

Introduction

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en électrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de sciences parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LAPLACE, OHM, FARADAY; Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de l'électromagnétisme moderne dans son fameux ouvrage ;"Treatise on Electricity and Magnétisme".

Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce a la production d'énergie électrique par les génératrices à courant continu (dynamos) de gramme et de siemens. Ensuite, dans les années (1880), furent conçus les alternateurs et les transformateurs polyphasés.

Les premiers devaient concurrencer et détrôner les dynamos pour la production de l'électricité. Enfin les travaux du yougoslave TESLA et de l'italien FERRARIS complétèrent les systèmes a courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888).

Les machines asynchrones couvrent actuellement l'essentiel des besoins de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, A titre d'exemple, elles sont utilisées pour la quasi-totalité des fonctions auxiliaires d'une centrale de production électrique ; ainsi que dans les procédés industriels. L'étude de ces machines acquiert donc une grande importance.

La machine asynchrone est une machine à courant alternatif qui ne possède pas de connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse du rotor est différente de la pulsation des courants du stator. Elle est très utilisée dans les applications industrielles, car de par sa conception, son cout est relativement moindre par rapport à celui des autres machines, sa robustesse au niveau électromagnétique est grande, et une bonne standardisation existe entre les différents fabricants. Cependant, la simplicité de conception de cette machine cache une complexité fonctionnelle assez importante.

La machine asynchrone a long temps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance.

On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), dans l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. A l'origine, les machines asynchrones étaient utilisées uniquement en moteur, mais toujours grâce à l'électronique de puissance, elles sont de plus en plus souvent utilisées en génératrice; c'est par exemple le cas des éoliennes.

Dans ce chapitre on présente le principe de fonctionnement de la machine asynchrone ainsi que sa constitution et ses principales caractéristiques avant de présenter les différents modes de démarrage des moteurs asynchrones.

II.1. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Pour appréhender le fonctionnement de la machine asynchrone, on considère l'expérience du flux coupé en fonctionnement générateur que l'on modifie de la façon suivante, cette fois les conducteurs de longueur l sont fixés entre eux et court-circuités par des barres conductrices extrêmes formant ainsi un rail [11].

En outre, le champ magnétique se déplace rapidement au dessus de cet ensemble (figure II.1).

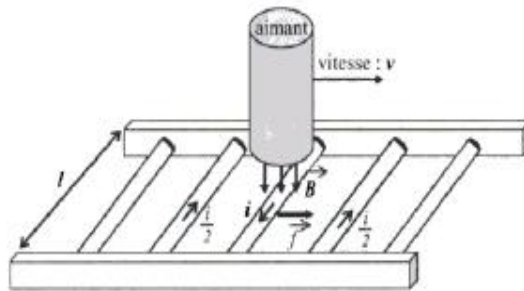


Figure II.1: Déplacement du champ magnétique

D'après la loi de Faraday, une tension est induite dans chaque conducteur coupé par le champ magnétique.

$$E = BLv \quad (II.1)$$

V : vitesse de rotation tr/min

B : champ magnétique

L : longueur [m]

E : tension induite dans chaque conducteur [V]

Une première conséquence apparaît. Comme chaque conducteur est court circuit, un courant i se met à circuler dans le conducteur qui est momentanément en dessous du champ magnétique (ou de l'aimant), comme ce courant traverse le champ magnétique, d'après la loi de Laplace, une force mécanique est appliquée sur ce conducteur. Cette force entraîne le conducteur dans le sens de déplacement du champ magnétique. Si ces conducteurs sont mobiles, ces derniers accélèrent et à mesure qu'ils atteignent de la vitesse, la vitesse à laquelle le champ magnétique est coupé par ces conducteurs ralentit et la tension induite diminue, de même que le courant i .

Cet effet de la loi de Lenz a pour conséquence de diminuer la force de Laplace. Ainsi si les conducteurs se déplaçaient à la même vitesse que le champ magnétique, la tension induite, le courant i et la force s'annuleraient. La vitesse du rotor est donc légèrement inférieure à la vitesse du champ magnétique.

Dans une machine asynchrone à cage, le rail dans l'exemple présenté à la figure(II.2) ci- dessus est recourbé pour former la cage d'écureuil et le déplacement du champ magnétique devient un champ tournant créé par trois bobines/enroulements au stator. Les bobinages au stator sont alimentés par un système triphasé de courant de même pulsation et engendrent des flux statoriques .

De part le théorème de Ferraris [12], un champ magnétique tournant est créé dans l'entrefer (et se reboucle dans la carcasse du rotor et du stator). Sa vitesse encore appelée la vitesse du synchronisme est égale à la pulsation du système triphasé équilibré de courants qui parcourent ces enroulements, pour le stator de la machine asynchrone étudiée, le champ magnétique généré par le stator tourne de un tour par période des grandeurs électriques; dans le cas où le stator serait composé d'un nombre de paire de pôle par phase quelconque (p), la vitesse de synchronisme serait donc

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} \quad (II.2)$$

Comme expliqué précédemment, la vitesse de l'arbre de la machine est inférieure à la vitesse de synchronisme en régime établi, $\Omega \neq \Omega_s$ les conducteurs du rotor sont alors soumis à un champ magnétique variable qui tourne par rapport à eux-mêmes à la vitesse relative.

$$\Omega_r = \Omega_s - \Omega. \quad (\text{II.3})$$

Il en résulte l'induction de f.é.m. dans ces conducteurs de pulsation $\omega_r = p\Omega_r$. Les enroulements au stator étant en circuit fermé sur eux-mêmes pour les machines à cage, les f.é.m. induites vont donner naissance dans le circuit rotorique fermé à des courants rotoriques de même pulsation. Ces courants créent à leur tour un champ magnétique rotorique qui tourne par rapport au rotor à la vitesse .

$$\Omega_r = \frac{\omega_r}{p} \quad (\text{II.4})$$

Étant donné que le rotor tourne à la vitesse Ω_r , la vitesse du champ magnétique par rapport au stator est $\Omega + \Omega_r = \Omega_s$

Le champ magnétique généré par les enroulements du rotor et le champ magnétique généré par les enroulements du stator tournent donc à la même vitesse du synchronisme et s'associent pour créer « un champ magnétique résultant » dans l'entrefer. Ainsi, les phénomènes physiques engendrés par le circuit statorique, y compris ceux induits par le circuit rotorique vont générer des grandeurs électriques au niveau du circuit statorique à la pulsation ω_s .

Les grandeurs électriques propres au circuit rotorique seront toutes à la pulsation ω_r .

II.2.Constitution d'une machine asynchrone :

La machine asynchrone comporte une partie fixe constituée d'une carcasse à l'intérieur de laquelle sont logés le circuit magnétique et le bobinage du stator d'une part, et une partie mobile appelée rotor d'autre part.

La carcasse nervurée à ailettes longitudinales est un monobloc en fonte ou en acier. Sur chaque moteur est fixé coté opposé à l'accouplement un capot en tôle d'acier ou alliage d'aluminium ou polyester thermodurcissable armé de fibres de verres, à l'intérieur duquel se trouve le ventilateur monté sur l'arbre.

Aspiré à travers le grillage du capot par le ventilateur, à ailettes droites permettant un fonctionnement correct dans les deux sens de rotation, l'air de refroidissement est pulsé le long des ailettes de la carcasse.

Les circuits magnétiques sont fabriqués avec de la tôle magnétique au silicium, à faibles pertes (par exemple : 1.7 W/kg, à un Tesla et à 60Hz) et isolée double face; elle est découpée à la presse, encochée puis simplifiée. [13].

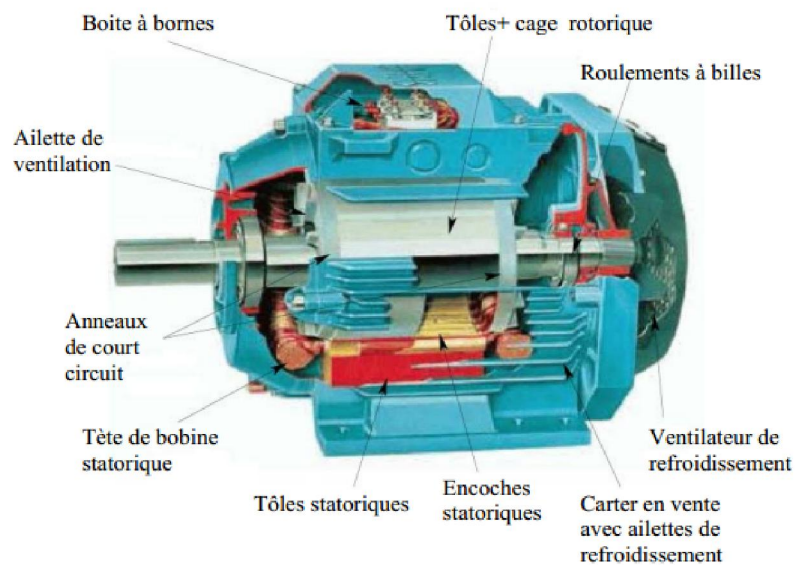


Figure II.2: Machine asynchrone

II.2.1. Le stator :

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Ces tôles sont pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont pour les machines de puissance plus importante, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet.

Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. La figure II.3 représente la constitution du stator d'une machine asynchrone. [14].

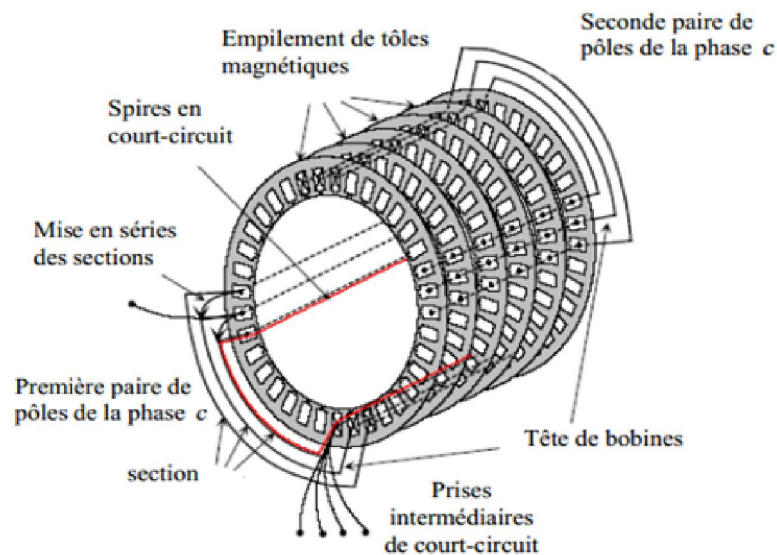


Figure II.3: Vue schématique en perspective du stator (circuit magnétique, conducteurs d'encoches, tête de bobines).(enroulement statorique d'une machine a 4 pôles).[15]

II.2.2.Le Rotor :

Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie, (ni continue, ni alternative) ce qui simplifie beaucoup sa construction. On distingue deux types de rotor.

II.2.2.1.Rotor à bagues :

Ce rotor à pôle lisse comporte dans ces rainures un enroulement identique à celui du stator, les trois phases sont branchées en étoile ce qui permet d'insérer un

rhéostat dans leur circuit, cette rhéostat qui est mise en marche normale et permet d'assurer des meilleures conditions de démarrage .

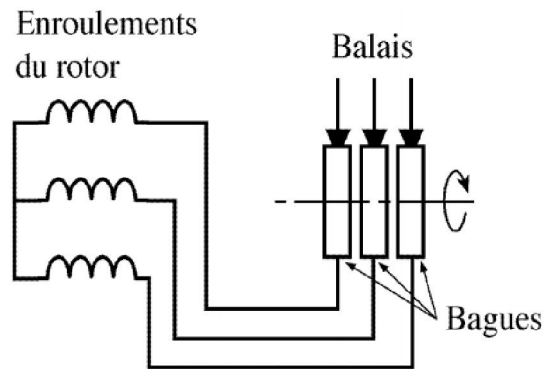


Figure II.4: Rotor bobiné

Signalons que, si le nombre des pôles du rotor est obligatoirement le même, que celui de stator. Le nombre de phases peut être différent. Cependant il n'est pas intéressant pour un moteur à bague d'augmenter le nombre des phases du rotor car il faudrait augmenter le nombre des bagues et des balais. [16]

II.2.2.2.Rotor à cage :

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réuni à leurs extrémités par deux couronnes de cuivre ou d'aluminium. Ces cages comportent généralement des barreaux décalés afin de réduire les harmoniques d'encoches, il en résulte une légère diminution de la F.E.M induite par le champ tournant statorique dans ces barreaux. Un tel rotor est très robuste, et sa construction est particulièrement économique.

La cage étant généralement réalisée avec l'aluminium que l'on coule dans les encoches préparées à l'avance. En effet il n'est pas nécessaire d'isoler les barres et la masse du rotor car les courants induits s'établissent surtout dans les barres. Leur étude théorique est identique à celle des moteurs à bagues.

Si N désigne le nombre des barres d'une cage, les extrémités des barres, étant en court circuit par les flasques. Un rotor à cage est assimilable à un rotor à bagues qui aurait $q=N$ phases si la cage tourne dans un champ bipolaire alors qu'il a $q=\frac{N}{p}$ phases si la cage tourne a un champ $2P$ pôles.

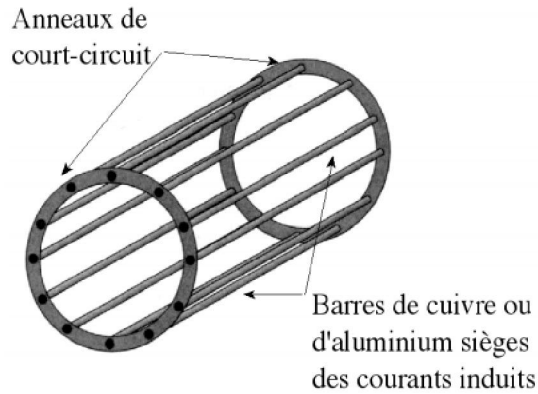


Figure II.5: Rotor à cage d'écureuil

II.2.3.Les organes mécaniques :

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement fabriqué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc....), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire). Il est supporté par un ou plusieurs paliers.

Ces paliers soutiennent le rotor et assurent la libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Les paliers sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance.

Afin d'assurer la variation de vitesse des moteurs électriques mais aussi la conversion de l'énergie, de nombreuses machines se voient associées un convertisseur. Ainsi, de nos jours, on trouve dans un grand nombre de procédés industriels, des associations entre des convertisseurs statiques et des machines électriques (pompage, levage,...). Cela permet de fournir aux moteurs des tensions et des courants de fréquence variable servant à commander la machine en couple ou en vitesse.

II.3. Caractéristiques de la machine asynchrone :

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique B_1 tournant à la pulsation de synchronisme :

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p} \quad (\text{II.5})$$

Ω_s : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en rad/s

ω : Pulsation des courants alternatifs en rad/s

$$\omega = 2\pi f \quad (\text{II.6})$$

p : nombre de paires de pôles.

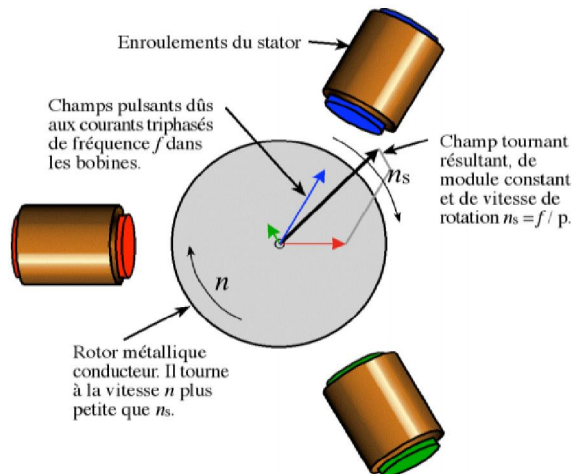


Figure II.6: Interaction rotor stator

II.3.1. Caractéristique de fonctionnement d'une machine asynchrone :

- **Fonctionnement à vide :** A vide le moteur n'entraîne pas de charge, donc le glissement est nul et le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

$$\text{A vide} \quad g = 0 \Rightarrow n_0 = n_s$$

On peut observer aussi que le facteur de puissance à vide est très faible ($< 0,2$) et le courant absorbé reste fort (P est petit et Q est grand).

On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

- **Fonctionnement en charge :** Le moteur fournit maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif. Il faut bien savoir que le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

II.3.2. Caractéristique mécanique couple / vitesse :

La figure (II.7) donne la caractéristique généralisée du couple en fonction de la vitesse pour les trois modes de fonctionnement d'une machine asynchrone. La machine fonctionne normalement comme moteur, développant un couple variant entre zéro et le couple de pleine charge C_n . Or, entre ces limites, la courbe donnant le couple en fonction de la vitesse est essentiellement une ligne droite. A tension constante, la pente de cette droite dépend surtout de la résistance du rotor: plus la résistance est grande, plus la pente est faible, [17].

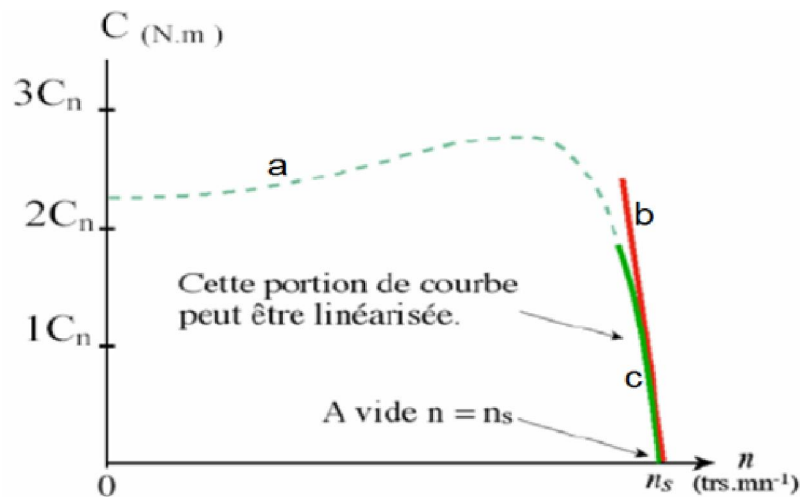


Figure. II.7 : Caractéristique mécanique.

- C_n : Couple nominal.

-**a** Couple de démarrage du moteur. On constate que ce couple est fort, la machine peut démarrer en charge.

-**b** La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite.

-**c** Zone de fonctionnement du moteur. On constate qu'elle est presque linéaire, cette partie de la courbe est très verticale la vitesse varie peu avec la charge.

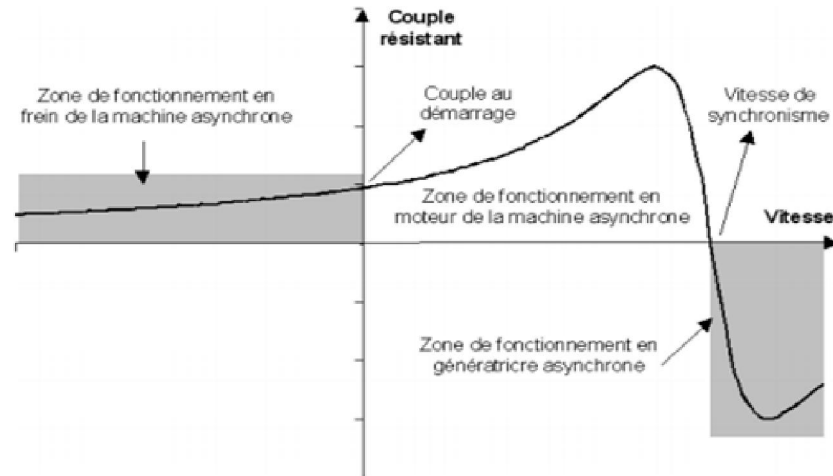


Figure II.8 : Les trois domaines de fonctionnement de la machine

II.3.3. Couple du moteur asynchrone :

La définition du couple électromagnétique C'est :

$$C_e = \frac{p_e}{\Omega_s} \quad (\text{II.14})$$

Et celle du couple utile :

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad (\text{II.15})$$

La relation entre Cu et Ce découle de ces deux définitions :

$$\frac{PM}{\Omega} = \frac{(1-g).p_e}{(1-g).\Omega_s} \quad (\text{II.16})$$

D'où :

$$C_e = \frac{PM}{\Omega} = P_u + \frac{P_m}{\Omega} = C_u + \frac{P_m}{\Omega} \quad (\text{II.17})$$

En définitive

$$C_u = C_e - \frac{P_m}{\Omega} \quad (\text{II.18})$$

Le couple électromagnétique est égale au couple utile quand les pertes mécaniques sont négligeables.

Avec :

C_u : Couple utile [N.m]

c_n : Couple nominal [N.m]

P_{js} : Pertes joule statorique [W]

p_{ele} : Puissance transmise au rotor [W]

P_M : Perte mécanique [W]

II.3.4.Le rendement :

Par définition, le calcul du rendement suppose la mesure des puissances utiles et absorbée, au cours d'un essai direct, et s'exprime :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{II. 7})$$

Avec :

p_a : Puissance absorbée [W]

p_u : Puissance utile [W]

η : Rendement

Toute fois, en l'absence d'essai direct , on peut calculer le rendement approché, associé à un fonctionnement donné, à partir des différentes pertes de la machine dans ce fonctionnement , calculées ou mesurées au cours d'essais à faibles puissances (essais à vide , en court -circuit , sous tension réduite ,...). le rendement s'exprime alors:

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + \text{pertes}} \quad (\text{II.8})$$

Le rendement est toujours inférieur à l'unité ($\eta < 1$) et il est d'autant plus voisin de l'unité que le rapport des pertes à la puissance utile transformée dans la machine est plus faible. Pour éviter un échauffement excessif de la machine, les pertes qui s'y dérogent sous forme calorifique doivent être évacuées vers l'extérieur à l'aide d'un système de refroidissement dans lequel circule un fluide refroidisseur, un gaz ou un liquide.

II.4. Les pertes dans les machines asynchrones :

Les moteurs asynchrone ont les mêmes pertes que tous autres moteurs électriques, c'est-à-dire les pertes mécaniques et les pertes complémentaires, pertes fer, pertes cuivre. Les pertes principales sont celles qui sont dues aux principaux phénomènes électromagnétiques et mécaniques qui se manifestent lors du fonctionnement de la machine.

Ces pertes sont : les pertes principales dans le cuivre de l'enroulement statoriques et électrique, les pertes dans le fer, les pertes par frottement dans les paliers et par frottement des balais sur les bagues ainsi que les pertes par ventilation, [18].

II.4.1. Les Pertes dans les circuits électriques :

Ce sont les pertes par effet Joule dans les enroulements d'induit, d'excitation et, plus généralement, dans toutes les parties conductrices d'une machine traversées par des courants, compris les balais, [19].

II.4.1.1. Pertes normales en basse fréquence :

Tout conducteur de résistance R parcouru par un courant continu ou alternatif de valeur efficace I est le siège de pertes par effet joule qui valent :

$$P_j = R I^2 \quad (\text{II.9})$$

Les pertes par effet joule sont :

- a) pertes par effet joule dans les enroulements statoriques.
- b) pertes par effet joule dans les enroulements rotorique.

En basse fréquence et pour les conducteurs de section filiforme, la densité de courant est uniformément répartie dans toute la section du conducteur. La résistance d'un enroulement, réalise à l'aide de fils fin.

$$R_0 = \rho \cdot \frac{L_{moy} \cdot N_s}{a \cdot s} \quad (\text{II.10})$$

Ou :

ρ : Résistivité ;

a : Nombre de voies parallèles ;

L_{moy} : Longueur moyenne de stator ;

N_s : Nombre de spires en série.

La résistivité ρ doit être celle qui correspond à la température de fonctionnement de l'enroulement selon la loi :

$$\rho(\theta_2) = \rho(\theta_1) \frac{1+\alpha.\theta_2}{1+\alpha.\theta_1} \quad (II.11)$$

α : Coefficient caractéristique du matériau .

ρ : Résistivité

II.4.1.2. Les Pertes dans le circuit magnétique :

Ces dernières correspondent à un déplacement des électrons libres du matériau sous l'effet d'une variation de flux magnétique, alors que les pertes par hystérésis correspondent à une modification locale du mouvement des électrons liés (au noyau), qui modifie l'orientation des moments magnétiques des atomes associés, sous l'effet de la variation de champ magnétique appliqué.

II.4.1.3. Les pertes par courant de Foucault :

Dans ces alliages résultent, selon la loi de Faraday, des variations temporelles des flux qui induisent des forces électromotrices, dans leurs masses.

Ces f.e.m générées dans ces alliages conducteurs, de résistivité voisine de $50.10^{-8} \Omega.m$, donnent naissance à des courants qui se ferment dans la masse du fer dans des plans normaux à la direction du flux.

Le phénomène est analogue à celui qui génère des courants dans une boucle fermée conductrice traversée par un flux variable, la masse du fer pouvant être décomposée, par la pensée, en un ensemble de boucles fermées conductrices. Ces courants sont constitués par le mouvement des électrons libres du matériau déduire des équations de Maxwell à partir du champ magnétique d'excitation, comme magnétique, du fait de l'action du champ électrique local, que l'on peut dans tout conducteur excité par une f.e.m. On peut exprimer les pertes par courant de Foucault par la relation :

$$p_f = K_r(e.f.B_m^2) \quad (II.12)$$

Avec :

p_f : Pertes par effet de Foucault ;

e : Epaisseur de la tôle ;

f : Fréquence de l'induction (Hz)

B_m : Induction maximale à la fréquence (T).

K_r : Coefficient caractéristique de tôle.

II.4.1.4. Les pertes par hystérésis :

Les pertes par hystérésis résultent de transformation de l'organisation de la matière en domaines de Weiss due à la variation en intensité et/ou en direction du champ magnétique appliqué. La variation de la magnétisation provoque des déplacements, des suppressions ou des créations des parois entre domaines qui tendent à orienter leurs moments dans le sens du champ appliqué.

Ces transformations irréversibles se font avec apparition d'hystérésis et absorbent de l'énergie.

On peut déterminer les pertes par hystérésis par l'expression :

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^2 \quad (\text{II.13})$$

Avec :

K_h : Coefficient de pertes par Hystérésis.

f_s : Fréquence de l'induction (Hz)

B_m : Induction maximale

II.4.2. Pertes mécaniques :

Ces pertes prennent en compte tous les frottements dus à la rotation de la partie tournante de la machine, que ce soit des frottements entre solides ou entre solide et fluide.

II.4.2.1. Les pertes par frottement dans les roulements :

Les pertes mécaniques, dues aux frottements dans les roulements, ont des origines très diverses, elles proviennent :

- ✓ Des contacts corps roulants chemin de roulement, corps roulants cage, cage bagues ;
- ✓ Du barattage (brassage) du lubrifiant ;
- ✓ Des joints intégrés aux roulements.

Ces frottements dépendent de nombreux facteurs :

- ✓ Type de lubrification (graisse, barbotage ou injection d'huile) ;
- ✓ Viscosité, voir la rhéologie (Viscosité élasticité) du lubrifiant ;
- ✓ Type de géométrie interne du roulement.
- ✓ Charge et vitesse de rotation auxquelles les roulements sont soumis.

L'évaluation des pertes par frottement dans les roulements ou les joints peut être effectuée de deux manières :

- Par l'utilisation de formules simples issues de l'expérience et largement diffusées par les constructeurs de roulement ;
- Par le calcul des pertes élémentaires pour chaque contact interne, cette démarche est encore du domaine de la recherche et est employée lorsque les roulements sont sollicités sous des conditions très sévères.

Par exemple dans l'aéronautique, cette méthode est très lourde à mettre en œuvre, ne sera pas abordée dans ce travail.

II.4.2.2. Les pertes par frottement dans les paliers :

Les pertes par frottement dépendent du type de palier (lisse ou à roulements) et de la lubrification. Dans les petites machines, on obtient des pertes acceptables en utilisant des roulements à billes ou à galets lubrifiés avec de la graisse consiste.

Dans les grosses machines, on utilise des paliers à friction briffés, pour réduire le frottement, avec des huiles minérales. Toutes choses étant égales par ailleurs, les pertes par frottement, dans les paliers croissent avec l'augmentation de la vitesse de rotation, de la masse du rotor et du diamètre du tourillon dans la zone du palier, [20].

II.5. Bilan énergétique :

La figure (II.10), représente les différentes puissances et les pertes de la machine asynchrone.

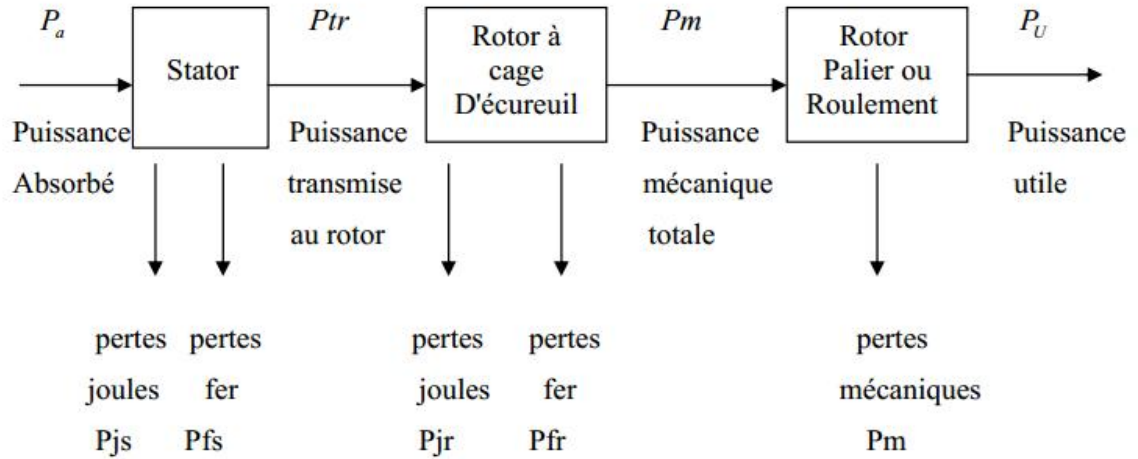


Figure II.10. Bilan énergétique d'un moteur asynchrone

- ❖ Puissance absorbée : $P_a = \sqrt{3}UI \cos \phi$
- ❖ Pertes : - Joule stator : $P_{js} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I^2$
 - Fer stator : P_{fs}
 - Mécanique : P_m
- ❖ Pertes : - Joule rotor : $P_{jr} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I^2$
 - Fer rotor : P_{fr}
- ❖ Puissance utile : $P_u = \sqrt{3}UI \cos \phi - \text{pertes}$
- ❖ Puissance transmise au rotor : $P_{\text{éle}} = P_u - \text{pertes stator} = P_a - P_{js} - P_{fs}$

Les pertes joules rotor sont égales au produit du glissement par la puissance transmise, [19].

II.6. Avantages et inconvénients du moteur asynchrone :

Si l'on compare le moteur asynchrone au moteur shunt à courant continu, on constate que les caractéristiques dans leurs parties stables, sont identiques, ce qui conduit aux mêmes applications industrielles. En ce qui concerne le choix d'un moteur

pour une application donnée, il est intéressant de signaler les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs.

II.6.1. Avantages du moteur asynchrone :

Comparé au moteur shunt, le moteur asynchrone a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Son prix d'achat est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien.

Ses deux qualités fondamentales (prix et solidité) résultent du fait qu'il n'a pas de collecteur. En effet, le collecteur est un organe coûteux et fragile qui nécessite un entretien fréquent : changement des balais.

II.6.2. Inconvénients du moteur asynchrone :

La vitesse dépend de la charge. Pour les moteurs de moyenne et grande puissance, le temps de démarrage est long (inertie), il faut gérer la pointe de courant de démarrage égale 6 à 8 fois le courant nominal.

II.7. Modes de Démarrage des moteurs asynchrones :

Lorsque la machine asynchrone fonctionne en moteur Le courant I_{dd} en démarrage direct varie entre 3 et 8 fois le courant nominal. Le couple C_{dd} en démarrage direct est toujours au moins égal au couple nominal ; le couple maximal est approximativement le double du couple nominal Les différents procédés de démarrage ont pour objectif fondamental de limiter l'intensité absorbée tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur-machine entraînée » .nous exposerons et les différents types de démarreur.

➤ Démarrage direct :

C'est un procédé de démarrage simple obtenu en un seul temps, le stator du moteur est couplé directement sur le réseau, le moteur démarre sur des caractéristiques naturelles avec une forte pointe.

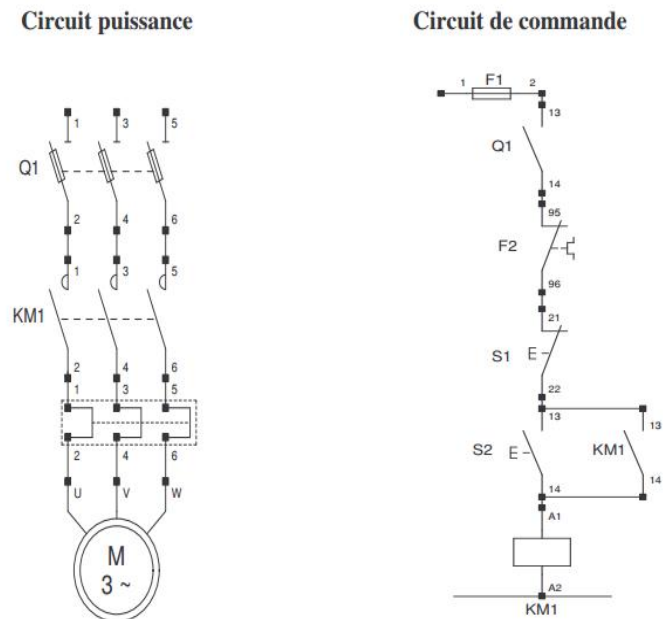


Figure II.11.Circuit de puissance et de commande d'un démarrage direct

✓ **Circuit de commande**

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1, mise sous tension de moteur
- impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien de KM1 (13-14).

• **Arrêt :**

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.

• **Protection**

- par fusible contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

- **Emploi**

-petites machines pouvant démarrer à pleine charge.

- **Avantages**

- démarreur simple.

- Economique.

- Couple de démarrage important.

- **Inconvénients**

- pointe de courant très importante.

- Le réseau doit pouvoir admettre cette pointe.

- Démarrage brutal.

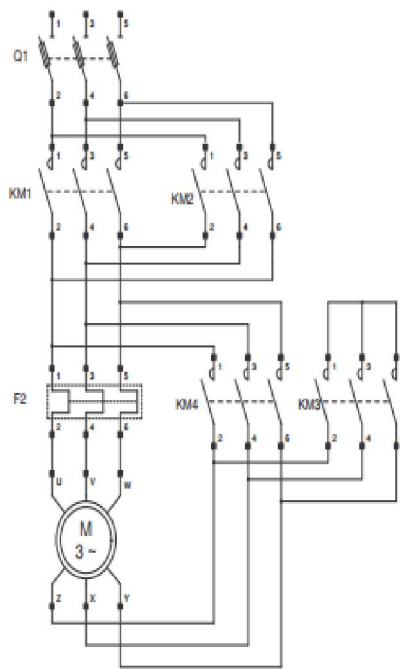
➤ **Démarrage étoile –triangle :**

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

Lors du couplage étoile, chaque enroulement est alimenté sous une tension fois plus faible, de ce fait, le courant et le couple sont divisés par 3. Lorsque les caractéristiques courant ou couple sont admissibles, on passe au couplage triangle.

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

Circuit de puissance



Circuit de commande

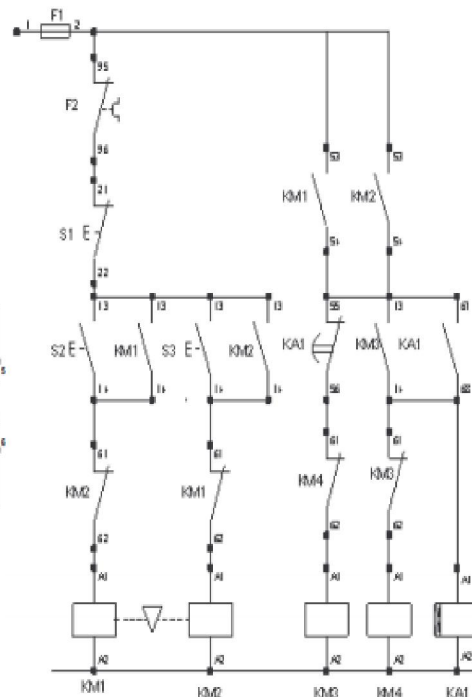


Figure. II.12.Circuit de puissance et de commande d'un démarrage étoile triangle

✓ **Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM3 : couplage étoile.
- Fermeture de KM1 ou KM2 : alimentation de moteur.
- Ouverture de KM3 : élimination de couplage étoile.
- Fermeture de KM4 : couplage triangle.

● **Circuit de commande**

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Fermeture de KM1 ou KM2 dans le circuit de puissance.
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KM3 par KM1 ou KM2 (53-54).
- Excitation de KA1 par KM3 (13-14).
- Auto-alimentation de KA1.

- Ouverture de KA1 (55-56).
- Verrouillage électrique de KM3 (61-62).
- Excitation de KM4 par KM3 (61-62).
- **Arrêt :**
 - Par impulsion sur S1.
 - Par déclenchement du relais thermique F2.
 - Par fusion des fusibles.
- **Protection**
 - Par fusibles contre les courts-circuits incorporés au sectionneur.
 - Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.
 - Fusible F1 pour le circuit de commande.
- **Avantages**
 - Bon rapport couple /courant. - Réduction importante de courant de démarrage
- **Inconvénients**
 - Couple au démarrage faible réduit au tiers de sa valeur en direct.
 - Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
 - Coupure d'alimentation au changement de couplage, apparition de phénomènes transitoires.
 - puissance limitée.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la constitution de la machine asynchrone est la plus utilisée en industrie car elle présente de nombreux avantages tels que sa puissance massique, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre, son faible coût, etc. ...

Elle est composée de trois éléments essentiels à savoir le stator, le rotor et les organes mécaniques (les paliers) et ensuite on a déterminé les différentes Caractéristique de fonctionnement d'une machine asynchrone afin de présenter le Bilan énergétique. Terminant par l'identification des différents procédés de démarrage.

