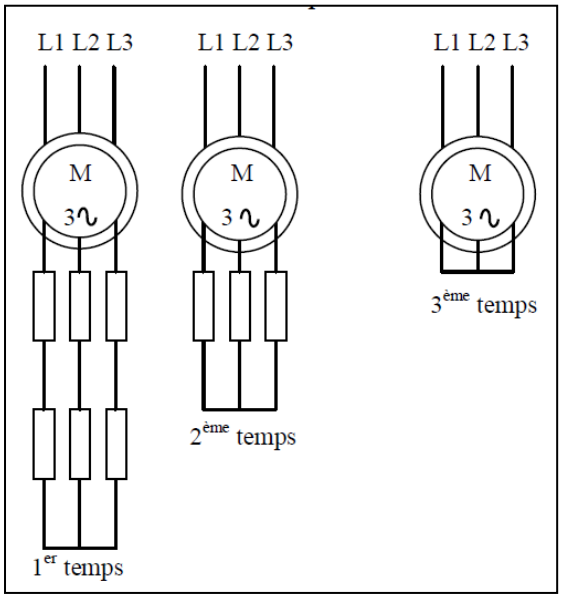


La connexion électrique se distingue du principe Y/Δ par une combinaison différente des contacteurs. Les appareils de commande et de protection ont aussi une configuration différente.



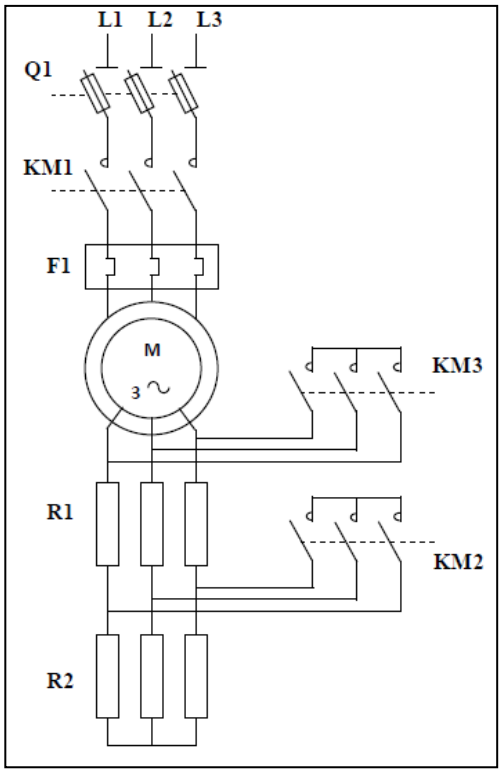
4.1.8 Démarrage par élimination de résistances rotoriques

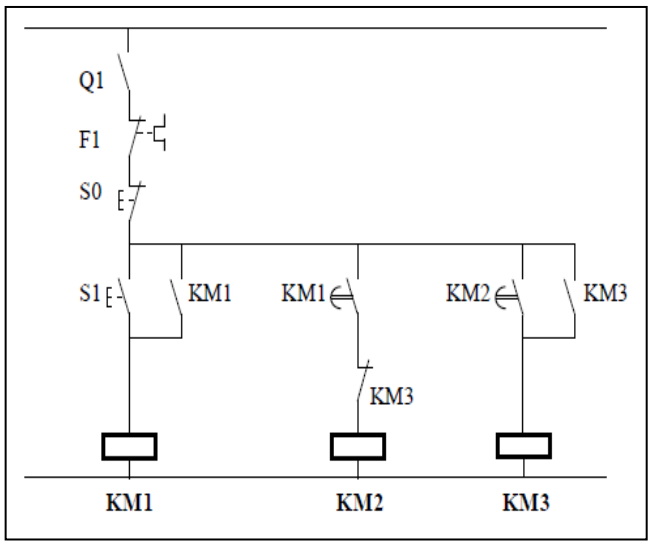
Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à rotor bobiné dont les enroulements sont couplés en Y, et les trois sorties sont soudés à des bagues fixées sur l'arbre du moteur auxquels on peut insérer des résistances à l'aide de balais frotteurs.



Ce démarrage consiste à alimenter le stator du moteur par la tension nominale et éliminer les résistances rotoriques en plusieurs temps (3 temps au minimum).

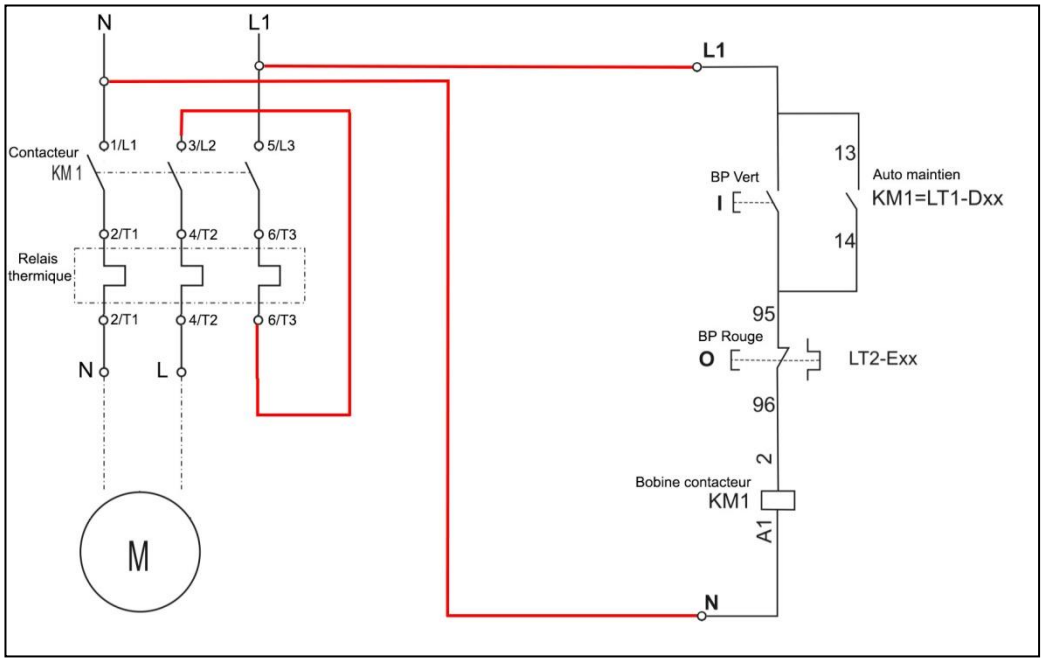
- **1er temps :** On insère la totalité des résistances dans les enroulements du rotor.
- **2ème temps :** On diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances insérées.
- **3ème temps :** On élimine toutes les résistances rotoriques en court-circuitant les enroulements du rotor.





4.2 Démarreurs pour moteurs monophasés

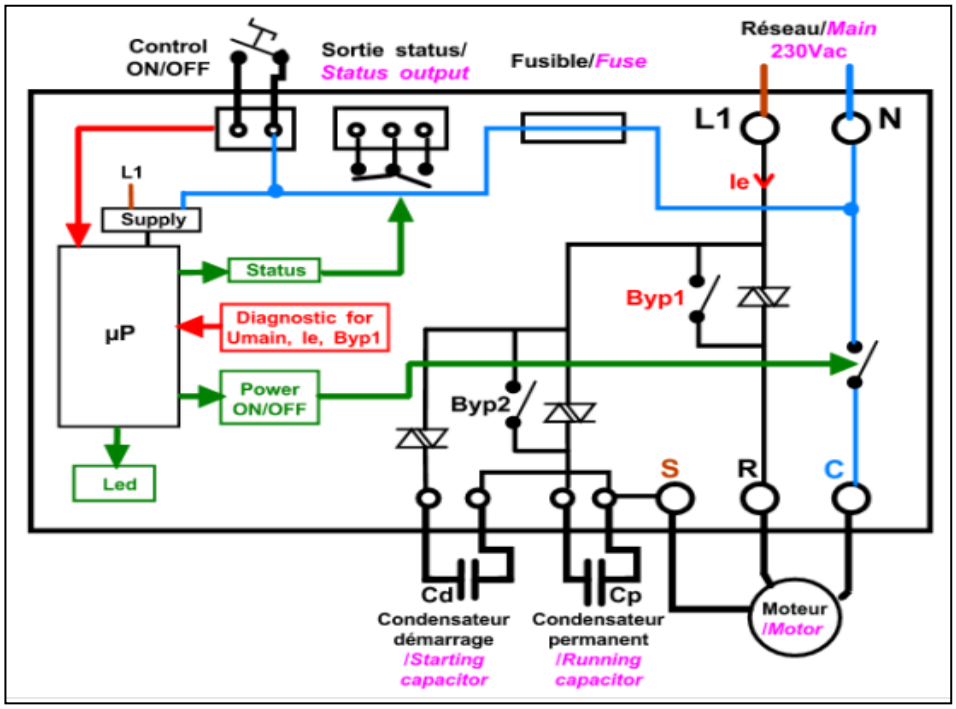
Les moteurs monophasés présentent habituellement une puissance inférieure à 7.5 kW. Les démarreurs vont du simple interrupteur à contacts secs pour les petits moteurs jusqu'au démarreur magnétique pour les moteurs plus puissants.



Exemple d'un démarreur magnétique pour moteur monophasé

Les démarreurs à semi-conducteurs peuvent servir à faire démarrer les moteurs sans appel de courant afin de limiter le courant au démarrage et également de procurer des fonctions de variation de vitesse. Ce type de démarreur convient particulièrement aux applications où on emploi de moteurs de puissance élevée sur des lignes monophasées de puissance restreinte.

Ci-dessous un démarreur électronique pour moteur monophasé. Après avoir fermé l'interrupteur de commande (control), une rampe de démarrage s'effectue. A la fin de la rampe, les thyristors sont bypassés par les relais électromécaniques. La fonction bypass permet de supprimer la dissipation thermique émise par les thyristors.



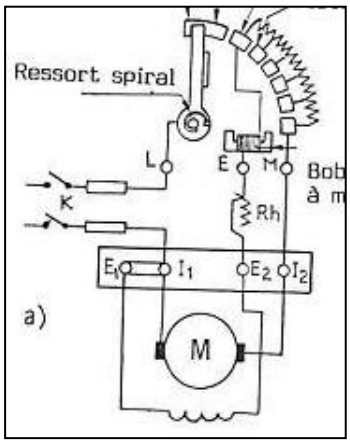
Exemple d'un démarreur à semi-conducteurs pour moteur monophasé

4.3 Démarreurs pour moteurs c.c.

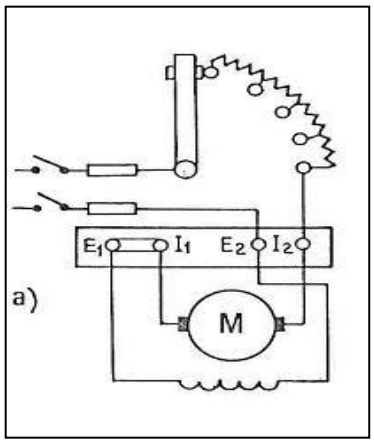
La résistance d'induit de la plupart des moteurs c.c. étant très faible (de 0,05 à 0,5 ohm), et la force contre-électromotrice de l'induit étant nulle avant que celui-ci ne commence à tourner, il est indispensable d'installer une résistance de démarrage montée en série avec l'induit d'un moteur c.c. pour limiter le courant de démarrage à une valeur raisonnable. Dès que l'induit commence à tourner, la force contre-électromotrice augmente et s'oppose à la tension appliquée, ce qui entraîne une diminution du courant dans l'induit.



Rhéostat de démarrage



Cas moteur shunt



Cas moteur série

Lorsque le moteur a atteint sa vitesse normale et que la pleine tension est alors appliquée à l'induit, la résistance extérieure raccordée en série avec l'induit va diminuer progressivement ou être éliminée. La commande de la résistance de démarrage d'un moteur c.c. peut être effectuée manuellement par un opérateur ou bien au moyen d'un dispositif de démarrage automatique dont il existe plusieurs types.

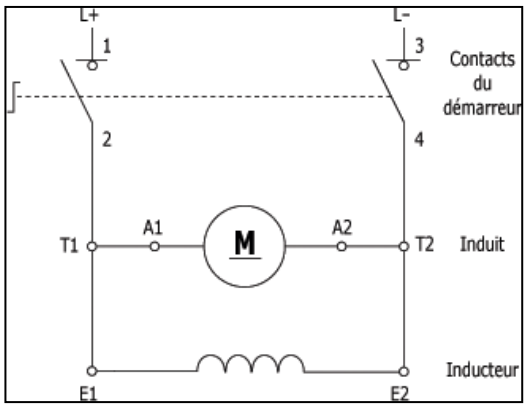
Les moteurs à courant continu de faible puissance peuvent être connectés directement à la source d'alimentation, donc à pleine tension, du fait que le courant et le couple du démarrage sont faibles.

Il existe deux types de démarrage à pleine tension :

4.3.1 Le démarrage manuel

Le démarrage manuel convient aux moteurs de puissance allant jusqu'à une dizaine de kW. Les démarreurs manuels sont généralement constitués d'un interrupteur sectionneur. Ces démarreurs sont contenus dans un boîtier. La figure suivante vous montre un démarreur manuel.





En tournant la poignée du démarreur manuel de la position O à la position I, on ferme les contacts placés dans le circuit de puissance. Le moteur démarre.

4.3.2 Le démarrage à contacteur.

Les démarreurs à contacteur sont les démarreurs de moteurs à pleine tension les plus fréquemment employés en industrie. Ci-dessous le Schéma d'un démarreur à contacteur non inverseur. Le moteur ne tournera que dans un sens de rotation.

Lorsqu'on appuie sur le bouton-poussoir S2 de marche, on alimente la bobine KM1 du contacteur, ce qui ferme les contacts KM1 de puissance et le contact auxiliaire KM1. Ainsi, le moteur démarre.

Pour arrêter le moteur, on appuie sur le bouton-poussoir S1 d'arrêt, ce qui coupe l'alimentation de la bobine KM1 qui, à son tour, relâche les contacts principaux, coupant l'alimentation du moteur.

Contrairement au démarreur manuel, lorsque l'alimentation est rétablie, le démarreur à contacteur ne permet pas au moteur de redémarrer tout seul. Pour mettre le moteur en marche, il faut donc appuyer de nouveau sur le bouton-poussoir S2 de marche.

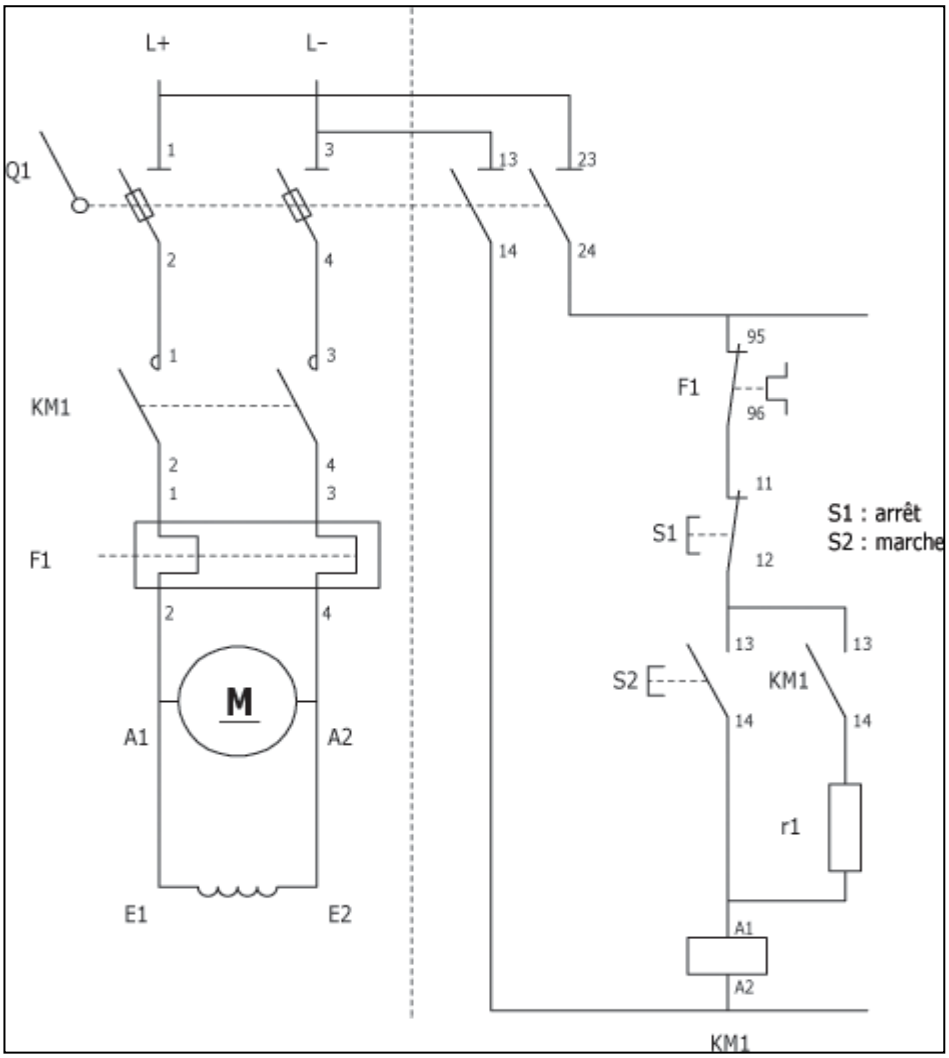


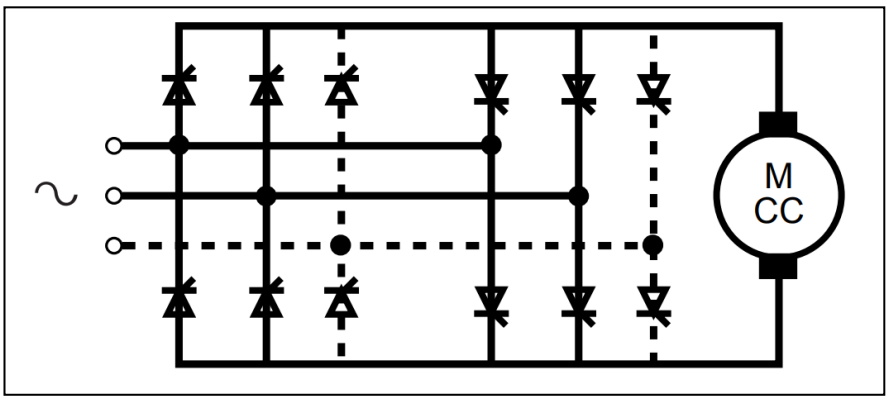
Schéma d'un démarreur à contacteur non inverseur

Une autre façon de démarrer les moteurs c.c. fait appel à des démarreurs à tension réduite à semi-conducteurs qui limitent les courants d'appel. Ce type de commande est particulièrement répandu dans les applications où l'on a besoin d'une commande de variation de la vitesse.

L'excitation est réglée par un dispositif électromécanique ou par un système statique (amplificateur magnétique ou régulateur électronique). Ce dispositif est aujourd'hui totalement abandonné au profit des variateurs de vitesse à semi-conducteurs qui réalisent de manière statique les mêmes opérations avec des performances supérieures.

Le circuit de puissance est un redresseur. La tension à délivrer devant être variable, ce redresseur doit être du type contrôlé, c'est-à-dire comporté des composants de puissance dont la conduction peut être commandée (thyristors).

Ci-après le schéma de principe d'un variateur avec inversion de marche et freinage par récupération d'énergie pour un moteur à courant continu.



5. Freinage des moteurs

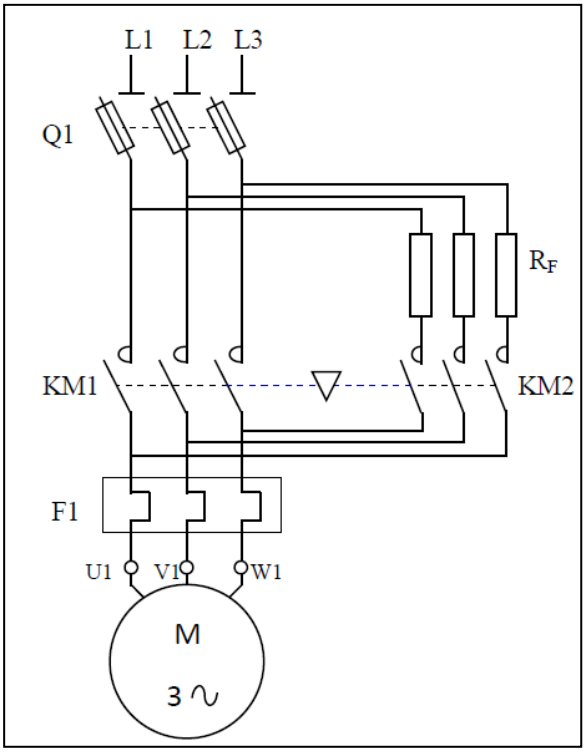
La méthode la plus courante pour arrêter un moteur consiste à interrompre la tension d'alimentation et de laisser le moteur et la charge parvenir graduellement à l'arrêt en roue libre. Dans certaines applications cependant, le moteur doit être arrêté plus rapidement ou maintenu en position au moyen d'un dispositif de freinage.

5.1 Freinage électrique

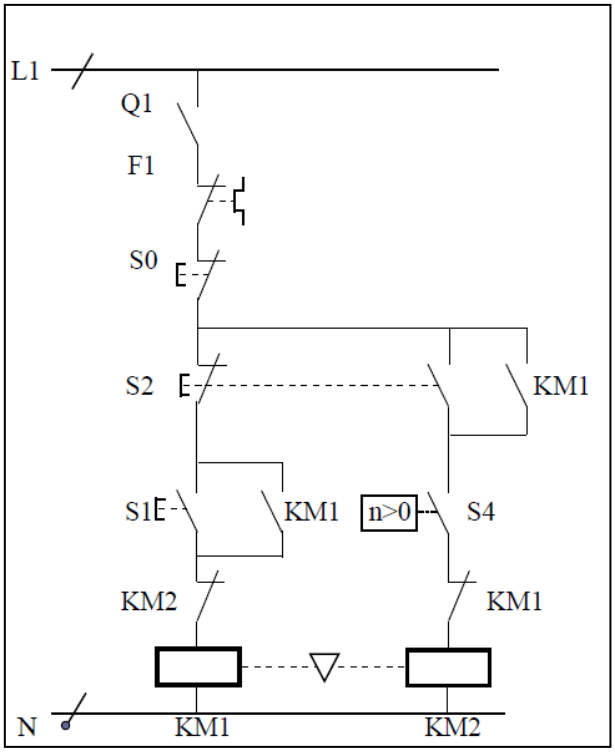
Le freinage électrique utilise les enroulements du stator pour engendrer un couple de freinage. L'énergie cinétique du rotor et de la charge est dissipée en chaleur dans les barres du rotor du moteur. Les deux types de freinage électrique sont le freinage par inversion de phases et le freinage rhéostatique.

5.1.1 Frein à contre-courant

Le freinage par inversion de phases ou à contre-courant assure l'arrêt très rapide d'un moteur asynchrone en le raccordant de façon à provoquer une inversion du sens de rotation pendant son fonctionnement. Pour éviter que le moteur ne tourne en sens inverse après qu'il se soit arrêté, l'alimentation est interrompue au moyen d'un détecteur de vitesse nulle.



Circuit de puissance



Circuit de commande

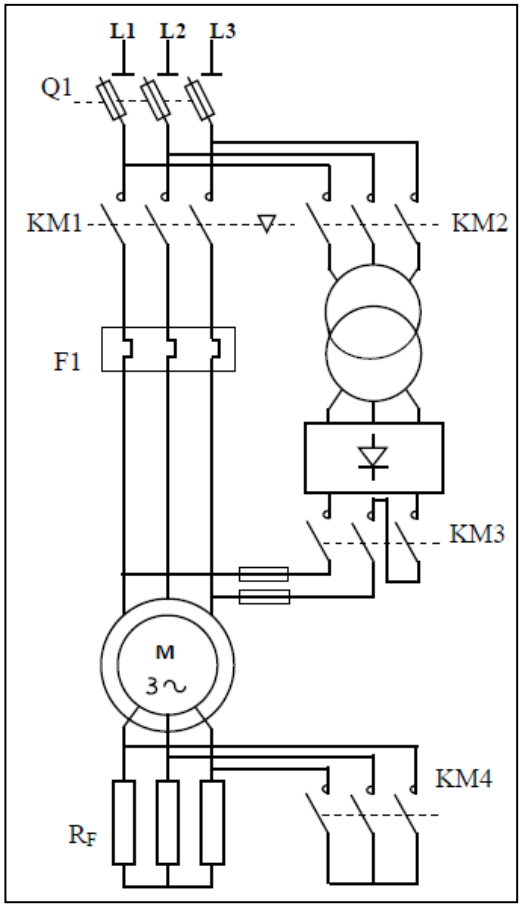
Le changement de sens de rotation, moteur lancé, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator.

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.

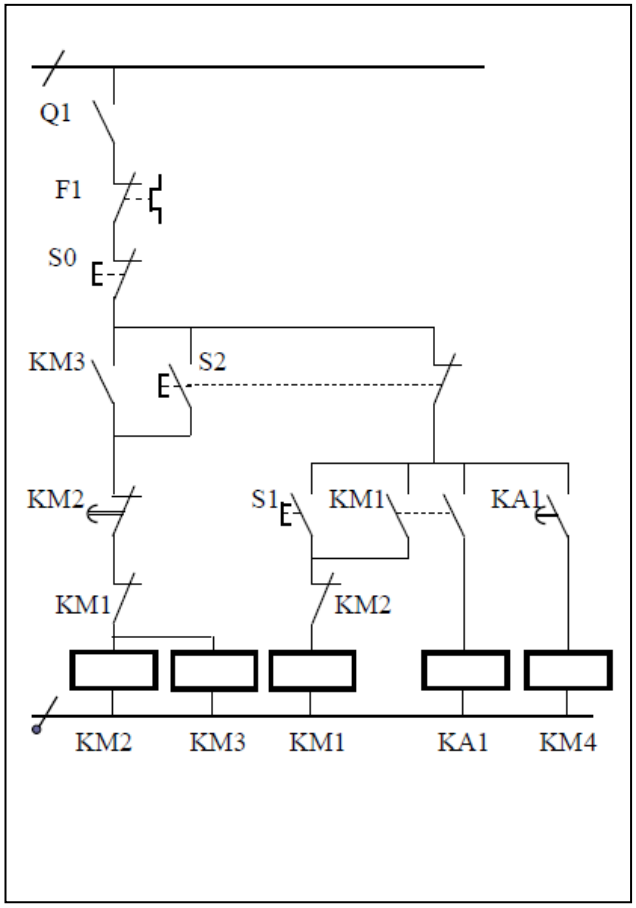
5.1.2 Le freinage rhéostatique

Le freinage rhéostatique est assuré par interruption de l'alimentation c.a. du moteur et par l'application d'un courant continu à l'une des phases du stator. Le champ tournant est remplacé ainsi par un champ fixe (créé par la source de tension redressée) qui provoque le ralentissement du rotor.

- **Avantage** : pas de risque de démarrage dans l'autre sens.
- **Inconvénient** : il faut couper le courant dans le stator pour éviter l'échauffement.



Circuit de puissance



Circuit de commande

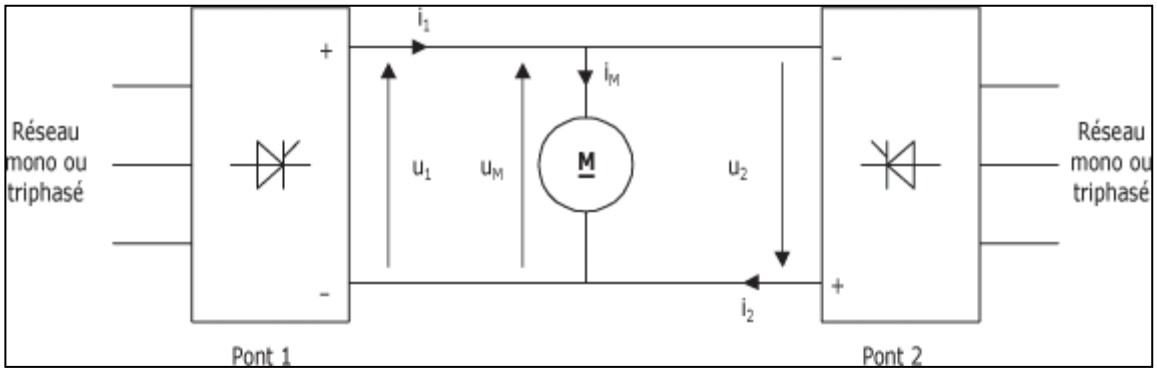
Ni le freinage par inversion de phases, ni le freinage rhéostatique ne peuvent maintenir le moteur en position immobile après l'arrêt.

5.1.3 Freinage par récupération

Le freinage par récupération est une méthode de ralentissement d'un moteur jusqu'à l'arrêt en le transformant temporairement en génératrice lorsqu'il reçoit une commande d'arrêt.

Comme nous l'avons vu pour le freinage rhéostatique, pendant le freinage par récupération d'énergie, le moteur fonctionne en génératrice ; seulement au lieu de perdre l'énergie de freinage dans des résistances, on la récupère sur le réseau d'alimentation.
Cette forme de freinage convient bien à la traction électrique (train, trolley, métro…) où les masses à freiner ou à ralentir sont importantes.

Pour ce fonctionnement, il est nécessaire d'associer deux ponts complets monophasés ou triphasés tête bêche (figure suivante).



Montage des ponts pour un fonctionnement en moteur et freinage dans les deux sens de rotation.

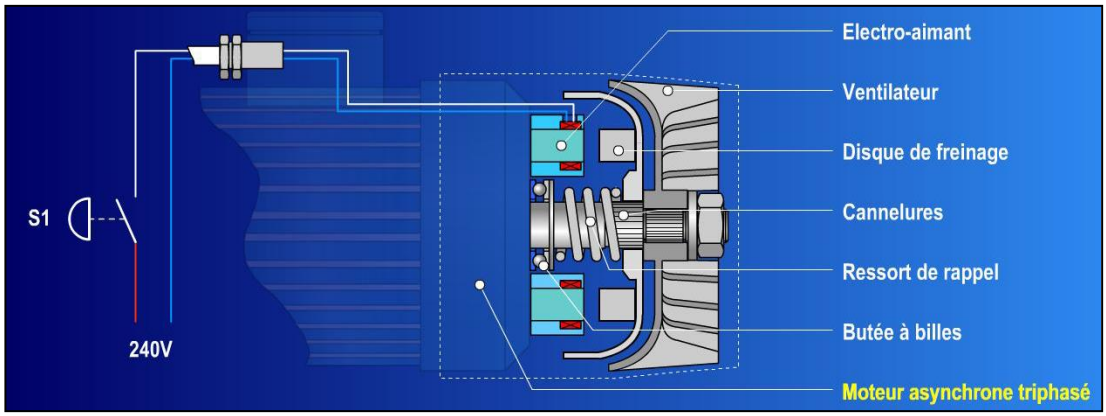
5.2 Freinage mécanique

Le freinage mécanique désigne les dispositifs externes au moteur et qui engendrent un couple de freinage. La plupart de ces dispositifs font appel au frottement dans un dispositif de freinage à tambours ou à disques et sont pourvus de ressorts et déclenchés par un solénoïde ou un moteur.

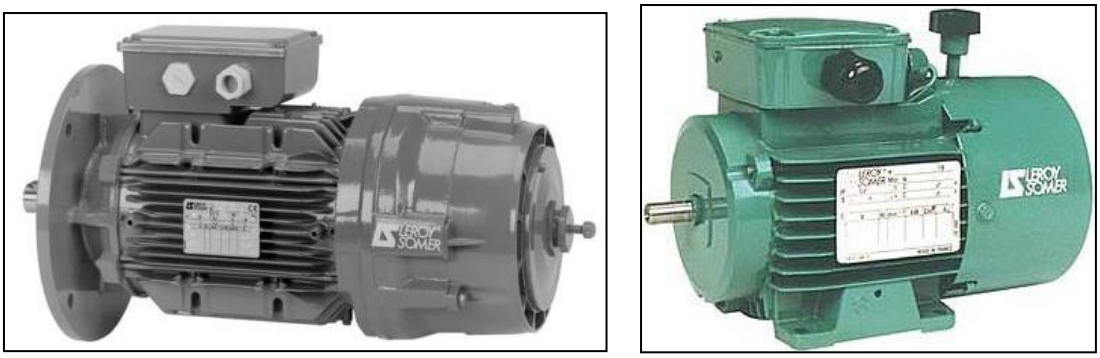
Ces dispositifs ont la capacité de maintenir un moteur en position immobile.

5.2.1 Moteur frein à appel de courant

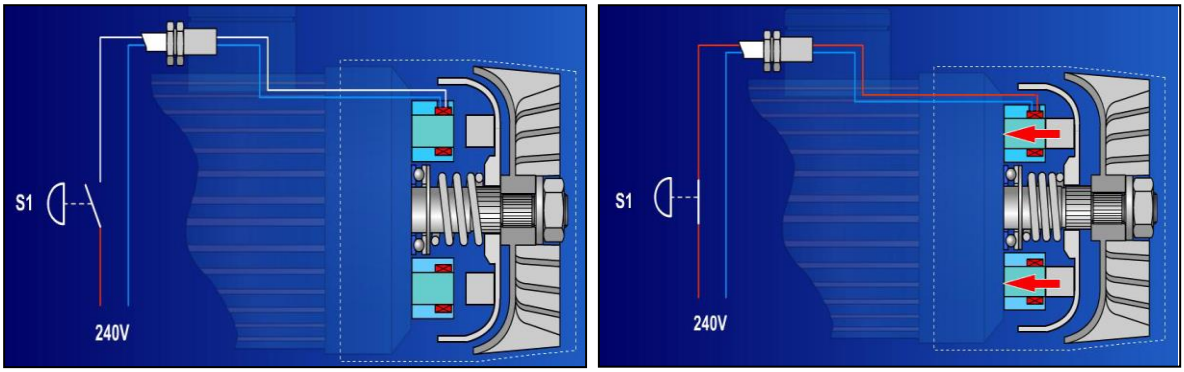
Dans le cas du frein à appel de courant, c'est l'alimentation du frein qui provoque le freinage du moteur comme le montre le schéma ci-dessous. Cette représentation simplifiée montre les parties fixes (en bleu) et les parties tournantes (en gris).



Frein à appel de courant



Modèles des moteurs freins



Fonctionnement frein à appel de courant

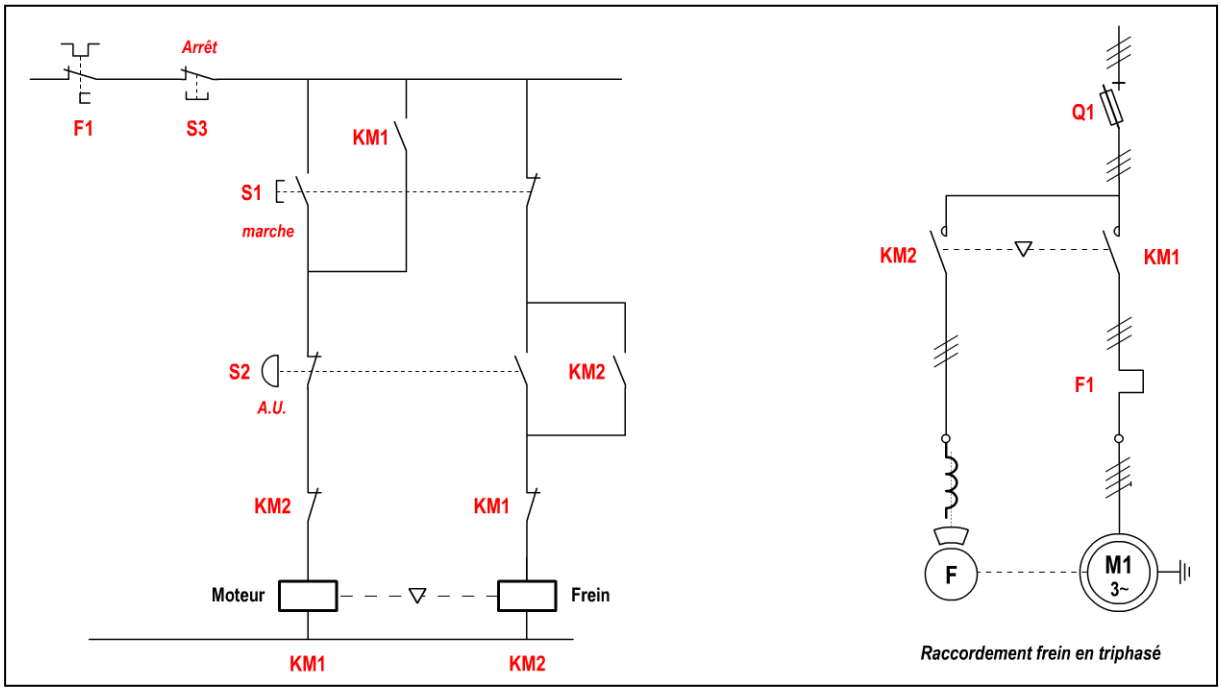
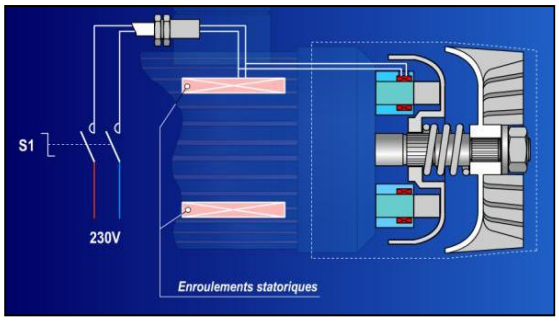


Schéma de commande et de puissance Frein à appel de courant

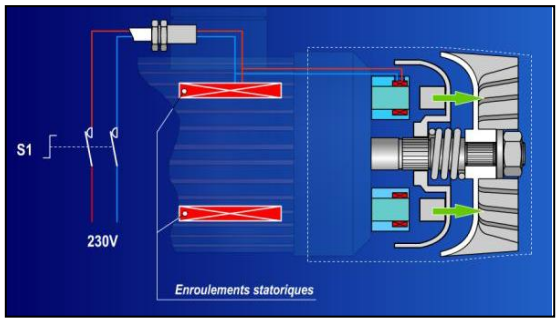
La mise en fonctionnement ou l'arrêt normal du moteur se fait par respectivement S1 et S3. La mise en fonctionnement du frein se fait par l'intermédiaire de S2 (et KM2). Le frein doit, en plus, être auto-maintenu et s'arrêter en cas de redémarrage du moteur.

5.2.2 Moteur frein à manque de courant

Dans le cas du frein à manque de courant, c'est la non alimentation du frein et du moteur qui provoque le freinage.

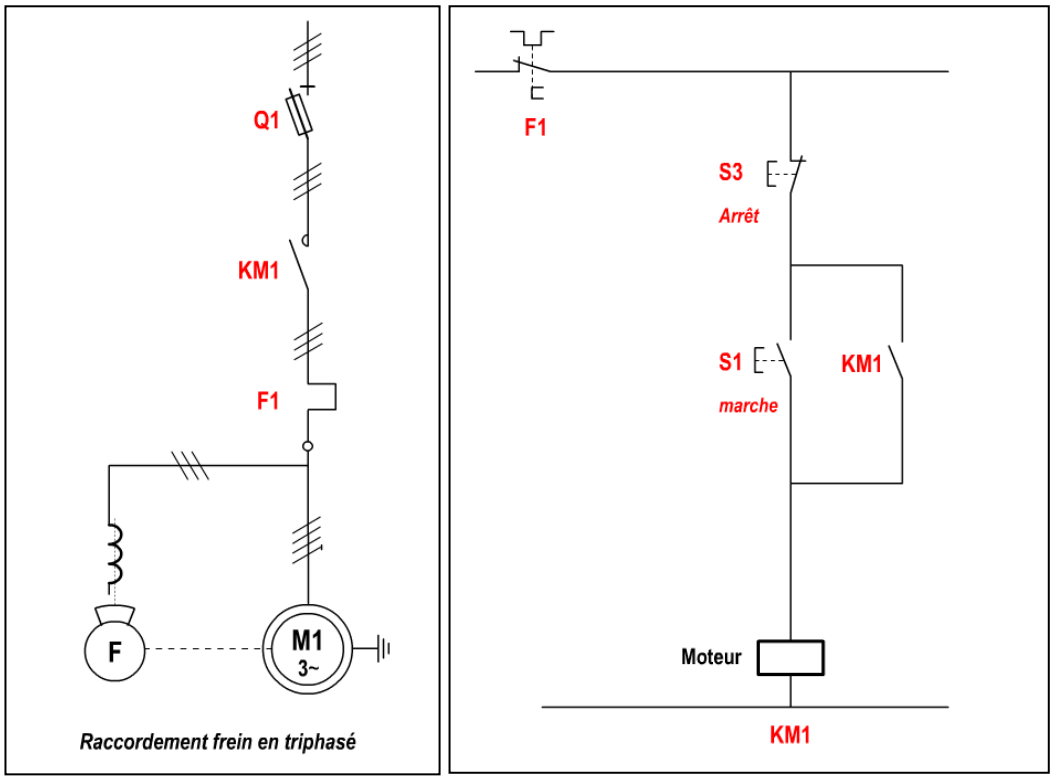


Moteur à l'arrêt et frein actif



Moteur en fonctionnement

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.



5.2.3 Freinage par courant de Foucault

Le frein par courant de Foucault est un dispositif électromécanique qui assure un couple de freinage en induisant des courants de Foucault dans un tambour par l'intermédiaire d'un rotor électromagnétique relié à l'arbre du moteur. La force de freinage peut être commandée par la variation du courant du rotor.

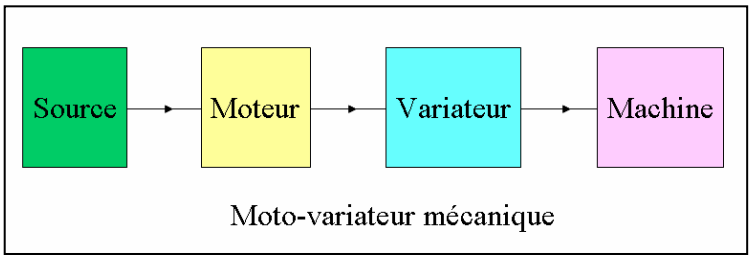

Frein à courant de Foucault modèle 1 WB 65-HS

Les freins par courant de Foucault ne peuvent maintenir un moteur en position immobile

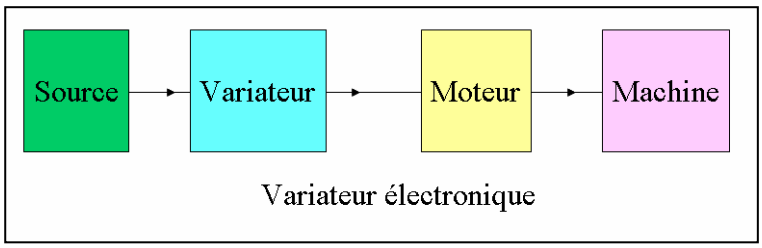
6. Régulation de la vitesse des moteurs

6.1 Introduction

Dans l'univers industriel, le variateur électronique de vitesse côtoie d'autres procédés issus des technologies hydrauliques, mécanique, électromécanique. Le choix de la technologie la plus appropriée est lié aux caractéristiques de la machine à équiper et aux performances attendues. La position du variateur par rapport au moteur constitue l'une des principales distinctions entre les moto-variateurs mécaniques et électroniques.



Moto-variateur mécanique



Variateur électronique

6.2 Les moto-variateurs mécaniques

6.2.1 Variateur hydraulique

Il se compose dans un même bâti, d'une pompe et d'un moteur hydraulique. La variation de vitesse est obtenue par le réglage du rapport entre le débit de la pompe et le débit absorbé par le moteur.



6.2.2 Variateur mécanique

Transmission poulies et courroies, la variation de vitesse est obtenue par la modification du diamètre des poulies, gamme de 1 à 6 environ.

Ci-contre un variateur mécanique à poulie variable.

6.2.3 Coupleur à courants de Foucault

C'est un ralentisseur. La commande du courant d'excitation du coupleur modifie le glissement entre l'arbre moteur et l'arbre d'utilisation, cela provoque la variation de vitesse, gamme de 1 à 15.

6.2.4 Coupleur à poudre

Dans ce coupleur, le glissement dépend de l'homogénéisation de la poudre magnétique située entre deux disques, gamme de 1 à 5.

6.2.5 Groupe WARD-LEONARD

C'est l'association d'un moteur asynchrone d'entraînement à vitesse pratiquement fixe, d'une génératrice à courant continue liée mécaniquement au moteur d'entraînement et délivrant une tension variable, et d'un moteur à courant continu alimenté par la génératrice. La gamme de vitesse est de 1 à 100.

6.3 Groupe tournant associé à de l'électronique de puissance

C'est l'objet de l'étude suivante. Outre les applications où pour régler la vitesse est indispensable, l'utilisation de la variation électronique permet:

- par la possibilité de limiter le couple moteur à une valeur prédéterminée de supprimer les risques de casse de matériel.
- par la réduction de l'intensité de démarrage elle autorise un appareillage de moindre calibre.
- l'électronique permet de travailler sur toute la gamme de vitesse avec rendement énergétique bon.

Les dispositifs de régulation de vitesse s'inscrivent dans quatre grandes catégories :

1. dispositifs pour moteurs à plusieurs vitesses.
2. commande des moteurs à induction à rotor bobiné
3. dispositifs de commande de moteurs c.c.
4. entraînements à vitesse variable pour les moteurs asynchrones et les moteurs synchrones.

6.3.1 Moteurs à plusieurs vitesses

Les moteurs asynchrones dotés d'enroulements pour plusieurs vitesses se prêtent aux applications nécessitant jusqu'à quatre vitesses distinctes. La vitesse est déterminée en raccordant les enroulements suivant différents configurations; elle est essentiellement constante pour chaque montage. Ces moteurs sont souvent employés pour les ventilateurs et les pompes.



Moteur triphasé 2 vitesses 3000/1500 tr/min

En général, ces moteurs n'offrent pas un bon rendement à basse vitesse.

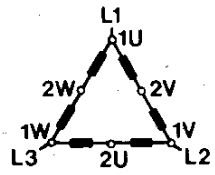
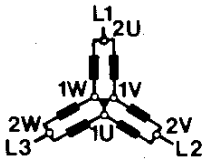
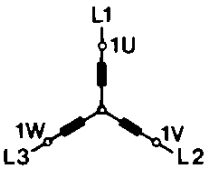
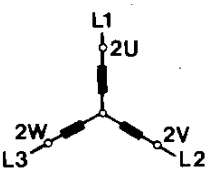
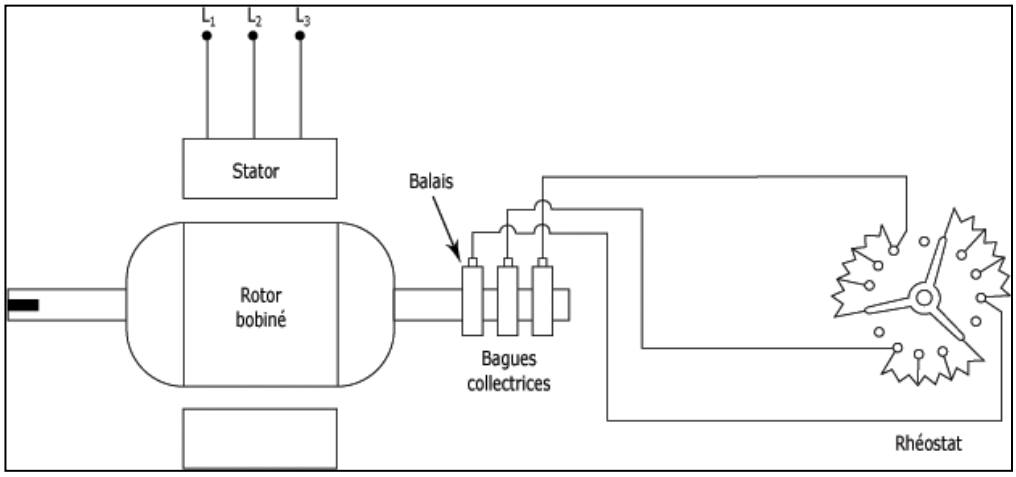
Application	Moteur 2 vitesses avec 1 enroulement commutable (1)		2 enroulements séparés	
	Vitesse			
	Petite	Grande	Petite (3)	Grande (3)
Couple constant				

Tableau de connexion d'un moteur dahlander a plusieurs vitesses

6.3.2 Moteurs à rotor bobiné

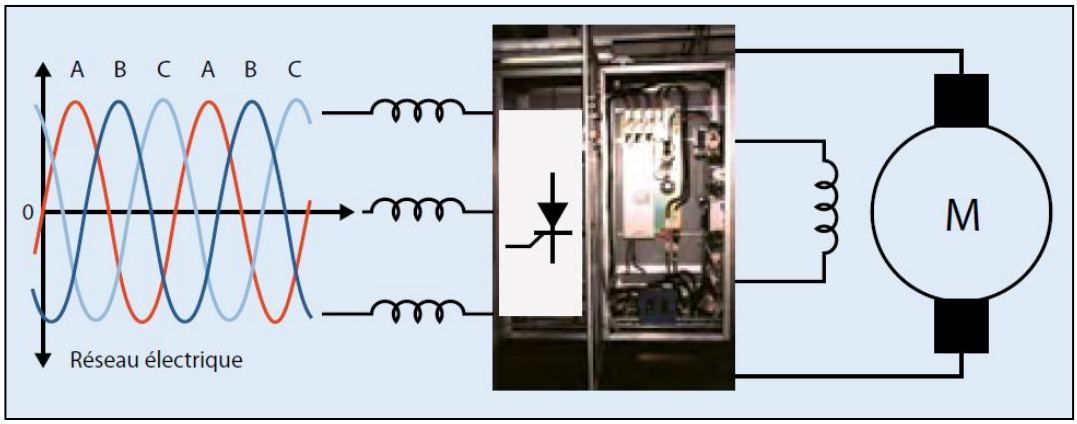
Les caractéristiques couple-vitesse d'un moteur asynchrone à rotor bobiné peuvent être modifiées dans une large mesure en ajoutant des résistances externes au circuit du rotor par le biais de bagues collectrices. L'énergie tirée du circuit du rotor est soit dissipée en chaleur, soit récupérée et convertie en énergie électrique ou mécanique utilisable.

La figure suivante montre un moteur à rotor bobiné raccordé à un rhéostat extérieur servant à limiter le courant au démarrage et à régler la vitesse de marche.



6.3.3 Moteurs à courant continu

Le moteur c.c. est le moteur le plus simple à commander car sa vitesse est proportionnelle à la tension d'induit. On peut donc faire varier cette vitesse sur une très vaste gamme. La tension c.c. peut s'obtenir d'une alimentation c.a. convertie par redresseurs commandés.



Variateur de vitesse à courant continu

Dans les premiers variateurs de vitesse électroniques à courant continu, le dispositif de commande utilisé était le thyristor, un dispositif vulnérable aux perturbations du réseau électrique.

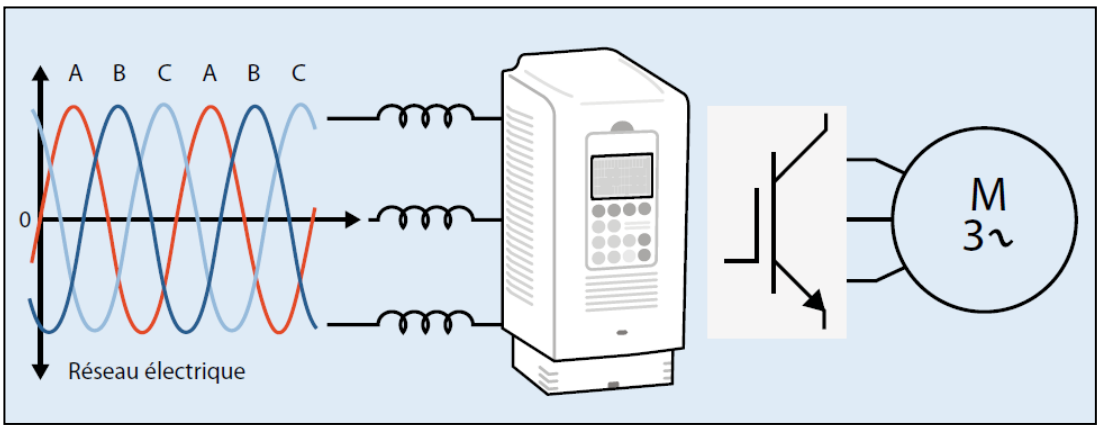
6.3.4 Moteurs asynchrones et moteurs synchrones.

Depuis, l'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteurs à courant alternatif.

Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT).

Les entraînements à fréquence variable (EFV) sont utilisés dans les cas où l'on veut contrôler la vitesse (moteurs asynchrone et moteurs synchrones) et éliminer le glissement (moteurs asynchrone).

Le principe de fonctionnement des entraînements à fréquence variable (EFV) consiste à faire varier la fréquence de la tension d'alimentation c.a. appliquée au moteur à l'aide de dispositifs à semi-conducteurs. La tension y est également contrôlée de façon à maintenir constant le rapport tension sur fréquence de sortie. Les entraînements EFV sont devenus les dispositifs privilégiés permettant d'obtenir un fonctionnement à vitesse variable, car ils sont relativement peu coûteux et d'une très grande fiabilité.



Variateur de vitesse à fréquence variable

Chapitre III

Installation, inspection et maintenance des machines électriques

1. Introduction.

Le moteur électrique est un moteur robuste, qui nécessite en réalité peu d'entretien. Cependant, pour garantir la durée de vie et les performances des moteurs, l'étape de la maintenance préventive ou correctrice sont des passages obligés. Assurer une maintenance régulière garantit au moteur :

- De meilleures performances : un moteur bien entretenu assure des performances optimales pour l'entraînement de machines.
- Une consommation d'énergie réduite : l'entretien de moteur va jouer sur la consommation.
- Une plus grande durée de vie : l'achat d'un moteur électrique est un vrai investissement, le moteur doit donc être utilisable le plus longtemps possible et dans les meilleures conditions. Et pour booster la durée de vie de moteur, rien de plus efficace qu'un entretien régulier.
- Moins de pannes : faire contrôler et entretenir le moteur permet d'éviter les pannes et l'arrêt des machines qu'il entraîne. Il est donc primordial de vous assurer de son bon fonctionnement et d'effectuer les réparations nécessaires avant qu'il ne soit trop tard.

1.1 La maintenance préventive

La maintenance préventive de moteur électrique permet de contrôler et d'entretenir le moteur, avant que certains problèmes n'apparaissent. Régulièrement il faut :

- Surveiller les vibrations ou déformations, qui peuvent provenir de roulements usés, d'un mauvais alignement, de mauvaises fixations…
- Contrôler l'isolation du bobinage, pour vérifier que ce dernier est bien protégé
- S'assurer de la bonne ventilation du moteur, notamment que le ventilateur fonctionne correctement (qu'il ne soit pas encrassé) et que rien ne l'obstrue
- Graisser les roulements si cela est nécessaire

Les intervalles d'inspection et d'entretien dépendent des conditions effectives de fonctionnement (charges, nombre de démarrage…) et des conditions environnementales (présence de poussière…)

1.2 La maintenance corrective

La maintenance corrective intervient si un problème est détecté sur le moteur. Parmi les problèmes mécaniques et électriques courants des moteurs, on retrouve la détérioration du condensateur de démarrage, la détérioration du bobinage, les défaillances des roulements, des surchauffes dues à une mauvaise ventilation…

2. Installation des machines électriques

Il faut accorder une attention toute particulière aux conditions d'installation qui sont souvent à l'origine de dommages et d'arrêts des installations.

2.1 Avant l'installation



Avant d'entamer la procédure d'installation vérifier si :

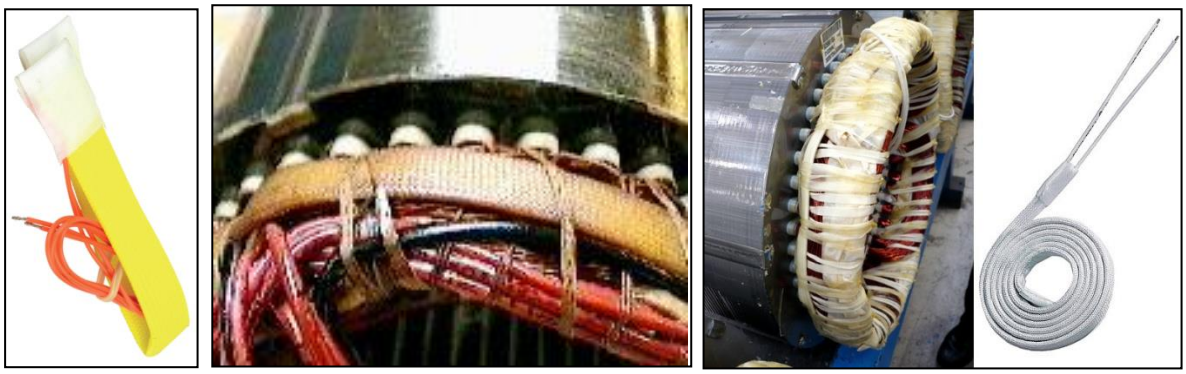
1. le moteur électrique n'est pas visiblement endommagé (dommages dérivant du transport ou de l'entreposage);
2. les données de la plaque signalétique sont en adéquation avec les caractéristiques d'utilisation du moteur et avec l'application à laquelle il est destiné; que la tension d'alimentation correspond à la tension du réseau; la tolérance admise est de ±10% pour les tensions 230/400V 50Hz et 265/460V 60Hz, de ±5% pour des tensions autres et/ou des moteurs monophasés;
3. le degré de protection IP indiqué sur le moteur électrique est approprié au lieu d'installation conformément à la norme.

Dans les installations en plein air, protéger le moteur du rayonnement solaire direct et, si possible, des intempéries;

4. la température ambiante est comprise entre -15°C et +40°C; que l'altitude du lieu d'installation ne dépasse pas 1000 mètres. Des conditions de température ambiante et/ou des altitudes supérieures comportent l'application d'un facteur de correction de puissance.

Si l'environnement est caractérisé par de fortes amplitudes thermiques où la formation de condensation est plus probable, il est conseillé de demander les réchauffeurs anti-condensation et/ou les orifices d'évacuation de la condensation.

Ci-dessous deux modèles des rubans chauffants anti-condensation pour moteurs électriques ainsi que leurs installations.



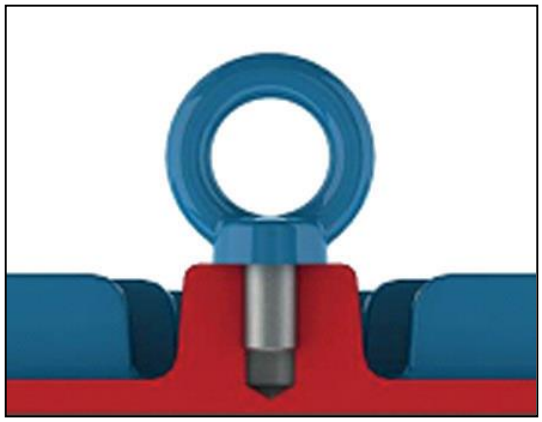
La résistance chauffante doit être fixée sur le chignon du bobinage moteur avant imprégnation. La fixation peut se faire par laçage (prévoir le retrait du matériau de laçage pendant l'imprégnation) ou par application d'un ruban adhésif isolant approprié (appliqué sur toute la longueur et la largeur de la résistance avant imprégnation du vernis).

La résistance est généralement dimensionnée pour s'ajuster autour du stator du moteur, couvrant au moins 70% de la circonférence.

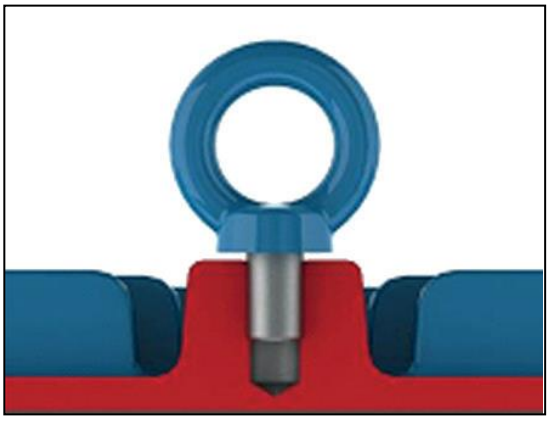
Si la résistance choisie est plus longue que la circonférence, des précautions doivent être prises pour que les 2 tours (au niveau du chevauchement soient séparés d'au moins 5 mm pour éviter les points chauds.

Ces résistances de réchauffage, elles seront toujours mises en fonctionnement pendant la période de stockage ou lorsque le moteur installé est hors service.

5. les anneaux de levage sont serrés correctement et que les épaulements des anneaux sont en contact avec la base à soulever.



Serrage correct de l'anneau de levage



Serrage incorrect de l'anneau de levage.

Lors du levage du moteur, utiliser les points de levage prévus; les œillets présents sur les moteurs servent au levage du moteur uniquement et non pas à celui d'autres machines couplées; contrôler que les organes devant être connectés au moteur sont bien en adéquation avec les données du moteur électrique.



Pour les moteurs munis d'anneaux de levage inclinés, comme ci-contre, une barre d'écartement doit être utilisée pour maintenir les éléments de levage (chaîne ou corde) en position verticale et, ce faisant, prévenir tout endommagement de la surface du moteur.



Les moteurs fournis sur des palettes doivent être soulevés à partir de la base de palettes avec des appareils de levage supportant complètement le poids des moteurs.

Dans tous les cas, les moteurs individuellement emballés ne devraient jamais être soulevés par l'arbre ou par l'emballage.

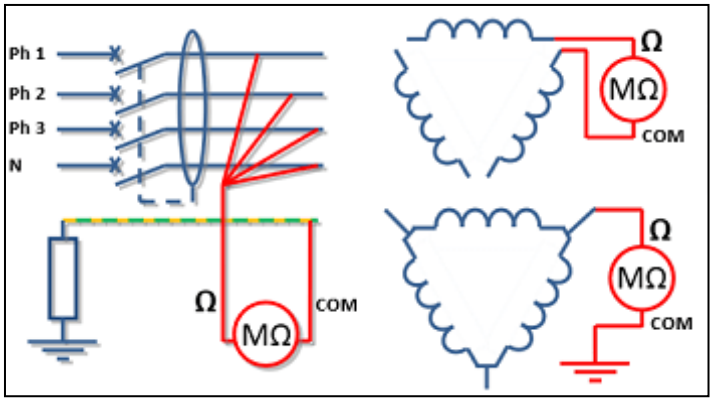
2.2 Travaux préalables

2.2.1 L'arbre moteur

1. retirer toute cale ou protection utilisées pour le transport (par ex. protection extrémité sortie arbre moteur) et s'assurer que l'arbre moteur tourne librement, à l'intérieur de son logement (pour les moteurs-freins, la vérification n'est possible qu'en agissant sur le levier de déblocage manuel, quand il est présent);
2. nettoyer soigneusement les extrémités de l'arbre pour éliminer toute trace de substance anticorrosion, contaminant ou autre similaire, à l'aide d'un solvant courant. Éviter que le solvant pénètre dans les paliers ou entre en contact avec les lèvres des bagues d'étanchéité, pour ne pas les endommager;

2.2.2 La résistance d'isolement

S'assurer notamment, après une longue période de stockage, que le moteur n'a pas absorbé d'humidité, en mesurant la résistance d'isolement qui doit être inférieure à 10MΩ à 20°C; il faut mesurer en appliquant une tension continue de 500V entre les phases vers la terre; les enroulements doivent être déchargés immédiatement après.



Si la résistance d'isolement n'est pas suffisante, il faut sécher le moteur au moyen d'air chaud ou bien en utilisant un transformateur d'isolement en raccordant les enroulements de chaque phase en série et en appliquant une tension alternée auxiliaire égale à 10-20% de la tension assignée, jusqu'à l'obtention d'une valeur de résistance suffisante.

Il est recommandé d'isoler et de tester chaque phase séparément. Cette procédure permet la comparaison de la résistance d'isolation entre chaque phase. Lors de la mesure d'une phase, les autres phases doivent être mises à la terre.

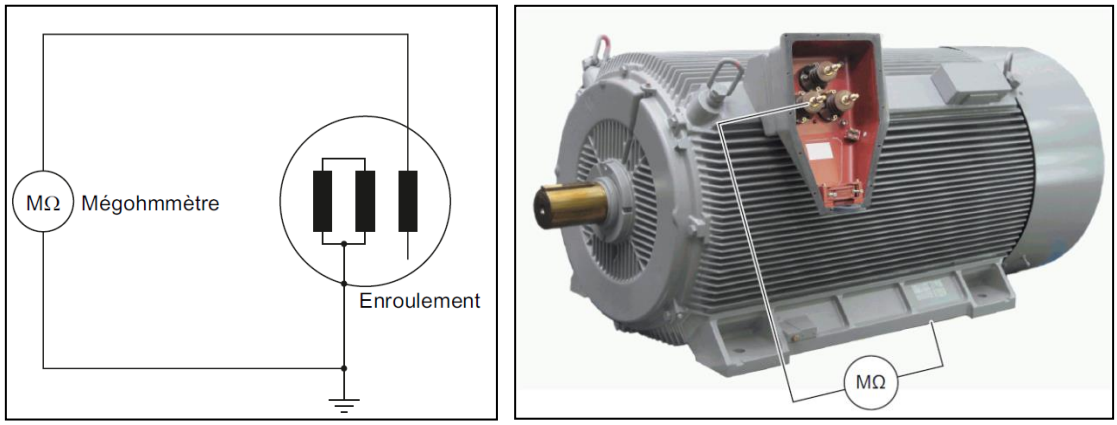


Schéma de principe de la mesure de résistance d'isolement

La mesure de toutes les phases évalue simultanément la résistance d'isolation à la terre, mais ne permet pas d'avoir la résistance d'isolation entre les phases.

Les câbles d'alimentation électrique, les interrupteurs, les condensateurs et autres appareils externes raccordés au moteur peuvent influencer la mesure de la résistance d'isolation. Tous les appareils externes doivent donc être débranchés et mis à la terre pendant la mesure de la résistance d'isolation.

2.2.3 Les paliers

a. <u>Paliers à roulement :</u>

Si les paliers sont oxydés, ils doivent être remplacés.

Si aucune oxydation n'est détectée, lubrifiez les paliers suffit.

Si le moteur est stocké pour une longue période, les paliers devront être remplacés avant le démarrage du moteur.





b. <u>Palier lisse :</u>

Si des moteurs à paliers lisses sont stockés pour une durée plus longue que l'intervalle recommandé, l'huile doit être renouvelée avant le démarrage de la machine. N'oubliez pas d'enlever les dessiccateurs quand vous videz l'huile du moteur et de refaire le plein d'huile neuve avant de démarrer la machine.

2.2.4 Condensateurs de démarrage

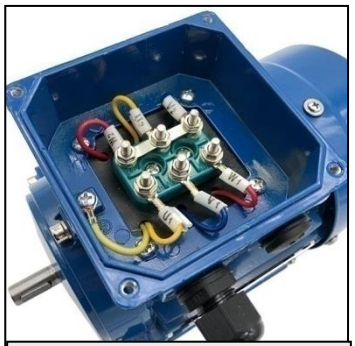
Si les moteurs monophasés sont stockés pour une longue période, il est recommandé de changer les condensateurs de démarrage avant de démarrer le moteur car ils perdent leurs caractéristiques.

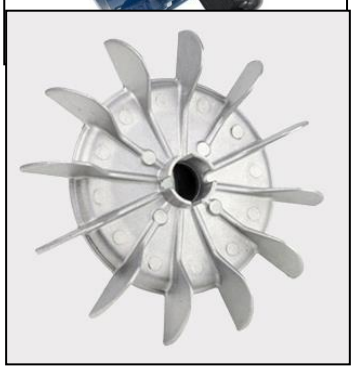
2.2.5 Boîte à bornes :

a. l'intérieur de la boîte de bornes doit être propre et sec.

b. les contacts doivent être correctement raccordés et sans corrosion.

c. les entrées de câbles doivent être bien hermétiques et le couvercle de la boîte de bornes doit être correctement monté en vue de garantir le degré de protection indiqué sur la plaque signalétique du moteur.





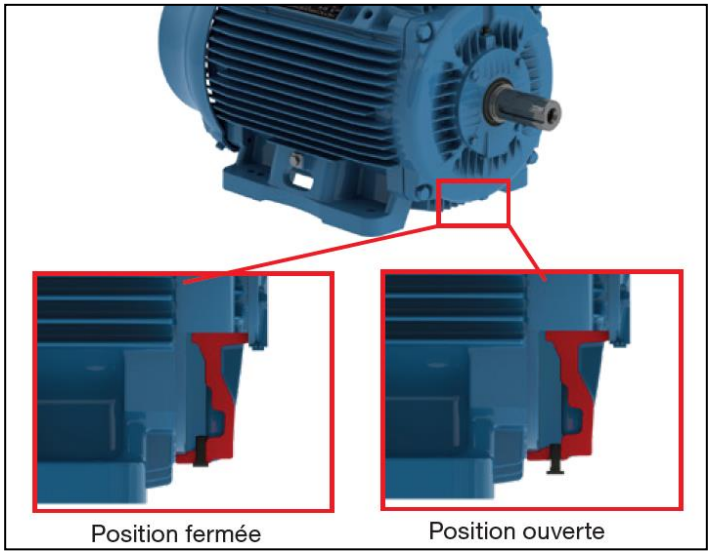
2.2.6 Refroidissement

Les ailettes de refroidissement, les ouvertures d'entrée et de sortie d'air doivent être propres et libres. Garantir une distance suffisante entre les ouïes d'entrée d'air et le mur. Prévoyez un espace suffisant pour exécuter le nettoyage.

2.2.7 Trou de purge

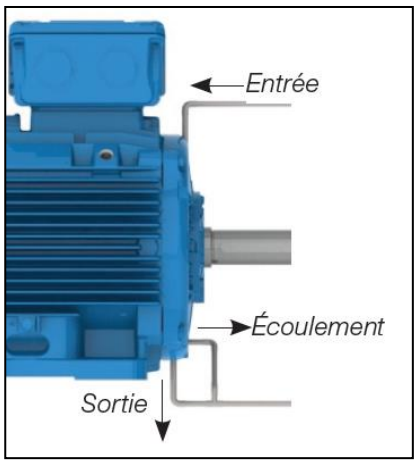
Le moteur doit toujours être placé de manière à ce que le trou de purge soit à la position la plus basse (S'il y a une flèche d'indication sur le drainage, ce dernier doit être installé de façon à ce que la flèche pointe vers le bas).

Les moteurs fournis avec des bouchons de purge en caoutchouc, filetés ou d'un autre type doivent être ouverts périodiquement pour vidanger l'eau condensée. Pour les environnements avec des niveaux de condensats élevés et le moteur avec le degré de protection IP55, les bouchons de vidange peuvent être montés en position ouverte comme ci-contre.



Pour les moteurs avec le degré de protection IP56, IP65 ou IP66, les bouchons de vidange doivent rester en position fermée (figure ci-dessus). Ils ne seront ouverts que lors des procédures de maintenance du moteur.

Le système de drainage des moteurs dotés du système de lubrification à brouillard d'huile doit être connecté à un système collecteur spécifique.



2.2.8 Recommandations supplémentaires :

a. Avant d'accoupler le moteur vérifiez son sens de rotation en le démarrant à vide.

b. Les moteurs montés verticalement avec le bout d'arbre vers le bas doivent être équipés d'une tôle parapluie pour les protéger des liquides ou des solides qui pourraient tomber sur les moteurs.

c. Les moteurs montés verticalement avec le bout d'arbre vers le haut doivent être équipés d'un déflecteur d'eau pour empêcher l'eau de pénétrer à l'intérieur du moteur.

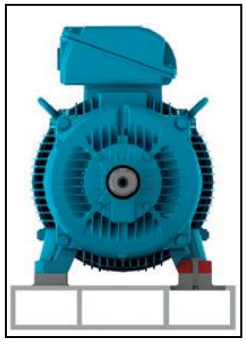
2.3 Procédure d'installation du moteur

2.3.1 Fondations

- monter le moteur sur une surface plane, rigide, dépourvue de vibrations et résistant aux déformations;
- Pour le dimensionnement des fondations veuillez prendre en compte les contraintes générées par la machine entraînée.
- Les moteurs peuvent être montés sur :

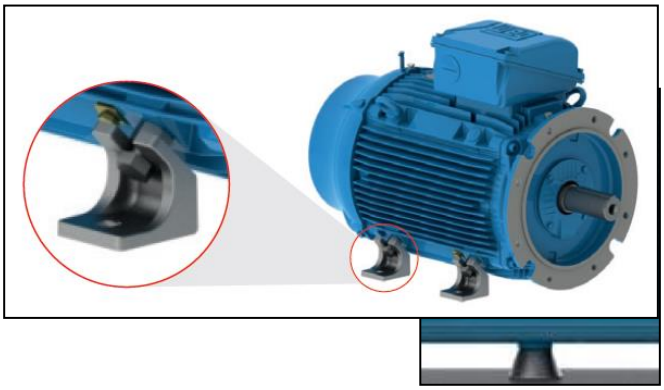
  Bases en béton : sont les plus utilisés pour les moteurs de grande taille;

  Bases métalliques : sont généralement utilisés pour les moteurs de petite taille.



2.3.2 Montage du moteur

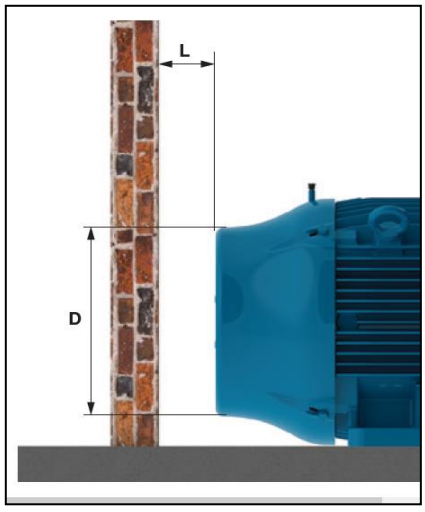
- Il est recommandé de fixer correctement le moteur électrique en fonction des masses, du type de montage et de l'exécution;
- En ce qui concerne les moteurs sans pattes fournis avec des dispositifs de transport, ces dispositifs doivent être retirés avant le démarrage de l'installation du moteur.



- si le moteur est de forme constructrice IEC B14, il faut serrer toutes les quatre vis de fixation dans la bride, même si elles ne sont pas nécessaires.
- Si la bride du moteur comporte des trous de passage taraudés, la longueur des boulons de montage ne doit pas dépasser la longueur du trou de passage taraudé de la bride du moteur. Ceci permet d'éviter d'endommager la tête de bobinage.
- Pour la fixation par brides, la longueur de filetage du boulon de montage devrait au moins correspondre à 1.5 fois le diamètre du boulon.
- Il faut bien équilibrer les machines. Les machines non équilibrées produisent des vibrations qui peuvent endommager le moteur.
- en cas d'installations verticales, il faut prévenir la chute de corps étrangers à l'intérieur des ouvertures de ventilation; dans ce cas, il est conseillé (il est obligatoire pour les moteurs-freins) d'utiliser un capot de ventilateur avec auvent;

Il faut que le moteur soit fixé de manière à permettre: la lecture des données de la plaque; l'inspection de la boîte à bornes; le nettoyage des compartiments moteur; une ventilation suffisante en évitant les étranglements dans les passages d'air et la pénétration de copeaux, de poussières ou de liquides et tous les cas qui risquent de compromettre une bonne évacuation de la chaleur.

S'assurer notamment qu'il y ait une distance suffisante entre les orifices du capot de ventilateur et d'éventuelles protections extérieures qui pourraient créer une barrière à une entrée normale de l'air de refroidissement. La distance minimale de sécurité par rapport au mur le plus proche (L) doit être d'au moins ¼ du diamètre du capot de ventilation (D).



En environnement particulièrement humide, installer si possible la boîte à bornes de manière à ce que l'entrée des câbles soit située vers le bas et qu'il y ait absence de toute condensation; en cas de présence d'orifices d'évacuation de la condensation, évacuer la condensation, replacer ensuite les bouchons de fermeture pour rétablir le degré de protection IP

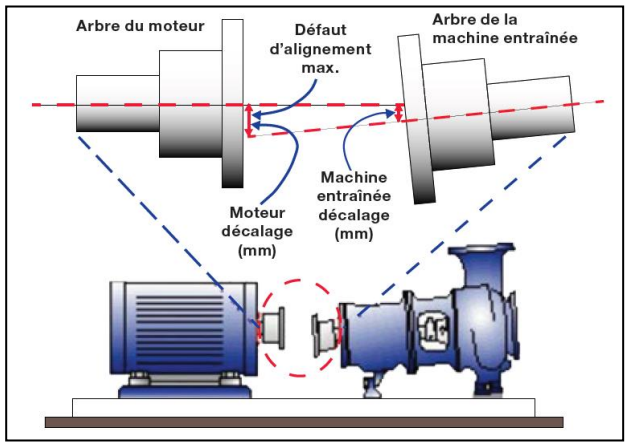
N'effectuer cette opération qu'en présence de réseau d'alimentation visiblement sectionné; en présence de réchauffeurs anti-condensation, s'assurer que le moteur n'est pas alimenté et qu'il ne tourne plus avant de les mettre en marche; il faut également s'assurer que la tension d'alimentation des réchauffeurs corresponde bien à la tension préconisée.

- pendant le montage, éviter tout endommagement des paliers, en utilisant comme repère l'arbre moteur après démontage du capot de ventilateur; ne pas soumettre l'extrémité de l'arbre à des heurts ou à des coups;

2.3.3 Accouplements

Les accouplements sont utilisés pour transmettre le couple de l'arbre du moteur à l'arbre de la machine entraînée. Les aspects suivants doivent être pris en considération lorsque des accouplements sont montés :

- Utilisez des outils convenables pour l'assemblage et le démontage d'accouplements afin d'éviter d'endommager le moteur et les paliers.
- Dans la mesure du possible, utilisez des accouplements flexibles car ils sont en mesure d'absorber les éventuelles différences d'alignement résiduelles lors du fonctionnement de la machine.
- Les charges et les limitations de vitesse maximales spécifiées dans les catalogues des fabricants d'accouplements et de moteurs ne peuvent pas être dépassées.



- Aligner avec soin le moteur et la machine commandée pour éviter des efforts inadmissibles sur l'arbre moteur, en respectant les charges radiales et axiales maximales admises; un désalignement ou un emboîtage forcé peuvent provoquer des surchauffes anormales pendant le fonctionnement en compromettant la sécurité;

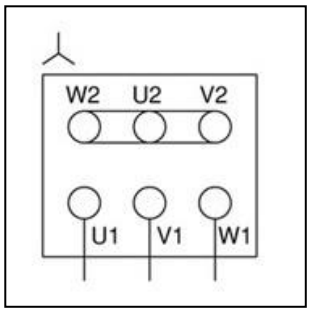
2.3.4 Connexion électrique

Choisir des câbles d'alimentation électrique et des dispositifs de commutation et de protection appropriés, en prenant considération le courant nominal du moteur, le facteur de service, le courant de démarrage, les conditions de l'environnement et d'installation, la chute de tension maximale, etc.

Tous les moteurs doivent être installés avec des dispositifs de protection contre les surcharges. Les moteurs triphasés doivent être équipés de systèmes de protection contre la défaillance de phase.

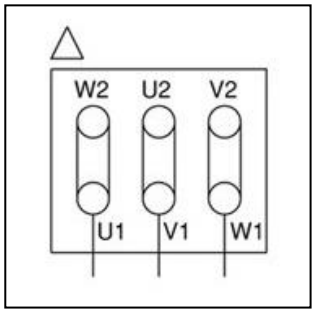
Avant de raccorder le moteur, vérifiez si la tension de réseau électrique et la fréquence sont conformes aux données de la plaque signalétique du moteur. Toute l'installation électrique doit être faite selon le schéma des connexions sur la plaque signalétique du moteur.

Pour les moteurs triphasés, il est possible de coupler les 3 phases soit en triangle, soit en étoile. Le branchement en étoile ou en triangle se décide en fonction de la plaque signalétique de votre moteur.



Le branchement en étoile :

S'utilise si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur. Exemple : si le moteur affiche une tension nominale 230/400 V et que celle de l'alimentation est 230/400 V.

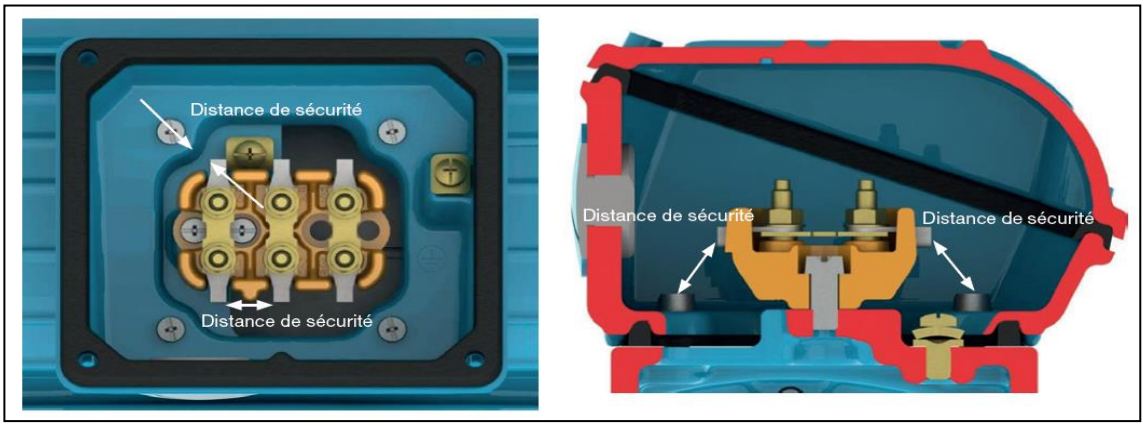


Le branchement en triangle :

On l'utilise si la plus grande tension du réseau est égale à la plus petite tension du moteur. Exemple : un moteur affichant une tension nominale de 230V/400V sur un réseau dont la tension serait de 127/230V.

En vue de prévenir des accidents, vérifiez si le moteur a été solidement mis à la terre conformément aux normes applicables.

La distance de sécurité entre les parties sous tension non-isolées entre elles et entre les parties mises à la terre doit correspondre aux valeurs indiquées sur le Tableau ci-après.



Tension	Distance minimale de sécurité (mm)
U ≤ 440 V	4
440 < U ≤ 690 V	5.5
690 < U ≤ 1000 V	8

Prenez les mesures nécessaires pour assurer le degré de protection indiqué sur la plaque signalétique du moteur :

- les trous d'entrée de câbles non utilisés dans les boîtes de raccordement doivent être correctement bouchés à l'aide de bouchons filetés ;
- les composants fournis séparément (par exemple, les boîtes de raccordement montées séparément) doivent être correctement fermés et scellés.

3. Inspection et maintenance préventive des machines électriques

Les intervalles d'inspection dépendent du type de moteur, de l'application et des conditions d'installation. Procédez comme suit pendant l'inspection :

3.1 Inspection visuelle

Inspectez visuellement le moteur et vérifiez s'il y a :

- des bruits anormaux,
- des vibrations,
- un échauffement excessif,
- des signes d'usure,
- un défaut d'alignement
- des pièces endommagées.

Remplacez les pièces endommagées si nécessaire.

- de la saleté, de l'huile, des débris ou de la rouille sur les composants du moteur. Ceux-ci sont attendus, en particulier si les moteurs se trouvent dans un environnement susceptible de les accumuler.

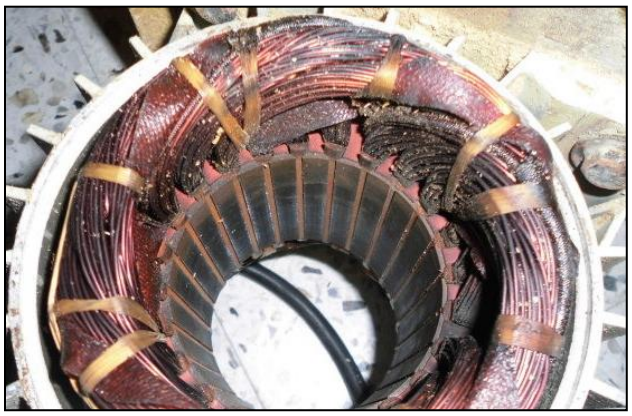
L'accumulation de saleté, d'huile et d'autres débris peut entraîner une surchauffe et diminuer l'efficacité du moteur ou provoquer un incendie. Inspectez les moteurs, nettoyez toutes les pièces, contacts et relais accessibles et notez vos découvertes.





Nettoyez la carcasse du moteur. Nettoyez les écoulements d'huile et l'accumulation de poussière à la carcasse du moteur pour garantir un meilleur transfert de chaleur à l'environnement ambiant.

- Inspecter les enroulements du moteur.



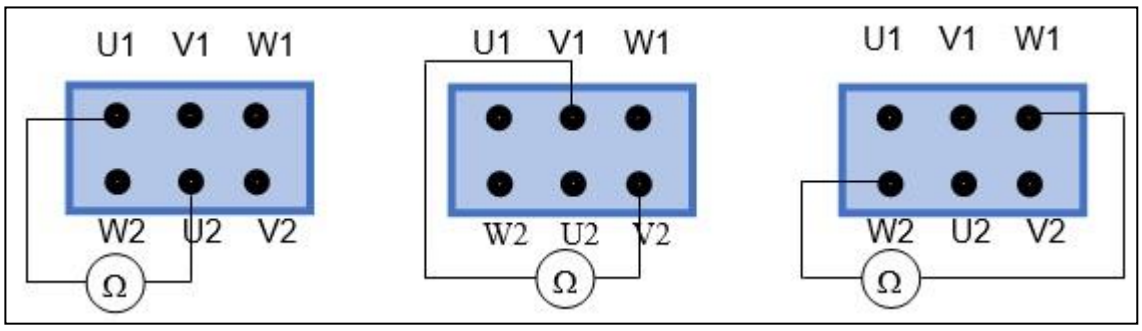
La plupart des gens de l'industrie ont tendance à ne pas vérifier l'enroulement du moteur de leurs machines lors des inspections. Cependant, c'est l'un des meilleurs moyens de s'assurer que votre moteur électrique est dans un état de fonctionnement optimal. En effet, le test d'enroulement du moteur vous permet de détecter toute irrégularité dans les enroulements.

Cela peut prendre la forme de fissures ou même d'une forte odeur de brûlé. Détecter ces anomalies en amont vous permettra de prévenir tout dysfonctionnement dû à une surchauffe ou à un éventuel incendie.

3.2 Vérifications électriques

3.2.1 Contrôler la continuité des bobinages à l'aide d'un ohmmètre.

Ce contrôle permet de vérifier la continuité des bobinages, c'est-à-dire qu'ils ne soient ni coupés ni en court-circuit.



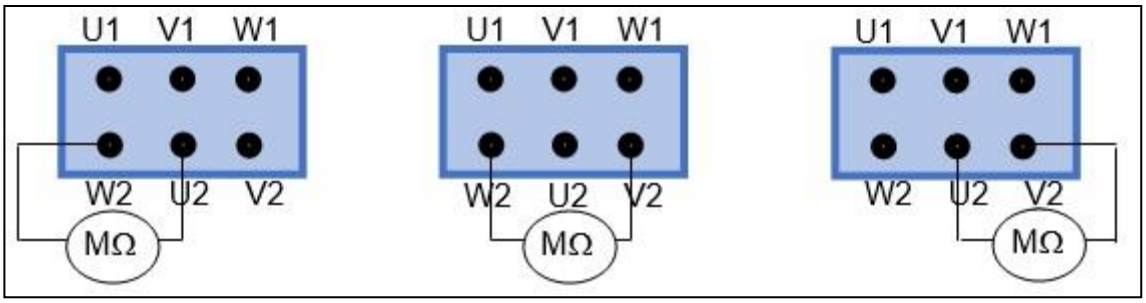
Résultats attendus :

- résistance ≠ 0 Ω
- résistance ≠ infini
- résistance identique sur les 3 bobines.

3.2.2 Mesurez la résistance d'isolation.

1. Contrôler l'isolement des bobinages entre eux.

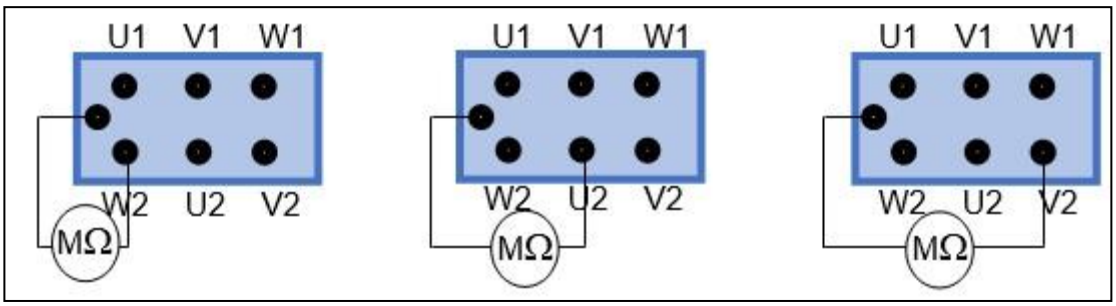
Ce contrôle permet de vérifier que les bobinages ne se touchent pas entre eux. L'emploi d'un mégohmmètre est recommandé pour ce type de contrôle. Il délivre une tension de 500 V à 1000 V obligatoire pour l'efficacité de ce contrôle.



Résultats attendus : résistance très importante, (R ≥1MΩ) dans les trois cas.

2. Contrôler l'isolement entre les bobinages et la masse du moteur.

L'emploi d'un mégohmmètre est recommandé pour ce type de contrôle.



Résultats attendus : résistance très importante, (R ≥1MΩ) dans les trois cas.

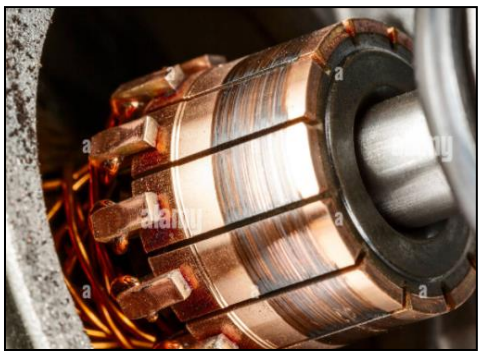
Vérifiez les connexions des câbles d'alimentation pour vous assurer que la distance minimale de sécurité est correcte entre les parties sous tension et les parties mises à la terre, comme spécifié ci-haut.

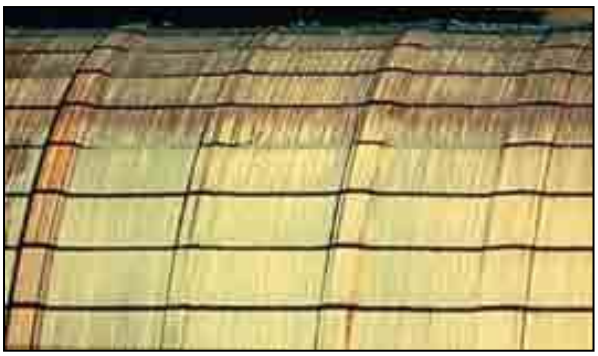
Vérifiez l'état des passages de câbles, des joints de presse étoupes et des joints à l'intérieur de la boîte à bornes et remplacez-les, si nécessaire.

3.3 Inspection des balais et du collecteur

Si le moteur électrique a été utilisé pendant une longue période, vous devez effectuer une inspection des balais et du collecteur. Lors de cette inspection, vous devez être à l'affût des signes d'usure éventuelle - c'est courant pour les moteurs électriques utilisés depuis des années.

Examinez bien les balais et le collecteur du moteur électrique et vérifiez s'il y a des signes d'usure. Une usure excessive du balai peut entraîner des problèmes de commutation avec le moteur, il faut donc changer le balai dès qu'il est usé. Il en va de même pour le commutateur; ce composant doit être dans un état quasi vierge pour fonctionner correctement. Il doit être lisse, poli et exempt de toute bosse, rainure ou égratignure.





Après avoir noté toutes les zones présentant des signes d'usure, il est impératif de les faire remplacer au plus vite.

3.3.1 Inspectez les roulements



Si les roulements n'étaient pas bien entretenus, votre moteur électrique pourrait surchauffer. Un moteur électrique peut parfois surchauffer en raison d'un manque de graisse dans les roulements, d'un mauvais lubrifiant utilisé, d'une accumulation de saleté ou de roulements usés.

Lors de la vérification des roulements, vous devez toucher son logement pour mesurer approximativement sa température. S'il fait trop chaud, cela peut signifier que votre moteur surchauffe ou qu'il a besoin d'être lubrifié.

Contrôler le silence de fonctionnement en rotation manuelle. Il faut qu'il n'y ait pas de blocage, ni de bruits anormaux.

Nettoyer les roulements. Suivez strictement les instructions de lubrification, car leurs besoins d'entretien ou leurs exigences de réparation peuvent varier. Remplacez toutes les pièces usées.

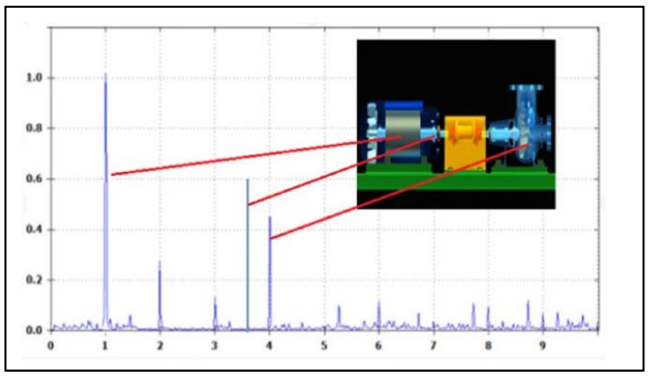
Examinez l'état des joints et remplacez-les, si nécessaire.

3.3.2 Faites des tests de vibration

Trop de vibrations peuvent réduire la durée de vie opérationnelle d'un moteur électrique en provoquant une défaillance critique des roulements ou des enroulements. Testez votre moteur pour des vibrations excessives en retirant les courroies ou en déconnectant la charge, puis en faisant fonctionner le moteur. Vous pouvez ensuite mesurer la fréquence et l'amplitude des vibrations avec les instruments adéquats.

Des problèmes électriques ou mécaniques peuvent provoquer des vibrations excessives. En mesurant la fréquence et l'amplitude des vibrations, il est possible d'identifier précisément un problème et sa source.





Ci-dessus un analyste inspectant un moteur avec un testeur de vibrations ainsi que le graphique présentant un exemple de données avec un dysfonctionnement de roulement.

3.4 Vérification du système refroidissement.

Contrôlez le ventilateur de refroidissement et nettoyez les ouïes d'entrée et de sortie d'air pour garantir un courant d'air libre sur le moteur.

Un moteur du type « TEFC » est un « moteur totalement fermé et ventilé ». Les pales du ventilateur sont protégées par un cache métallique, à l'arrière du moteur.





Assurez-vous que le ventilateur est solidement fixé à la carcasse et qu'il n'est pas obstrué par de la saleté ou d'autres débris. L'air doit pouvoir circuler librement et complètement à travers les ouvertures du cache métallique arrière, sinon le moteur va surchauffer et finir par tomber en panne.

3.5 Autres recommandations

3.5.1 Évacuez l'eau condensée de l'intérieur du moteur.

Après l'évacuation, réinstallez les bouchons de vidange pour garantir le degré de protection comme indiqué sur la plaque signalétique du moteur. Le moteur doit toujours être placé de manière à ce que le trou de drainage soit à la position la plus basse.

3.5.2 Notez toutes les observations

Une partie du maintien des moteurs électriques bien entretenus consiste à tout documenter à leur sujet. Tenez à jour un journal de bord détaillant les calendriers de maintenance préventive, les tests effectués et les résultats de ces tests. En faisant cela, vous aurez une meilleure compréhension de l'équipement, des problèmes qu'ils ont rencontrés ou pourraient rencontrer à l'avenir, et vous saurez quelles pièces ont été réparées ou remplacées.

La documentation des tâches de maintenance aidera également les équipes de maintenance tierces. Ces enregistrements seront utiles pour les inspections et audits futurs.

15 . ZONE SDA : (Automate à Haute rotation)

Durée moyenne: 4 heures ; Périodicité: 1 mois

Tâches à réaliser :

-Dépoussiérage et contrôle des éclairages internes de l'automate.
-Dépoussiérage par soufflage basse pression de tous les éléments à l'intérieur de l'automate.
-Nettoyage, si nécessaire, des parties tachées du convoyeur.
-Dépoussiérage des parties externes de l'automate (sur l'arrière des canaux).
-Examen de la partie inférieure du convoyeur.
-Contrôle du générateur d'impulsions et de son cylindre d'entraînement.
-Nettoyage éventuel des rouleaux de support inférieur du tapis et contrôle de la rotation.
-Ouverture du caisson moto-réducteur: (nettoyage, contrôle et réglage tension chaîne, graissage), contrôle niveau moto-réducteur (vidange 1 fois par an).
-Contrôle du convoyage cartons vides, nettoyage de la jonction des tapis.
-Examen de l'état des différents éléments (tapis, rouleaux) etc...).
-Retrait des produits tombés sous l'automate, récupération dans un bac et remise au responsable du magasin.
-Remplir la fiche d'intervention ci-dessous

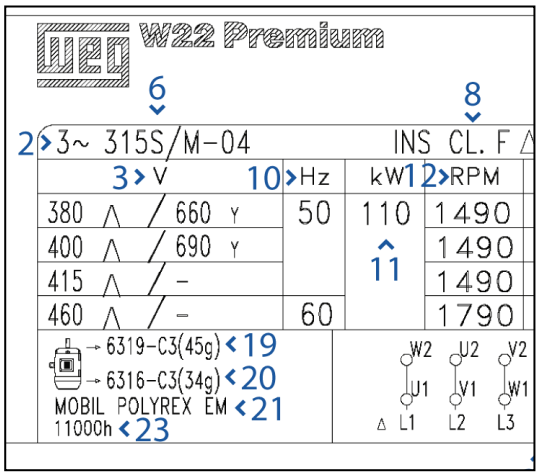
Date	Tâches	SDA1	SDA2	Tps	Problème	Résolution	Signature

Exemple Carnet de suivi d'Entretien et de Maintenance

3.6 Lubrification des moteurs électriques

Une bonne lubrification joue un rôle essentiel dans la performance du moteur. Utilisez seulement les types de graisse ou d'huile, les quantités et les intervalles de lubrification recommandés pour les paliers. Ces informations sont disponibles sur la plaque signalétique du moteur et les procédures de lubrification doivent être réalisées selon le type de lubrifiant (huile ou graisse).

Ci-contre une illustration des indications sur le type de roulement et de graisse.



19 – Type de roulement côté attaque – Type de roulement côté opposé attaque. (C3 signifie roulements à jeu augmenté).

21 – Type de graisse

23 – Intervalles de relubrification en heures

3.6.1 Moteur sans graisseur

Les moteurs sans graisseurs doivent être lubrifiés conformément au Plan de Maintenance. Le démontage du moteur doit se faire conformément aux spécifications. Si des moteurs sont équipés de roulements blindés, ces roulements doivent être remplacés à la fin de la vie utile de la graisse.

3.6.2 Moteur avec graisseur

Pour lubrifier les roulements lorsque le moteur est arrêté, procédez comme suit :

- Avant de procéder au graissage, nettoyez soigneusement le graisseur et la zone alentour ;
- Soulevez la protection de l'entrée de graisse ;
- Retirez le bouchon de sortie de graisse (non nécessaire pour les moteurs équipés de dispositifs de décharge automatique de graisse;
- Pompez environ la moitié de la quantité totale de graisse indiquée sur la plaque signalétique du moteur et faites tourner le moteur pendant environ 1 (une) minute à la vitesse nominale ;
- Arrêtez le moteur et pompez le reste de la graisse ;
- Abaissez à nouveau la protection de l'entrée de graisse et réinstallez le bouchon de sortie de graisse.

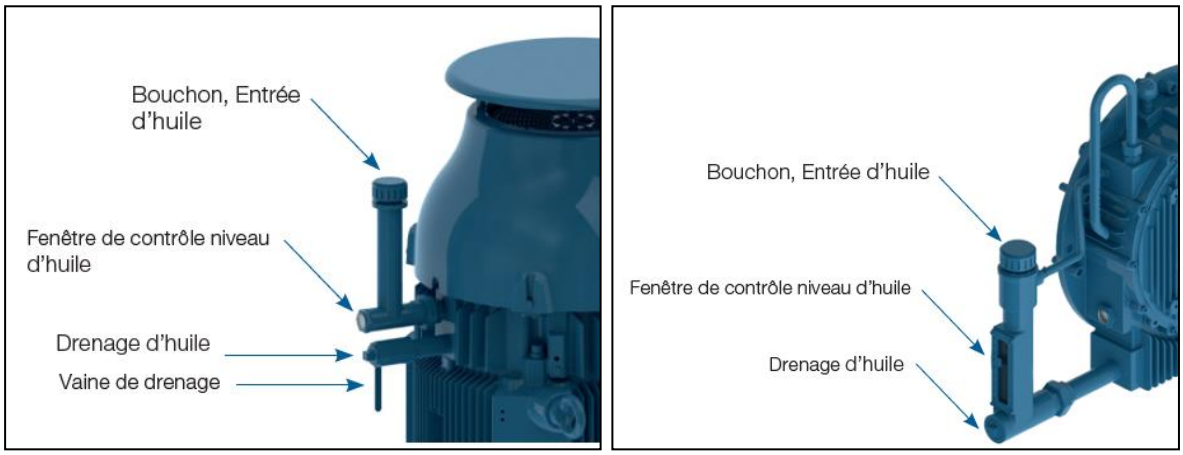
Pour graisser le moteur en marche, procédez comme suit :

- Avant de procéder au graissage, nettoyez soigneusement le graisseur et la zone alentour ;
- Soulevez la protection de l'entrée de graisse ;
- Si cela est possible et sans danger, retirez le bouchon de sortie de graisse ;
- Pompez la quantité totale de graisse indiquée sur la plaque signalétique du moteur ;
- Abaissez à nouveau la protection de l'entrée de graisse et réinstallez le bouchon de sortie de graisse (si celui-ci a été retiré).
-

3.6.3 Paliers lubrifiés à l'huile

Pour changer l'huile d'un moteur lubrifié à l'huile, procédez comme suit :

- arrêtez le moteur ;
- retirez le bouchon de vidange d'huile fileté ;
- ouvrez la soupape et évacuez l'huile ;
- refermez la soupape de vidange ;
- réinstallez le bouchon de vidange d'huile fileté ;
- faites le plein du type et de la quantité d'huile comme spécifié sur la plaque signalétique ;
- vérifiez le niveau d'huile. Le niveau d'huile est OK quand le lubrifiant se trouve approximativement au centre du verre-regard ;
- réinstallez le bouchon d'entrée d'huile ;
- vérifiez s'il y a des fuites d'huile et assurez-vous que tous les bouchons filetés non utilisés sont fermés avec des bouchons.

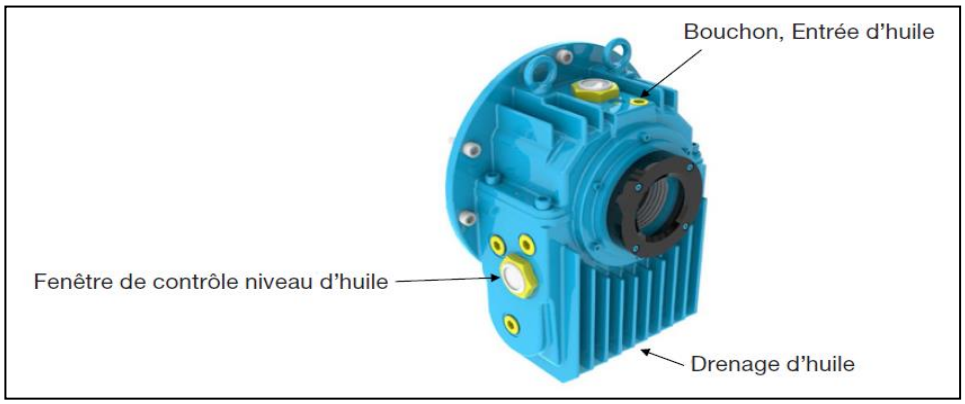


3.6.4 Paliers lisses

L'huile de graissage des paliers lisses doit être changée aux intervalles spécifiés par le constructeur. Pour remplacer l'huile, procédez comme suit :

- Retirez la plaque de protection du capot de ventilation ;
- Évacuez l'huile par le trou de drainage situé au fond du palier;
- Fermez le trou de drainage d'huile ;
- Retirez le bouchon d'entrée d'huile ;
- Remplissez le palier lisse avec l'huile indiquée et la quantité d'huile spécifiée ;

- Vérifiez le niveau d'huile et assurez-vous qu'il est au centre de la fenêtre de contrôle;
- Installez le bouchon d'entrée d'huile ;
- Vérifiez s'il y a des fuites d'huile.



3.6.5 Système de lubrification automatique pour moteur électrique :

Ce système de lubrification automatique permet d'assurer un graissage précis et continu des différents points de lubrification qui se trouvent sur le côté de l'entraînement et sur le côté opposé à l'entraînement des moteurs électriques.



La lubrification automatique procure de nombreux avantages :

- La lubrification avec moteur en marche minimise la surchauffe du roulement.
- Intervalles de remplacement planifiables avec une charge de personnel et de matériel réduite.
- Sécurité du travail plus élevée grâce à la lubrification automatique des points de lubrification difficilement accessibles.
- Grâce à une distribution précise, la quantité de lubrifiant nécessaire peut être diminué et les effets néfastes sur l'environnement réduits.

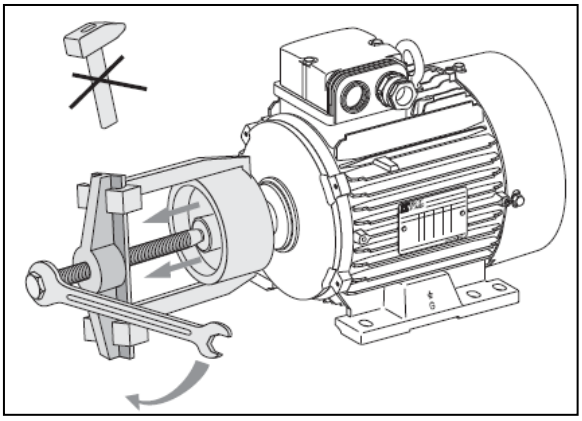
4. Maintenance corrective des machines électriques

4.1 Procédures de démontage et de remontage des moteurs

Avant toute intervention il faut :

1. couper et verrouiller l'alimentation.
2. ouvrir la boîte à bornes, repérer les fils et leur position,
3. débrancher les fils d'alimentation,
4. désaccoupler le moteur de l'organe entraîné.

Pour extraire les organes montés sur le bout d'arbre du moteur utiliser impérativement un extracteur.



Extraction d'un roulement



extracteur ou arrache

La procédure de démontage et de montage diffère d'un modèle du moteur à l'autre. Donc il faut toujours consulter le document constructeur pour chercher la procédure adéquate. Pour illustration on présente ci-dessous la procédure correspondant à un moteur asynchrone triphasé fermé à cage de type LS.

4.1.1 Démontage du moteur

1. retirer le capot (13) après avoir enlevé les vis (27).
2. extraire le ventilateur (7) à l'aide d'un arrache moyeu ou à défaut avec 2 leviers diamétralement opposés et prenant appui sur le flasque (6).
3. enlever la clavette (21) et retirer les joints (39 et 54 pour les moteurs à pattes), (54 pour les moteurs à bride).

4. dévisser les tiges de montage (14) puis les retirer.
5. dévisser les vis de fixation (40) du chapeau intérieur (33) dans le cas d'un moteur à bride ou si le roulement avant est bloqué.
6. à l'aide d'un jet bronze, extraire les flasques (5 et 6) en frappant légèrement sur les bossages du flasque, récupérer la rondelle de précharge (59).
7. retirer le circlips (38) s'il y a lieu (moteur à bride).
8. sortir le rotor (3) du stator (1) en prenant soin de ne pas toucher le bobinage.
9. extraire les roulements (30) et (50) avec un arrache roulements en protégeant l'extrémité du bout d'arbre par une rondelle, éviter de heurter les portées d'arbre.

Il est recommandé de repérer les flasques par rapport au stator et le sens du ventilateur sur le rotor.

4.1.2 Remontage du moteur

Avant remontage contrôler :

Le Stator :

- le stator doit être dépoussiéré
- vérifier l'isolement,
- nettoyer les emboîtements, faire disparaître toutes les traces de chocs sur les faces d'appui s'il y a lieu.

Le Rotor :

- nettoyer et vérifier les portées de roulement.
- vérifiez le bon état des filetages, des clavettes et de leurs logements.

Les Flasques, paliers :

- nettoyer les traces de souillures (graisse usée, poussière agglomérée),
- nettoyer les logements de roulement et l'emboîtement,
- si nécessaire passer du vernis anti-flash à l'intérieur des flasques,
- nettoyer soigneusement les chapeaux de roulements et les soupapes à graisse (si le moteur en est équipé).

Après ces contrôles, la procédure de remontage du modèle démonté ci-haut est la suivante :

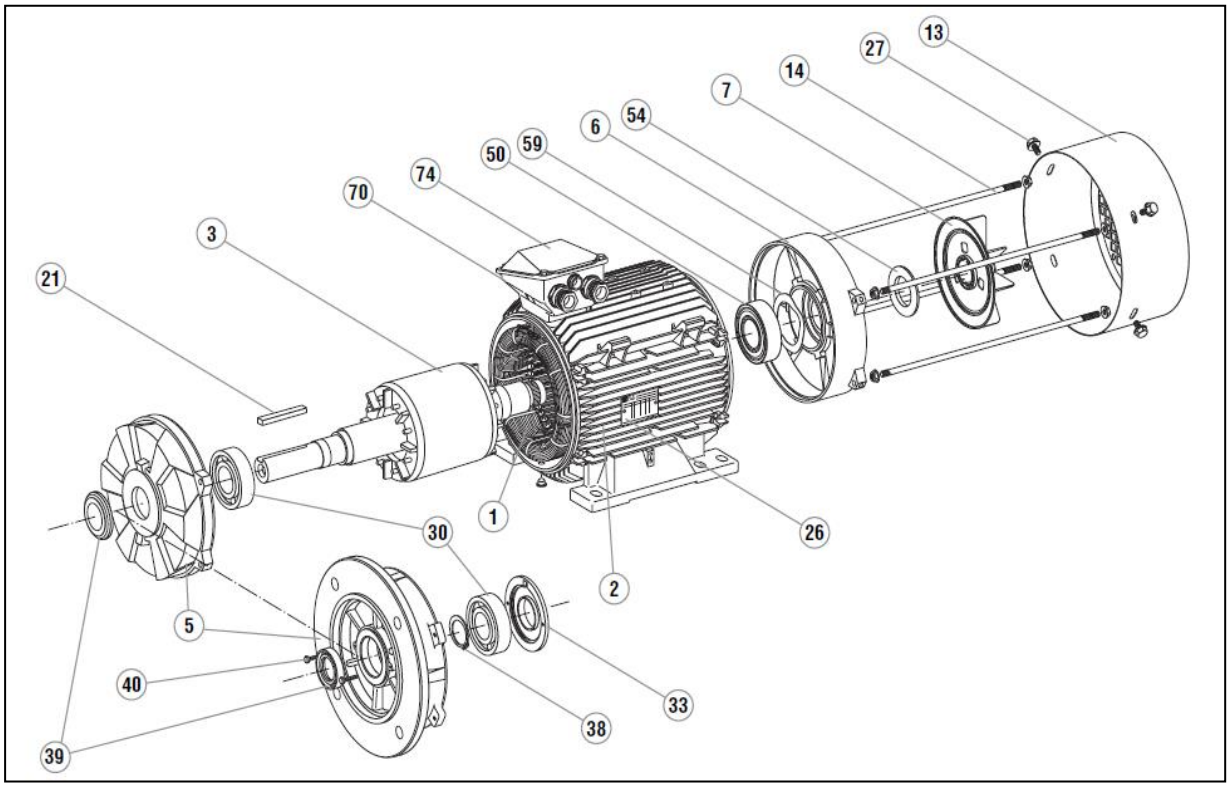
1. s'il y a lieu introduire le chapeau intérieur (33) côté avant du rotor puis remonter les roulements neufs sur l'arbre,

L'opération de montage des roulements sera détaillée ultérieurement dans ce cours.

2. monter le circlips (38) pour les moteurs à bride.
3. introduire le rotor (3) dans le stator (1) en prenant toutes les précautions pour ne pas heurter le bobinage.
4. mettre la rondelle de précharge (59) avec un peu de graisse dans le fond de la cage de roulement du flasque arrière (6), puis remonter le flasque arrière (6) en le positionnant sur le stator.
5. si le chapeau (33) existe, visser une tige filetée au diamètre des vis (40) dans un des trous taraudés du chapeau pour assurer son positionnement angulaire lors du remontage du flasque avant (5).

Dans le cas d'une bride; monter un joint neuf (39) ressort vers l'extérieur.

6. remonter le flasque (5) en prenant soin du positionnement de l'éventuel chapeau.
7. mettre en place les tiges de montage (14) et serrer les écrous en diagonale jusqu'au couple recommandé.
8. s'il y a lieu fixer avec ses vis le chapeau (33).
9. monter à la graisse les joints de flasque (54 à l'arrière) (39 à l'avant pour les moteurs à pattes).
10. monter le ventilateur (7) en l'enfonçant avec un jet.
11. s'assurer que le rotor tourne librement à la main (qu'il n'y a pas de jeu axial s'il y a un palier bloqué).
12. remonter le capot (13) et le refixer avec les vis (27).
13. remettre la clavette (21).



Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	14	Tiges de montage	39	Joint côté accouplement
2	Carter	21	Clavette	40	Vis de fixation couvercle
3	Rotor	26	Plaque signalétique	50	Roulement arrière
5	Flasque côté accouplement	27	Vis de fixation du capot	54	Joint arrière
6	Flasque arrière	30	Roulement côté accouplement	59	Rondelle de précharge
7	Ventilateur	33	Chapeau intérieur côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes

4.2 Montage des roulements

Défaillances de paliers et défauts d'isolement sont les deux types les plus courants de défectuosités des moteurs. La défaillance des paliers peut causer des ruptures de bagues, des pertes d'étanchéité, des marquages de piste et de la pollution.

Les principales origines de cette défaillance sont :

- l'utilisation de méthodes de montage et d'outils inappropriés
- l'introduction de polluants (limaille ou de liquides) présents dans l'environnement lors du montage

- l'ajustement des roulements (trop serrés ou pas assez) ne tenant pas compte des dimensions hors tolérance des arbres et logements
- l'enfoncement axial trop important sur la portée conique
- les chocs ou efforts d'ajustement trop importants

Comme les roulements sont faits avec une grande précision, leur montage nécessite de prendre en considération les points suivants :

- Nettoyage des pièces constituant l'environnement proche du roulement.
- Assurance qualités dimensionnelles et géométriques de l'arbre, du logement, des entretoises
- Respect des procédures de montage
- Inspection après montage
- Lubrification adaptée

4.2.1 La procédure de montage

Les méthodes de montage des roulements dépendent du type de roulements et du type d'ajustement. La procédure est en générale comme suite :

1. Identifiez les roulements sur base des plans, spécifications et procédures. Assurez-vous que les dimensions, les formes et les positions des portées de roulements correspondent aux plans et spécifications du constructeur.
2. Préparez les pièces et outillages nécessaires au montage selon la méthode retenue.
3. Nettoyez soigneusement la zone de travail.
4. Nettoyez l'arbre
5. Inspecter les portées





6. Lubrifier l'arbre avec de l'huile ou utilisez de la pâte de montage pour faciliter l'insertion du roulement.
7. Nettoyez le roulement
8. Chauffer le roulement si le montage est par dilatation.
9. Montage du roulement sur l'arbre (si à froid utiliser une presse ou une douille de frappe; si par dilatation, le roulement doit glisser tout seul)

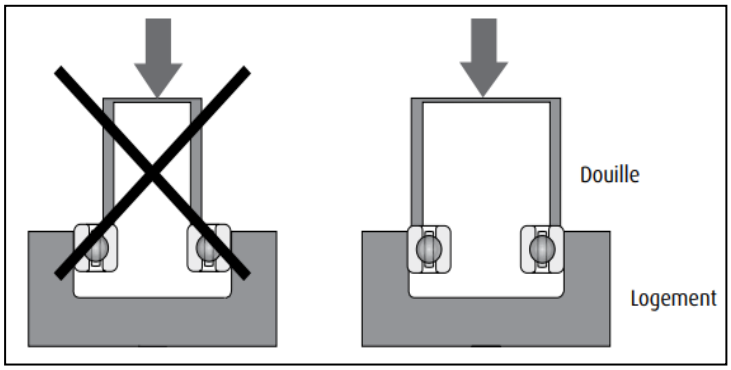


10. Après le montage, il faut remplir de graisse tous les intervalles des joints, afin d'empêcher l'entrée des poussières et l'apparition de rouille sur les parties usinées..
11. Avant la mise en route définitive, vérifiez le bon fonctionnement du montage: absence d'anomalies telles que bruits, vibrations, températures ou jeu anormaux.

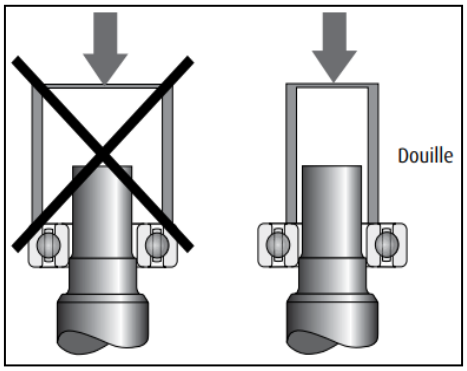
4.2.2 Montage à froid

Le montage à froid est une technique simple qui convient aux roulements de petites et moyennes dimensions. Elle est comme suite :

- montez la bague tournante par rapport à la charge avec un ajustement serré sur sa portée.
- réalisez l'emmanchement à l'aide de Presse ou Douille de frappe prenant appui sur la bague du roulement qui présente l'ajustement le plus serré. Vous évitez ainsi de solliciter les corps roulants et d'endommager le roulement.



Montage du roulement dans un logement



Montage du roulement sur un arbre

4.2.3 Montage par dilatation

Le montage par dilatation (ou à chaud) est utilisé pour éviter d'avoir à appliquer une force excessive lors de montage serré avec des roulements de moyenne ou grandes dimensions.

Les roulements sont chauffés dans bain d'huile, plaque chauffante, dans un four, ou de loin la meilleure solution, est le chauffage à induction.

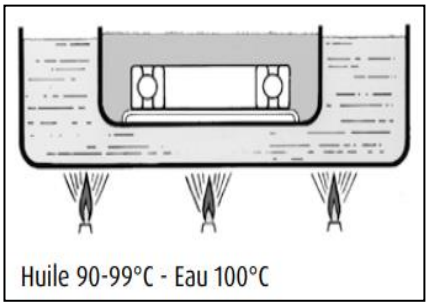
La chauffe permet la dilatation des roulements. Ils sont ensuite montés et refroidissent à température ambiante, permettant la contraction de la bague intérieure et donc le serrage sur l'arbre.

Ce montage nécessite des précautions:

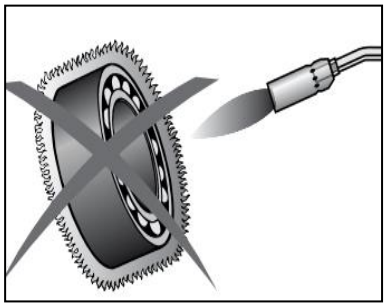
- utilisez de la **pâte de montage** pour faciliter l'insertion du roulement
- veillez à porter des **gants isolants thermiquement** pour vous assurer une manipulation sûre et aisée des pièces chauffées
- prévoyez une **aide supplémentaire** pour manipuler les roulements lourds



Chauffage à induction



Le bain d'huile



Utilisation du chalumeau à écarter.

4.3 Entretien Balais- Collecteur

Le fonctionnement du collecteur et des balais est affecté par de nombreux facteurs, notamment :

- une humidité anormalement haute ou basse,
- les impuretés dans l'air sous forme de gaz,
- un brouillard d'huile,

- de particules de poussière,
- Une température d'air de refroidissement anormalement basse,
- une charge très réduite pendant une période prolongée
- des vibrations de la machine peuvent aussi avoir une influence.

Une condition indispensable au bon fonctionnement des balais est le choix d'un matériau approprié pour les balais, convenant à l'application de la machine.

4.3.1 Formation d'étincelles

La cause la plus courante des étincelles est un mauvais contact entre la surface des balais et la surface du collecteur. Il est également possible que certains balais, qui ont un meilleur contact que d'autres, tirent davantage de courant et de ce fait donnent des étincelles de surcharges.

La formation d'étincelles peut être progressive, c'est-à-dire commencer par de petites étincelles, apparemment inoffensives, puis augmenter lentement ou rapidement pour produire des étincelles plus graves, surtout si la surface du collecteur a été brûlée.

Il est donc important de vérifier régulièrement la surface du collecteur et de noter tous signes d'augmentation d'étincelles aux bords des balais.

Si un moteur alimenté par un convertisseur se met à produire des étincelles sans raison apparente, on peut soupçonner un défaut dans le convertisseur.

4.3.2 Porte-balais

Les balais doivent pouvoir coulisser dans leurs cages. Si la poussière s'accumule dans l'espace étroit entre porte-balais et balais, le mouvement sera réduit et il en résultera un mauvais contact dû à la pression insuffisante du balai. La poussière peut provenir de l'usure des balais ou du milieu ambiant. Tant que la poussière est sèche, on peut empêcher le balai de se coincer dans le logement en «pompant», c'est-à-dire en tirant sur le fil du balai pour le déplacer de

quelques millimètres. S'il y a présence d'humidité ou d'huile, le nettoyage est nécessaire et le «pompage» n'aura aucun effet.

4.3.3 Mauvais contact des balais

Comme indiqué plus haut, un mauvais contact provoque des étincelles qui peuvent brûler le collecteur aggravant ainsi le défaut. La formation d'étincelles peut être due à l'une des raisons suivantes :

- Balais coincés
- Doigts de pression coincés
- Huile sur les surfaces de contact
- Surface de contact rayée
- Mica séparant les lames dépasse (collecteur usé),
- Vibrations
- Balais usés

Ne pas laisser s'user les balais au point que le shunt noyé dans le balai entre en contact avec la surface tournante, car cela creuse des rainures sur le collecteur.

La périodicité des visites usuelles est indiquée dans la notice du produit. La plupart des balais portent une marque indiquant la limite d'utilisation. Il est conseillé de ne pas dépasser ce repère.

4.3.4 Inspection des balais

La procédure d'inspection des balais est comme suite :

- Contrôler leur coulissement dans les porte-balais: il doit être libre. Le balai étant soulevé de 3 à 4 mm dans sa cage, il doit retomber avec un bruit sec sur le collecteur.
- Vérifier que la pression exercée sur chaque balai est identique.
- Contrôler l'aspect: la surface frottante doit être brillante, sans tache ni rayure ou brûlure, les faces latérales mates sans glaçage.

- Vérifier l'état d'usure. Ne pas attendre une usure complète avant le remplacement. N'effectuer le remplacement (du jeu complet) qu'avec des balais de la qualité d'origine, ou équivalents.
- Effectuer un rodage à chaque changement de balais.
- Après démontage du balai, le remonter dans sa position d'origine.

ATTENTION :

Ne jamais démonter un balai moteur en fonctionnement.

REMARQUE :

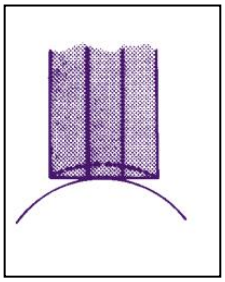
Si lors de l'inspection vous remarquez l'usure des lames du collecteur (l'isolant affleure à la surface du collecteur, déformé), rayé, ou présenter une usure importante) demander le tournage du collecteur et le refraisage des micas par un atelier qualifié.

4.3.5 Rodage des balais neufs

Normalement la surface de frottement des balais de charbon de rechange est adaptée au rayon du collecteur. Si non, à chaque changement des balais, un rodage doit être effectué.

Le rodage consiste à donner à la face frottante d'un balai neuf, l'exacte courbure du collecteur ou de la bague, de façon que le bon contact mécanique et électrique du balai soit bien assuré dès sa mise en service.

En cas de non rodage ou rodage incorrect, ce balai risque en effet de porter sur le collecteur par sa tranche médiane seulement, qui supportera toute la charge. Les conséquences risquent d'être graves pour le collecteur comme pour le balai.

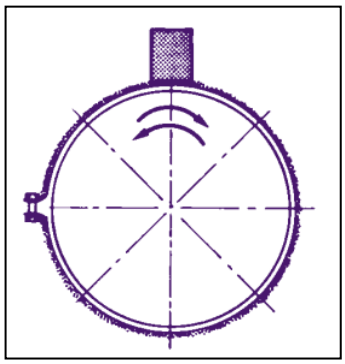


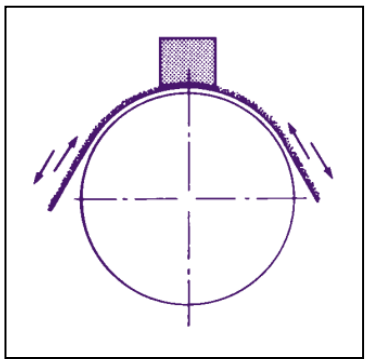
Le rodage des balais peut se faire pour collecteurs ou bagues de petit ou moyen diamètres (jusqu'à Ø 500 environ) sur meules carborundum de diamètre égal à celui du collecteur ou de la bague.

Il faut naturellement, pendant le rodage, que le balai soit maintenu rigidement contre la meule, non pas à la main, mais par l'intermédiaire d'un porte-balai fixé à 2 ou 3 mm de la meule ; ensuite, il faut souffler soigneusement la face frottante pour en éliminer les grains d'abrasifs qui auraient pu s'y fixer.

Le rodage se fait le plus souvent sur la machine elle-même sur tout ou partie du collecteur (ou de la bague), avec des pinces appropriées ou à la main.

Les balais neufs mis en place dans leur porte-balai et appuyant sur la toile, on fait osciller le rotor jusqu'à rodage complet des faces frottantes comme ci-dessous.





Après rodage à la toile ou à la ponce, il faut retirer les balais des porte-balais et souffler énergiquement le collecteur et les faces frottantes des balais pour éliminer poussières abrasives et poussières de charbon.

4.4 Différentes défaillances d'un moteur asynchrone

4.2.1 Défaillances au rotor :

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit :

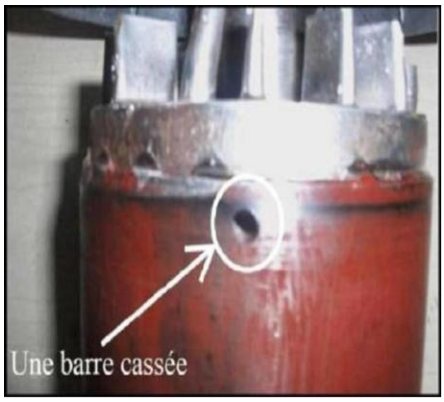
- Rupture de barres ;
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit ;
- Excentricité statique et dynamique ;
- Un défaut de contact balai - bague dans le cas d'un rotor bobiné.

1. Ruptures de barres

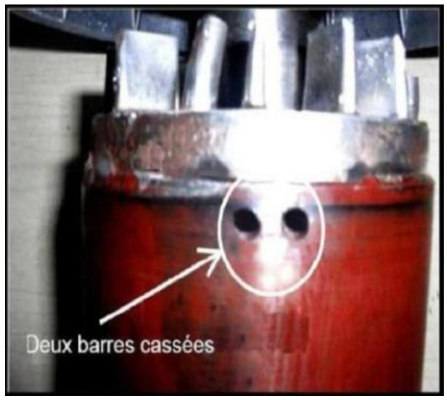
La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres :

- réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique
- augmente l'amplitude des oscillations, ce qui engendre des vibrations mécaniques.
- accélère la détérioration de la machine.

Ainsi, l'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées.



Une barre rotorique cassée



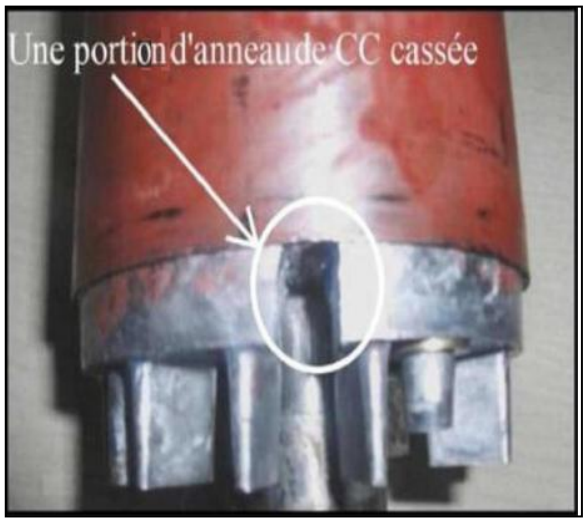
Deux barres rotoriques cassées en adjacence.

2. Ruptures d'anneaux

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit :

- à des bulles de coulées
- aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux.

Il est difficile de détecter ce défaut et il est généralement confondu avec la rupture de barres.



Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, les causes de leur cassure peuvent être :

- un mauvais dimensionnement des anneaux,
- le non-respect des conditions de fonctionnement (température, humidité,…)
- une surcharge de couple.

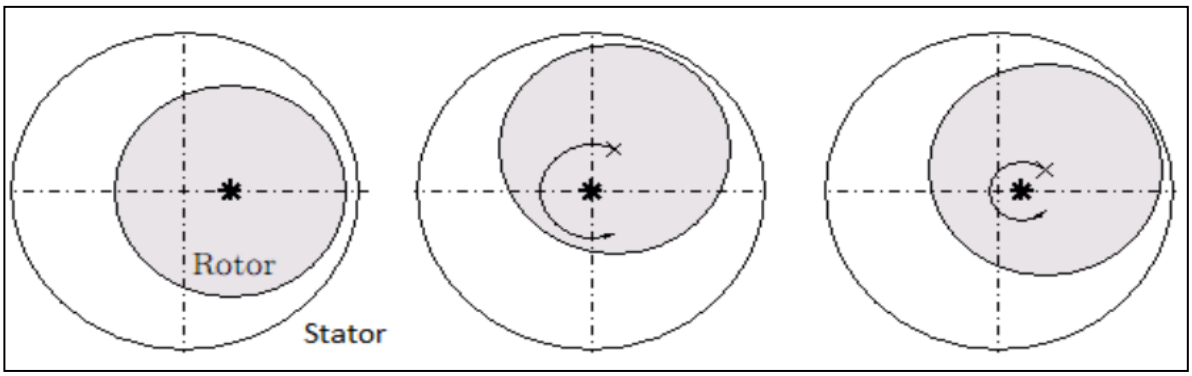
3. Excentricité de l'arbre du moteur

L'excentricité est le décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor. L'origine de ce phénomène peut être :

- un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage,
- un défaut de roulement (usure),
- un défaut de charge,
- un défaut de fabrication (Usinage).

Trois cas d'excentricité, sont généralement distingués :

1. **l'excentricité statique**, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe
2. **l'excentricité dynamique**, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe
3. **l'excentricité mixte**, associant les deux cas précédemment cités.



L'excentricité statique **l'excentricité dynamique** **l'excentricité mixte**

L'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit :

- une augmentation des forces électromagnétiques, ce qui engendre une dégradation de son isolation.
- des frottements entre le stator et le rotor donnant naissance à des niveaux de vibrations considérables dans les enroulements.

4.2.2 Défaillances au stator

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit :

- défaut d'isolant
- court-circuit entre spires
- court-circuit entre phases
- court-circuit phase/bâti
- déséquilibre d'alimentation
- défaut de circuit magnétique

1. Défauts d'isolant dans un enroulement

Pour assurer une parfaite sécurité des machines électriques, tous les conducteurs sont isolés (gaine pour les câbles, vernis pour les bobinages). Quand la qualité de ces isolements se dégrade, des courants de fuite peuvent circuler d'un conducteur à l'autre provoquant des dégâts plus ou moins graves (le pire défaut étant le court-circuit).

Les facteurs accélérant la dégradation des isolants sont principalement dus aux influences externes dont :

- Vieillissement thermique (surcharge, présence d'harmoniques, pertes Joule, fer …),
- Détérioration mécanique (chocs, cassures, vibrations …),
- Présence de poussière et d'humidité,
- Surtensions (foudre, manœuvre, défauts d'isolement sur la HT …), etc.

2. Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Ce qui entraîne :

- une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée,
- une légère variation de l'amplitude sur les autres phases,
- une modification du facteur de puissance,
- une amplification des courants dans le circuit rotorique,

- une augmentation des oscillations.

Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage, provoquant ainsi, un défaut en chaîne (apparition d'un 2ème court-circuit).



Exemples de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone

3. Court-circuit entre phases

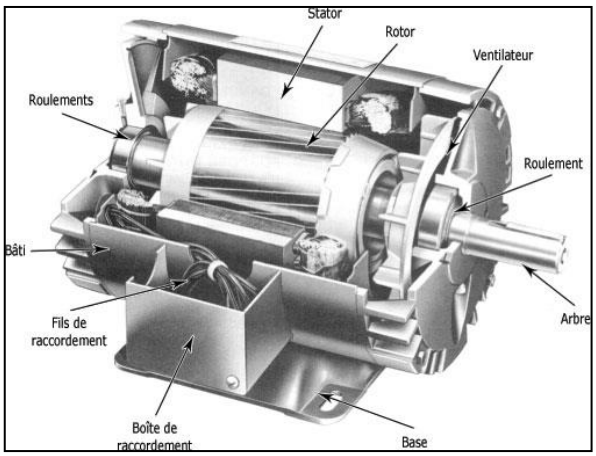
Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage.

- L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés (fusion des conducteurs d'alimentation et/ou disjonction par les protections).
- L'apparition d'un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs (courants statoriques totalement déséquilibrés, courants rotoriques augmentés).

La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases.

4. Court-circuit phase/bâti

Le bâti a généralement un potentiel flottant, il est souvent relié à la masse. Lors d'un court-circuit entre l'enroulement et le bâti, ce dernier, prend le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit.



Au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut est très dangereux et il est alors

nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels).

Le courant circulant dans cette phase augmente et peut entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut.

5. Défauts de circuit magnétique

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant, etc.

4.2.3 Défaillances mécaniques

1. Défauts des roulements

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor.

La plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs asynchrones sont liés à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles sont:

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification
- le défaut de montage

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'ondulation de leur surface de roulement
- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température

- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge.

Sur le système, ce type de défaut se traduit par :

- des oscillations du couple de charge,
- une apparition de pertes supplémentaires,
- un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement.



Exemples de défauts des roulements d'un moteur asynchrone

Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur.

Bibliographie

- Diagnostic des machines électriques, Trigeassou Jean-Claude, Traité EGEM, série Génie électrique, 04-2011, Hermes, Lavoisier
- Changement roulement d'un moteur électrique, Ressources formatives – Electricien de Maintenance des Systèmes Automatisés, afpa 2009– DI – D BTP – Toulouse
- Pratique de la maintenance préventive, Jean Héng, DUNOD, 2017
- Installation et maintenance Moteurs électriques asynchrones a courant alternatif, Birr Machines
- Alternateur Magnaplus, Manuel d'installation, d'utilisation et de maintenance des châssis 280 à 430, Marathon Electric Mfg. Corp.
- Cause et analyse des défaillances de paliers antifriction dans les moteurs à induction ca, Austin H. Bonnet, U.S Electrical Motors, Manuel technique de l 'EASA, Édition 1996
- Manuel d'installation, d'utilisation et de maintenance de moteurs électriques, WEG – Moteurs
- Guide de référence sur l'efficacité énergétique de moteurs, Carl Keyes, Ing., de Kinectrics Inc., 2007 CEA Technologies Inc.
- Support de cours Installations Industrielles, Adel SAID et Yassine JEMAI, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul 2013 / 2014
- Fascicule de Travaux pratique d'installation Electrique 2, Mansour Sami, Institut Supérieur Des Etudes Technologiques De Kairouan 2015/2016
- Instructions de mise en service et maintenance Moteurs à courant continu, TT-T Electric, Persan, France, 2004
- Électricité industrielle avancé, Ifpm Formation, éditeur responsable : Brigitte REMACLE, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles édition septembre 2014
- Diagnostic de défauts des machines électriques, Samir MERAHI, Master Académique, Spécialité : Réseaux Électriques, 2019/2020

Sites internet

- 7 étapes pour assurer une meilleure maintenance des moteurs électriques
- 13 causes fréquentes de panne de moteur _ Fluke
- Comment contrôler un moteur électrique_ 12 étapes
- Comment vérifier si un moteur électrique tourne mal
- Les problèmes les plus courants des moteurs électriques
- Procédure de test et de mise en service des moteurs électriques
- Étapes simples pour l'entretien du moteur électrique _ R Baker (Électricité) Ltée
- Défaillances des moteurs électriques - Lab4Sys.com
- Conseils pour le montage de votre moteur électrique asynchrone
- Le couplage des moteurs asynchrones _ étoile ou triangle _
- Recommended maintenance practice for electric motors and generators
- Electrical insulation testing - Often underestimated until things go really bad _ EEP
- Le moteur asynchrone à rotor bobiné

- Démarreurs à tension réduite (1) – Maxicours
- Machine Synchrone PHP
- Usure du collecteur

Chapitre IV

TRAVAUX DIRIGES / AUTOEVALUATION