

II.1 INTRODUCTION

La machine asynchrone est la plus utilisée dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Son seul point noir est l'énergie réactive, toujours consommée pour magnétiser l'entrefer. Les machines triphasées, alimentées directement sur le réseau, représentant la grande majorité des applications ; supplantant les machines monophasées aux performances bien moindres et au couple de démarrage nul sans artifice.

La machine asynchrone est très appréciée dans les milieux industriels pour sa robustesse, son couple massique important et son faible coût de revient. Elle apparaît maintenant comme élément de base des actionneurs électriques performants.

La représentation du modèle mathématique sous forme dynamique de la machine asynchrone permet l'observation et l'analyse des différentes évolutions de ses grandeurs électromécaniques d'une part et d'autre par l'élaboration des lois de commande.

Le moteur asynchrone, alimenté directement depuis le réseau industriel triphasé ou monophasé de fourniture de l'énergie électrique à tension et à fréquences constantes. Ce moteur nécessite peu d'entretien et sa durée de vie est presque illimitée. [5]

Ce chapitre, est consacré à la description de la machine asynchrone et sa composition

II.2 Description Et Structure De La Machine Asynchrone

II.2.1 Description de la machine asynchrone

Un moteur asynchrone se caractérise sous la forme d'un carter englobant le circuit magnétique statique, qui intègre dans des encoches d'enroulements statoriques triphasés. A l'intérieur de ce circuit magnétique, qui implique un cylindre creux, tourne le circuit magnétique rotorique et traverse l'arbre qui repose sur des paliers montés dans les flasques fixés au carter. [6]

Les machines asynchrones sont les machines alternatives les plus répandues en les utilise dans de nombreux dispositifs :

- Les stations de pompage ;
- Les appareils simples de levage ;
- Les ascenseurs ;
- Les machines outils de base pour le travail des métaux ou du bois ;

- Les dispositifs de manutention comme les tapis roulants ;
- La ventilation des locaux climatiques ;
- Les compresseurs de groupes producteurs du froid.

II.2.2 Structure de la machine asynchrone

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

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

La machine asynchrone triphasée comporte un stator fixe et un rotor mobile autour de l'axe de symétrie de la machine.

Dans des encoches régulièrement réparties sur la face interne du stator sont logés trois enroulements identiques, à P pair de pôles ; leurs axes sont distants entre eux d'un angle électrique égales à $2\pi/3$.

II.2.3 Stator

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor; dans tous les cas le stator reste au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine et canalisant le flux magnétique. [7]

II.2.3.1 Enroulement et encoches du stator

Le stator des machines petites et moyennes, à basse tension, est exécuté avec des encoches semi-ouvertes et celui des autres machines, le plus souvent, avec des encoches ouvertes. Le type d'enroulement préféré est celui à deux couches, auquel on recourt toujours lorsqu'on a des encoches ouvertes. Comparativement à l'enroulement à une couche, il offre l'avantage de pouvoir être exécuté comme un enroulement à pas partiel (ou à pas raccourci) ; de ce fait, les factures d'enroulements des harmoniques supérieurs sont fortement diminuées. Un autre avantage de cet enroulement est la

faible hauteur radiale de la tête d'enroulement qui limite les pertes additionnelles dans l'espace frontal.

La partie de la machine qui fournit le courant magnétisant est pourvue d'un nombre entier d'encoches par pôle et phase, car avec un enroulement d'excitation situé dans un nombre fractionnaire d'encoches par pôle et phase, la marche de la machine peut devenir irrégulière.

Le nombre q , par pôle et phase du stator doit être, dans tous les cas, supérieur à 2 afin que la dispersion provenant des champs harmoniques supérieur demeure faible. Vu les pertes par pulsation du flux dans le fer des dents, on doit, dans le cas d'encoches ouvertes, choisir le nombre d'encoches du stator supérieur à celui du rotor. [7]

II.2.4 Rotor

Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie, ni continue, ni alternative ce qui simplifie beaucoup sa construction. [8]

II.2.4.1 Rotor bobiné

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

Les extrémités des enroulements rotoriques sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaire (résistances, électroniques de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux ; en effet les pertes rotors pendant la phase de démarrage valant approximativement $1/2J\omega^2$ ne sont pas toujours supportées par les cages [8].

II.2.4.2 Rotor à cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil.

Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. [8]

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

Ce type de moteur est beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et à une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service. Fig. (II.1).

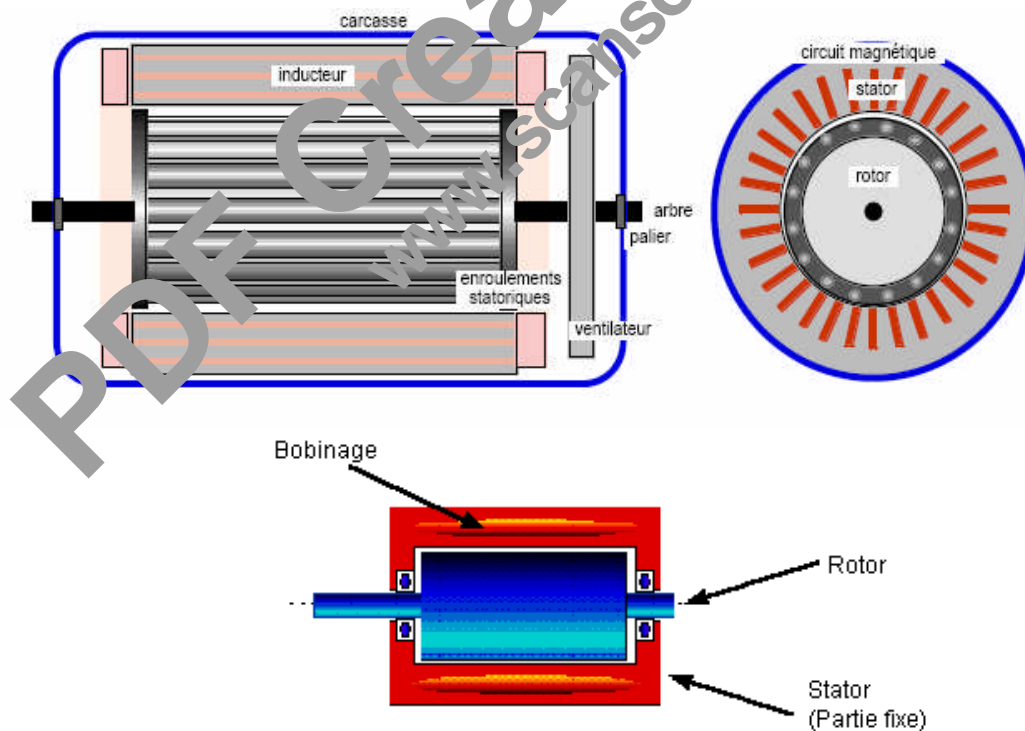


Fig. (II.1) Moteur « à cage d'écureuil »

Caractéristiques (moteur à cage)

- Durée de vie très élevée; maintenance quasi inexistante (paliers...);

- Faible coût.

Mais :

- Vitesse de rotation dépendant fortement de la charge appliquée sur l'axe;

- Contrôle électronique de vitesse et de couple complexe.

II.2.4.2.1 Enroulement et encoche du rotor en court circuit

Dans les rotors en court circuit usuels à barres rondes, les encoches sont exécutées normalement fermées (épaisseur du pont : 0,3...0,5) mm. Les rotors à effet pelliculaire de courant à barres hautes et étroites sont généralement munis d'encoches ouvertes. La cage de démarrage du rotor à double cage est dotée, le plus souvent, d'encoches semi-fermées.

Pour éviter des vibrations (marche mécanique défectueuse), le nombre d'encoches rotoriques doit, en général, être pair. Le seul cas où un nombre impair d'encoches rotoriques ne donne pas lieu à des vibrations est celui où les nombres P (nombre de pôles) et N_2 (encoches) sont un multiple d'un seul et même nombre impair [9].

II.2.4.3 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 [7].

II.2.4.4 Rotor à encoches profondes

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

Ce type de moteur, dit à encoches profondes, est très utilisé, notamment dans le cas des moteurs à haute tension à fort couple de démarrage. Il présente cependant l'inconvénient d'entraîner une augmentation du coefficient de dispersion des enroulements, donc une diminution du facteur de puissance du moteur, et bien sûr, d'exiger un diamètre de rotor plus important. Pour remédier à cet

inconvenient, on a parfois fait appel à des conducteurs ayant des formes plus compliquées, en trapèze, voir en L (la base du L étant en fond d'encoche)[7].

II.3 CHOIX DU NOMBRE D'ENCOCHES

Le choix du nombre d'encoches du stator et du rotor obéit à des contraintes de nature géométrique et électromécanique.

Les contraintes géométriques sont avant tout liées à la mise en place du bobinage statorique. Pour limiter les coûts, un certain rapport hauteur/largeur d'encoches (2 à 4) doit être adopté. De plus, le pas d'encoche doit s'accroître avec le diamètre d'alésage.

Le choix du nombre d'encoches statoriques est lié au nombre de pôles et au nombre de phases ainsi qu'aux contraintes géométriques.

Le choix du nombre d'encoches rotoriques est lié au nombre d'encoches statoriques et doit être tel que les effets réductances (influence de la variation des perméances de dents) soient minimisés afin de réduire le bruit et les couples parasites et d'éliminer toute attraction unilatérale [9].

II.4 L'ENTREFER

Pour des raisons mécaniques, on choisit l'entrefer aussi grand que possible. Un entrefer assez grand est également avantageux pour ce qui est des pertes supplémentaires dans le fer, produites par les pulsations du champ, et de la distorsion provoquée par les champs harmoniques supérieurs. En revanche, eu égard au courant magnétisant (facteur de puissance) l'entrefer doit être maintenu aussi faible que possible.

Dans les machines ayant un nombre de paires de pôles $p \geq 12$, l'épaisseur de l'entrefer dépend exclusivement des exigences mécaniques. Un dimensionnement économique de la carcasse et de l'arbre exige le maintien d'un rapport déterminé de l'entrefer à l'alésage [9].

II.5 L'ISOLATION

L'isolation du conducteur est en papier et en coton ; l'augmentation d'épaisseur du conducteur se monte à 0.6 mm dans le sens de la largeur et à 0.7 mm dans celui de la hauteur (compte tenu du fait que pour le rapport relativement grand des côtés du conducteur, soit $6.9/2.6=2.65$, l'isolation sur le côté long, n'adhère pas aussi bien que sur le côté court).

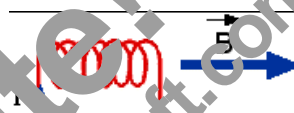
L'enroulement est isolé par rapport au fer des dents au moyen d'une gaine de 1,9 mm d'épaisseur. A la tension nominale de 3000 V, il n'est pas encore nécessaire d'imprégner l'enroulement sous vide. Pour chaque côté de bobine, il y'a 8 conducteurs disposés les uns au-dessus des autres. Etant donné l'isolation relativement épaisse des conducteurs, il n'est pas nécessaire de disposer des intercalaires spéciaux entre eux. Les deux cotés de bobine sont séparés par une feuille de presspan de 2,5 mm d'épaisseurs. [9]

II.6 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE

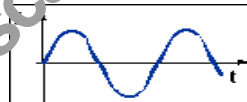
Principe de fonctionnement:

Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives.

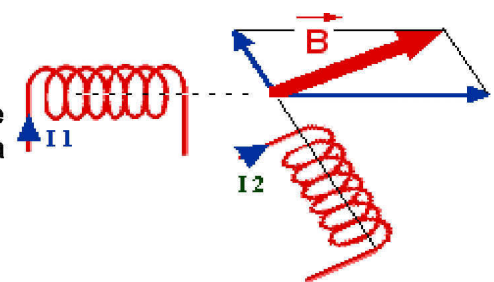
La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant i . C'est une grandeur vectorielle.



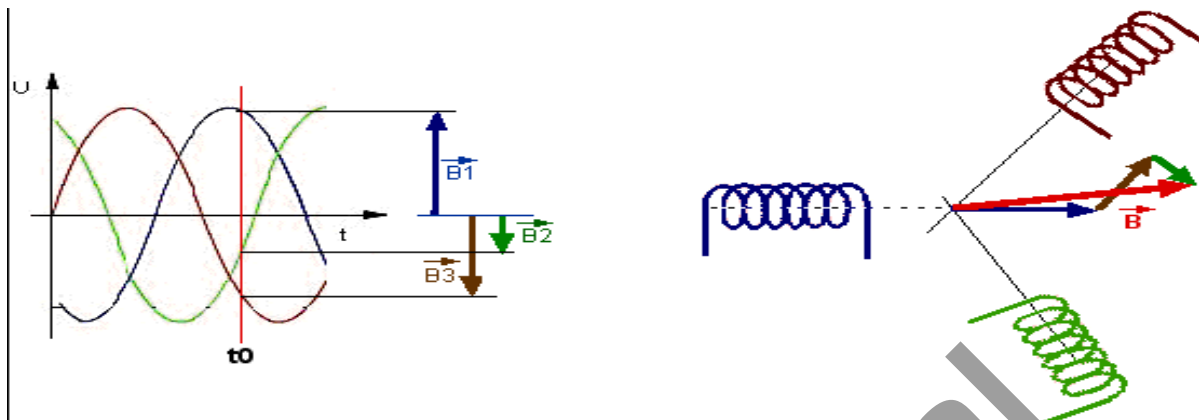
Si le courant est alternatif le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.



Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres.



Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit **50 Hz**.



Les 3 enroulements statiques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une poussoir au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.

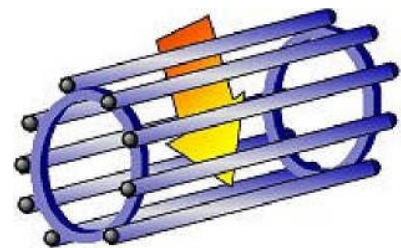
$$B_1 = B_m \cos \omega t$$

$$B_2 = B_m \cos (\omega t - 2\pi/3)$$

$$B_3 = B_m \cos (\omega t + 2\pi/3)$$

Le rotor est constitué de barres d'aluminium logées dans un circuit magnétique. Ces barres sont reliées à leur extrémité par deux anneaux conducteurs et constituent une "cage d'écureuil". Cette cage est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance.

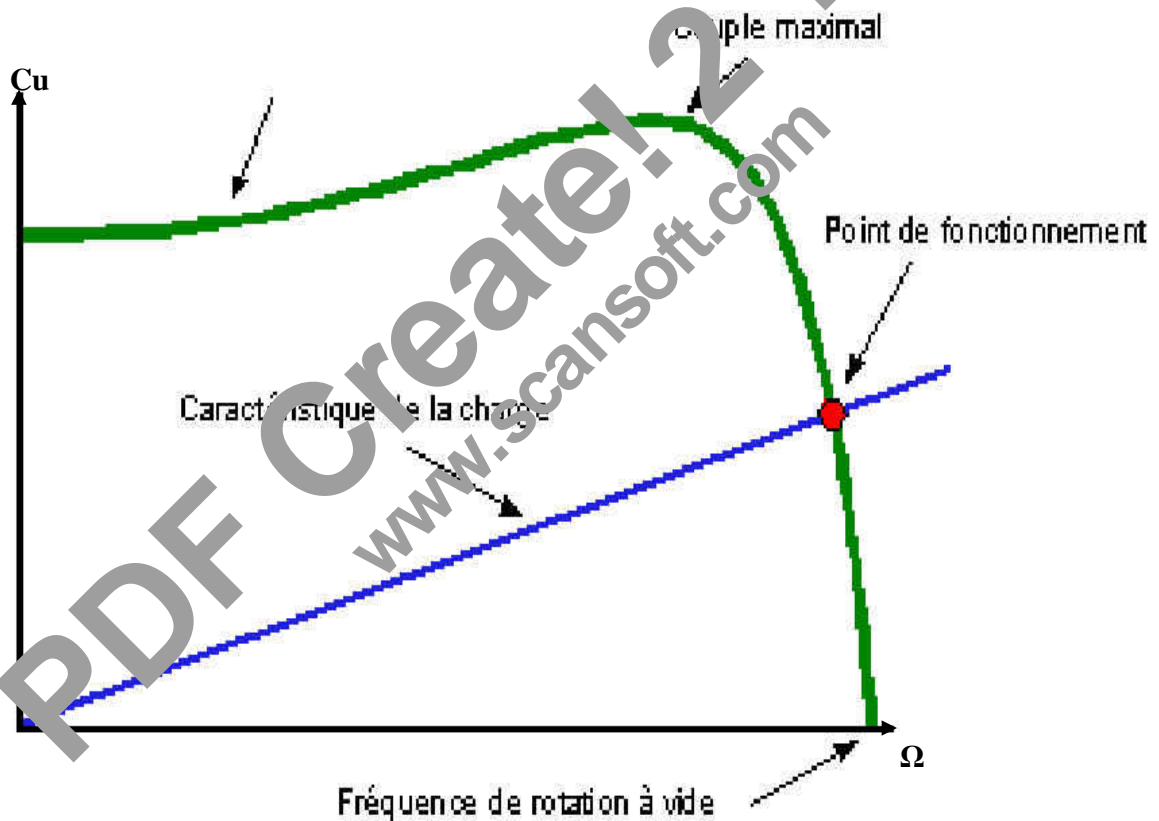
Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. D'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier.



Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de **moteur asynchrone**.

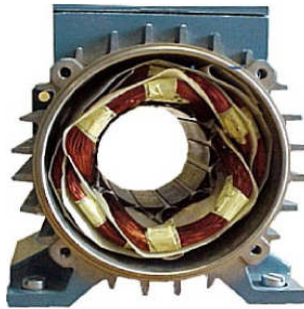
II.6.1 Caractéristique du moteur asynchrone:

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement, et pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.



$$C_u = f(\Omega)$$

II.6.2 Le bobinage:

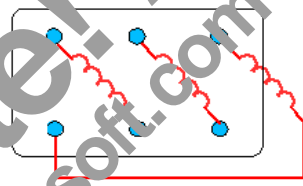


Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à bornes située sur le dessus du moteur. On dispose ainsi de 6 connexions, une pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon le schéma ci-contre.

Les bobines sont logées dans les encoches du stator. S'il y a une paire de pôles magnétique pour chacune des trois phases, la fréquence de synchronisme est alors de 3000 tr/mn. si on augmente le nombre de paires de pôles, il est possible d'obtenir des moteurs avec des fréquences de rotation différentes.

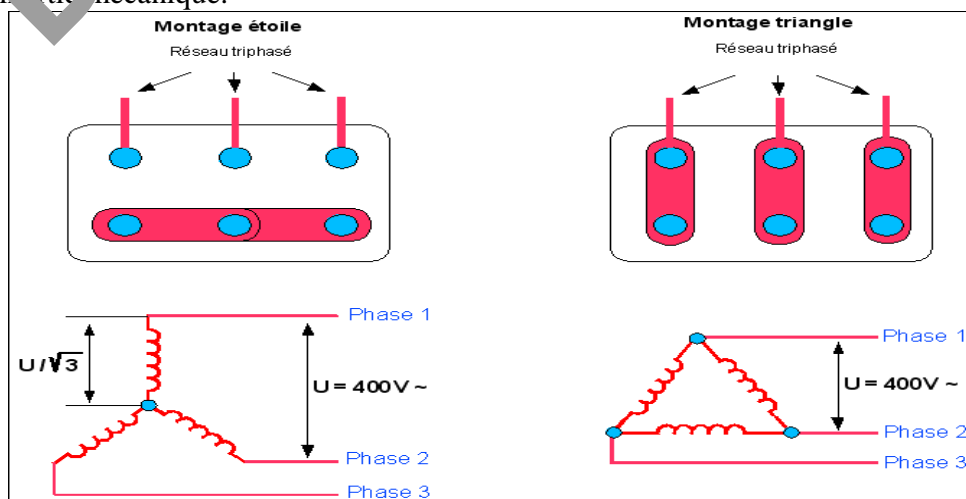
1 paire de pôles => 3000 tr/mn

2 paires de pôles => 1500 tr/m



II.6.3 Branchement étoile ou triangle:

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle. Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230V doit être relié sur un réseau 400V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique.



II.6.4 Puissance et rendement:

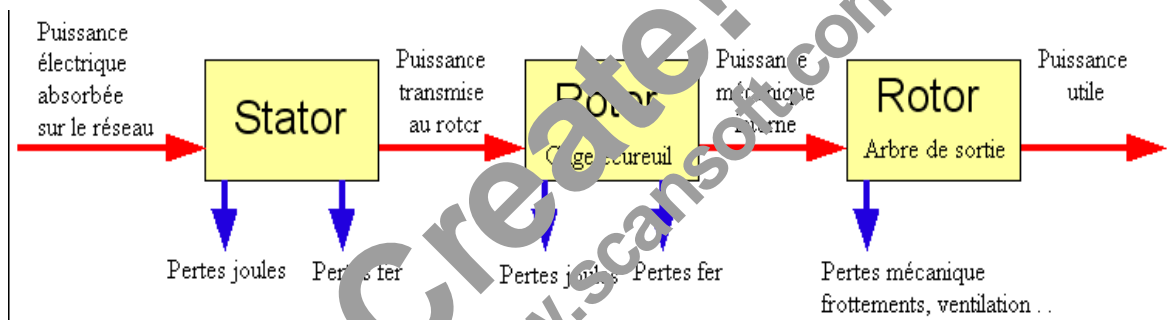
La puissance consommée sur le réseau en triphasé est:

$$P = UI\sqrt{3} \cos \phi$$

Le $\cos \phi$ du moteur est une caractéristique indiquée sur la plaque signalétique.

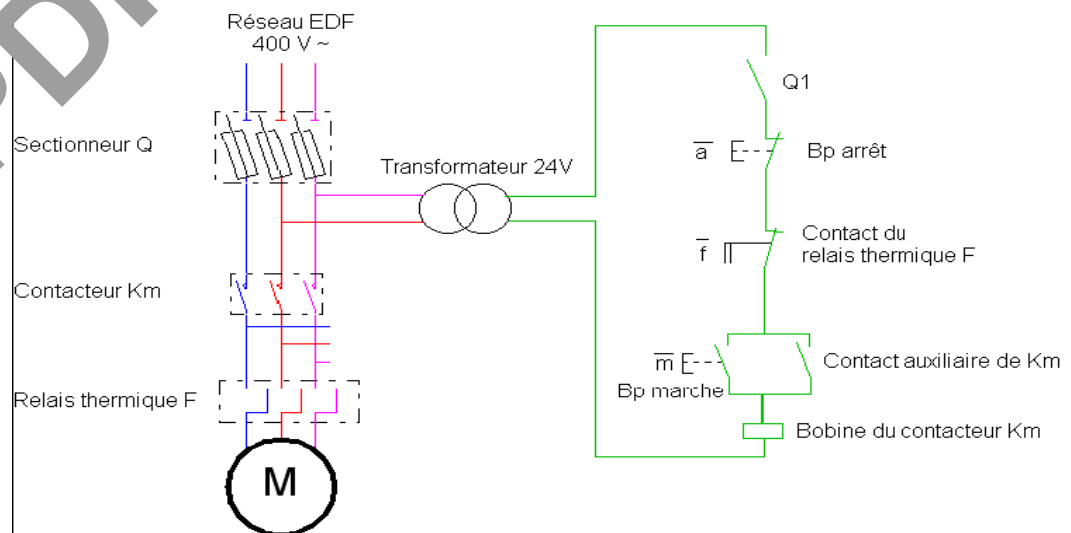
LEROY-SOMER MOT. 3 ~ LS 100 L N° 8945/79 22 kg Code : T					
IP 55	I cl. F	40°C	S1	%	c/h
	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
Δ 380	50	1415	3	0,83	7,1
Δ 400	50	1420	3	0,78	7
Δ 415	50	1430	3	0,74	7
MADE IN FRANCE DE NDE MOTEURS LEROY-SOMER IEC 34-1 (87)					

Bilan des puissances:



II.7 Liaison avec le réseau EDF et la protection du moteur:

Le moteur est relié au réseau par un certain nombre de dispositifs de sécurité et de commande.

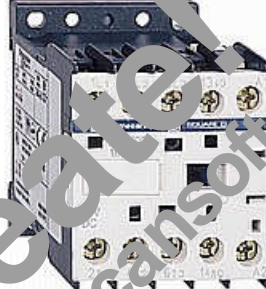


- **Sectionneur** d'isolement avec fusibles permet de déconnecter le moteur du réseau pour des opérations de maintenance par exemple. Il protège également le dispositif en aval contre les risques de court circuit grâce aux fusibles.
- **Le contacteur** permet d'alimenter le moteur avec une commande manuelle ou automatique avec un automate programmable.
- **Le relais thermique** protège le moteur contre les surcharges de courant, l'intensité maximale admissible est réglable. Son action différentielle permet de détecter une différence de courants entre les phases en cas de coupure d'une liaison par exemple.
- Le transformateur abaisse la tension secteur à une valeur de 24V pour garantir la sécurité des utilisateurs sur la partie commande.

Sectionneur



Contacteur



Relais thermique



NB : Pour modifier le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il suffit de permuter deux des trois phases.

II.8 La variation de vitesse:

Malgré sa conception ancienne, le moteur asynchrone reste toujours d'actualité car l'électronique permet maintenant de faire varier sa fréquence de rotation. Pour faire varier celle-ci, il faut modifier la fréquence de rotation du champ magnétique et donc la fréquence du courant d'alimentation. Les variateurs de vitesse sont des variateurs de fréquence.



Ils permettent

- . Une gamme de vitesses de 5% à 200% de la vitesse nominale
- . Une conservation du couple sur toute la gamme de vitesses
- . Des rampes d'accélération et de décélération Deux sens de rotation

PDF Create! 2 Trial
www.scansoft.com

PDF Create! 2 Trial
www.scansoft.com