

Sommaire

Introduction	1
I.1 Présentation de la machine asynchrone	1
I.1.1 Stator	2
I.1.2 Rotor	3
I.1.3 Paliers.....	5
I.1.3.1 Paliers lisses	5
I.1.3.2 Paliers à roulements	5
I.2 Différents modes d'alimentation des moteurs asynchrones.....	6
I. 3 Diagnostic des Défaits dans la Machine Asynchrone	7
I.3.1 Etude Statistique.....	7
I.3.2 Les principaux défauts affectant la machine asynchrone	8
I.3.2.1 Défauts de Roulements	8
I.3.2.2 Défauts Statorique	8
I.3.2.3 Défauts rotoriques TDB.....	9
I.3.2.3.1 Ruptures de barres	9
I.3.2.3.2 Ruptures d'anneaux	9
I.3.2.3.3 Défauts d'excentricité rotorique	9
I.4. Techniques de diagnostic des défauts dans les machines asynchrones	10
I.4.1. Techniques mécaniques :	10
I.4.1.1. Diagnostic par mesure des vibrations du moteur.....	10
I.4.2. Technique chimique.....	11
I.4.3. Techniques magnétiques et électriques	12
I.5 Diagnostic par estimation des paramètres et observation	15
Conclusion.....	16

Listes des figures :

Figure.I.1 : Constitution d'une machine asynchrone.....	1
Figure.I.2 : Photo du stator d'une machine asynchrone.....	2
Figure.I.3 : Le rotor à cage.	4
Figure.I.4 : Proportions des défauts dans les Machines Asynchrones de moyenne puissance.....	7
Figure.I.7 : Fonctionnement du moteur sain et défaillant.....	14

Introduction

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) [1].

L'étude des défauts dans les dispositifs électriques est un domaine qui a pris une place importante depuis que les exigences de fiabilité, de sûreté et de disponibilité sont devenues assez sévères dans les systèmes industriels. En effet, la continuité de service est une qualité importante et incontournable que doit avoir tout système de nos jours pour satisfaire les exigences de l'utilisateur. Les éléments d'un système sont interdépendants si bien qu'une panne dans un élément peut entraîner l'arrêt total du système et ce type de situations a un coût non négligeable dans certaines applications [2].

I.1 Présentation de la machine asynchrone

Généralement les machines tournantes sont toutes constituées d'une partie fixe et d'une partie tournante, la machine asynchrone ne déroge pas à cette règle cependant ses constituants présentent quelques singularités et dans ce qui suit nous présentons les différents éléments qui la constitue et pouvant être classés comme suit [2] :

- Le stator: partie fixe de la machine
- Le rotor : partie mobile
- paliers : organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles

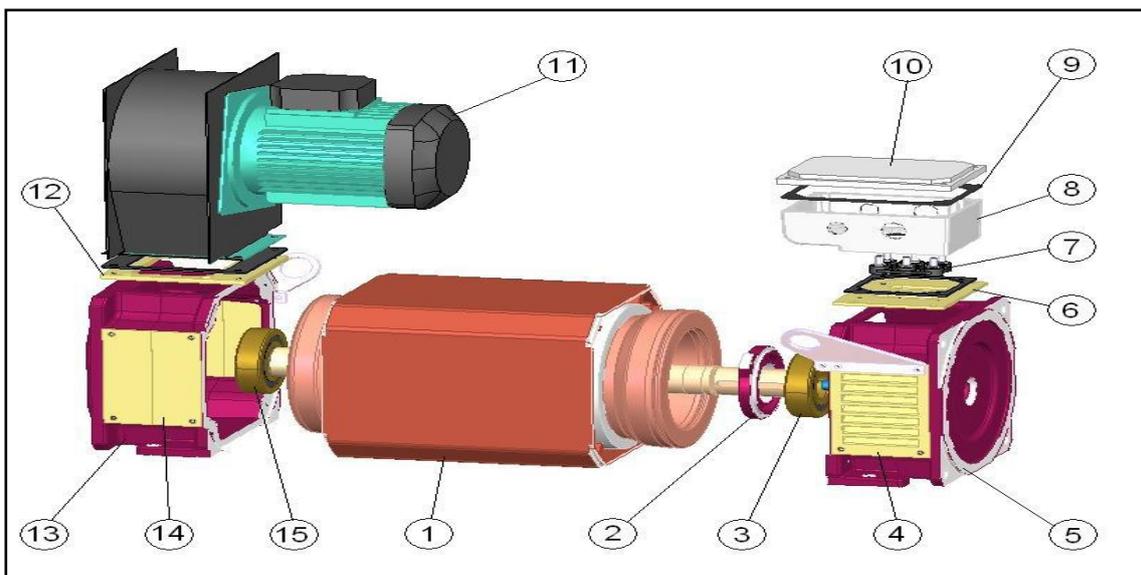


Figure.I.1 : Constitution d'une machine asynchrone.

1. Stator dans son carter
2. Bride de roulement (suivant montage)
3. Roulement
4. Grille de ventilation
5. Palier avant
6. Plaque support de boîte à bornes
7. Plaque à bornes
8. Corps de boîte à bornes
9. Joint de boîte à bornes
10. Couvercle de boîte à bornes
11. Ventilation forcée
12. Joint de ventilation
13. Palier arrière
14. Plaque de fermeture
15. Roulement arrière

I.1.1 Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilement de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine (figure I.2). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer, le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique, [3].

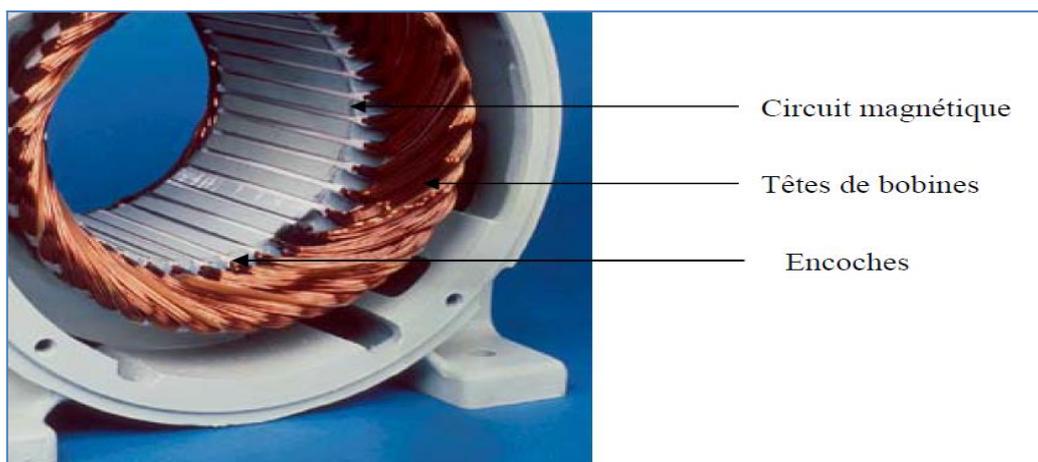


Figure.I.2 : Photo du stator d'une machine asynchrone.

Carcasse :

La carcasse sert de support, 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. Elle peut être réalisée en métal coulé (fonte, acier ou aluminium) dans 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 mécano soudée s'impose, réalisée en tôles d'acier découpées, cintrées et soudées. Les carcasses sont étudiées pour recevoir le circuit magnétique bobiné et, éventuellement, un échangeur thermique, incorporée ou non, et des paliers flasques.

Circuit magnétique :

Le circuit magnétique a pour principale rôle la canalisation des lignes d'induction magnétiques, le maintien des conducteurs du bobinage et la conduction thermique des conducteurs vers les zones de refroidissement. Le circuit magnétique doit donc présenter à la fois des propriétés magnétiques, des caractéristiques mécaniques déterminées et une bonne conductivité thermique.

Les pertes les plus importantes au niveau du circuit magnétique sont les pertes fer par hystérésis et par courants de Foucault afin de les réduire, le circuit magnétique est généralement fait de fines tôles au silicium d'épaisseur inférieure à 1 mm. Les pertes massiques sont d'autant plus faibles que la teneur en silicium est élevée, en revanche, la perméabilité magnétique diminue avec l'augmentation de cette teneur.

Enroulement statorique : l'enroulement statorique, généralement de type polyphasé, est constitué de conducteurs répartis dans des encoches réalisées sur la tôle magnétique débouchant sur l'entrefer.

Selon la répartition des conducteurs à l'intérieur des encoches on peut réaliser :

- un bobinage en un étage, où tous les conducteurs d'une encoche appartiennent à une même phase, utilisé pour les machines de faible puissance ou pour des applications spécifiques.
- un bobinage en deux étages, où tous les conducteurs d'un étage situés dans une encoche appartiennent à une même phase et sont reliés électriquement en série ; suivant la valeur du pas de bobinage, il peut arriver que deux phases cohabitent dans la même encoche ; ces bobinages sont du type imbriqué ou ondulé (suivant le type de la machine et le constructeur) et sont couramment utilisés dans les machines de moyenne et forte puissance.

I.1.2 Rotor

Le rotor des machines asynchrone est généralement constitué : d'un arbre qui supporte un circuit magnétique dont le rôle est similaire à celui du circuit magnétique statorique et un

bobinage ou bien une cage d'écureuil. Les différents types de machines asynchrones se distinguent que par leurs rotor qui peut être bobiné ou bien à cage

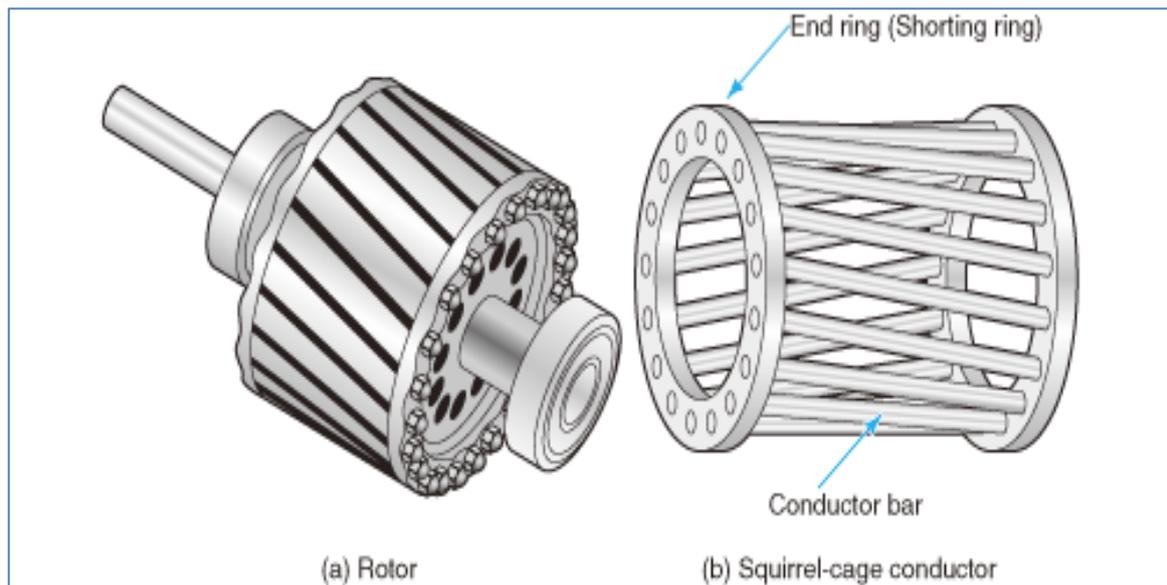


Figure.1.3 : Le rotor à cage.

L'arbre :

L'arbre de la machine électrique, supporté par un ou plusieurs paliers, est un organe de transmission du mouvement de rotation et sert de support au corps du rotor, au circuit magnétique et aux enroulements tournants. L'arbre est en acier moulé ou forgé dont les caractéristiques mécaniques sont choisies après avoir déterminé les contraintes maximales qui apparaissent lors des efforts permanents ou accidentels qui peuvent être classées en quatre catégories :

- les efforts de flexion qui résultent des effets de la pesanteur, de la force centrifuge qui s'exerce sur l'arbre lui-même et sur les organes qu'il supporte, de l'attraction magnétique radiale différentielle et des forces extérieures éventuelles ;
- les efforts de torsion qui ont principalement pour origine le couple électromécanique transmis ;
- les efforts radiaux et tangentiels locaux qui ont pour cause la force centrifuge qui s'exerce sur l'arbre lui-même et sur les organes qu'il supporte ;
- les efforts axiaux de traction et de compression dus soit à l'action de la pesanteur pour les machines verticales, soit aux réactions axiales de la machine accouplée.

Cage d'écureuil : la cage est constituée de barres conductrices, régulièrement réparties, court-circuitées à leurs extrémités par deux anneaux conducteurs, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil (Figure 1.3). Les cages sont généralement coulées directement dans les

encoches rotoriques et sont en cuivre ou en laiton pour les machines de grandes puissances et fait d'aluminium coulé sous pression pour la basse et moyenne puissance.

Bien que la cage soit coulée directement dans les encoches faites au niveau du circuit magnétique, donc présentant peu ou pas d'isolation par rapport à ce dernier, les courants de fuite restent faibles sauf dans le cas de rupture de barres. Les rotors à cage présentent, relativement aux rotors bobinés, les avantages suivants :

- démarrage de la machine sans avoir recours à un rhéostat ;
- une petite réactance de fuite donc un meilleur facteur de puissance ;
- un meilleur rendement, à condition que la résistance de la cage ne soit pas augmentée.

I.1.3 Paliers

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et permettre sa libre rotation, les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers, sur le second palier ces déplacements sont laissés libre pour compenser la dilatation thermique de l'arbre. Les dissymétries des réductances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante.

On distingue deux types de paliers :

- Paliers lisses ;
- Paliers à roulements.

I.1.3.1 Paliers lisses

Ces types de paliers comportent deux parties principales qui sont le corps de palier et le coussinet :

Corps de Palier : Le corps de palier constitue le bâti et le support du coussinet, dans les paliers flasques il est généralement fixé sur la carcasse et dans le cas des paliers pieds, utilisés pour les machines de grandes dimensions et de masses supérieures à 20t, il est désolidarisé de la carcasse.

Coussinets : Selon le diamètre de l'arbre, le coussinet peut être une simple douille en cuivre (pour les diamètres d'axe inférieur à 80mm) ou bien réalisé en deux pièces (dans le cas des diamètres supérieurs à 80mm) et est généralement monté sur rotule dans le corps de palier. Les coussinets sont faits de fonte ou d'acier moulé et la surface interne est recouverte d'alliage antifricction.

I.1.3.2 Paliers à roulements

Les paliers à roulement sont utilisés dans le cas des machines de masse inférieure à 20t.

Leurs avantages vis-à-vis des paliers lisses sont un faible encombrement, donc réduction de la longueur de la machine, réduction des pertes par frottement et de faibles jeux et usures mais présente une sensibilité aux vibrations et aux surcharges accidentelles.

I.2 Différents modes d'alimentation des moteurs asynchrones

Le moteur asynchrone triphasé est maintenant largement utilisé dans des applications nécessitant une vitesse variable. Il peut faire appel à des commandes de type scalaire ou vectoriel. Ces machines ont la réputation d'être robustes et d'être adaptées à des applications de forte puissance.

Au départ les machines asynchrones ont été conçues comme étant des machines à vitesse constante en étroite liaison avec la fréquence du réseau.

Le développement de l'industrie dans l'utilisation des entraînements électriques a exigé le fonctionnement de la machine à vitesses variables. Pour ce faire, plusieurs procédés sont utilisés, parmi eux, nous citons :

- Modification du nombre de pair de pôles.
- Cascade hyposynchrone.
- Action sur le glissement (tension d'alimentation, résistance rotorique...).
- Variation de la fréquence d'alimentation.

Suivant ces modes de variation de vitesse de la machine asynchrone, on distingue plusieurs modes d'alimentation :

- Alimentation par tensions du réseau industriel (amplitude et fréquence constantes)
- Alimentation par autotransformateur (amplitude variable et fréquence constante)
- Alimentation par convertisseur statique :
 - ✓ Gradateur (amplitude variable et fréquence constante)
 - ✓ cycloconvertisseur.
 - ✓ Onduleur.

Les commandes avancées de la machine nécessitent la variation de la fréquence d'alimentation. C'est à cause du développement de l'électronique de puissance, que cette exigence est rendue possible.

Les principales techniques d'alimentation permettant d'obtenir des tensions à fréquence variable à partir du réseau à tension et fréquence constantes, sont :

- ✓ Cycloconvertisseur
- ✓ Association redresseur-onduleur.

La première technique est utilisée pour les grandes puissances aux faibles vitesses (machine de traction, machine d'outillage). La deuxième technique est la plus utilisée de nos jours, on

branche aux bornes du réseau un convertisseur alternatif-continu (redresseur) qui alimente un second convertisseur continu-alternatif (onduleur).

Par la commande d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de ce dernier, on arrive à obtenir des tensions à amplitude et fréquences désirées.

D'après ces deux structures de variateurs de vitesse associées aux moteurs asynchrones, on retiendra la solution utilisant les onduleurs qui sont largement utilisées actuellement dans diverses applications industrielles.

I. 3 Diagnostic des Défaits dans la Machine Asynchrone

I.3.1 Etude Statistique

Une étude statistique effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200 kW) a donné les résultats suivants représentés sur la figure I.6. [5]

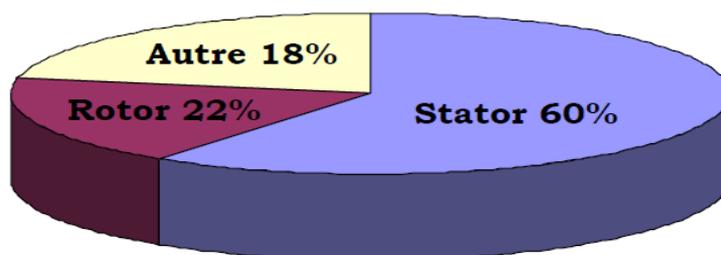


Figure.I.4 : Proportions des défauts dans les Machines Asynchrones de moyenne puissance.

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période. La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est comme suit :

Enroulements stator : 51 %

Tôlerie stator : 9 %

Défauts au rotor : 22 %

Roulements : 8 %

Autres : 10 %

Une autre étude statistique, faite sur des machines de grande puissance (de 100 kW à 1MW) donne les résultats suivants :

Enroulements stator : 13 %

Couplage mécanique : 4 %

Défauts au rotor : 8 %

Roulement : 41 %

Autres : 34 %

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements.

I.3.2 Les principaux défauts affectant la machine asynchrone

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone, elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques, électriques ou magnétiques et leurs causes sont très variées. Si l'on élimine les pannes dues à des causes intrinsèques, C'est-à-dire, résultant d'une mauvaise conception (mauvais choix des matériaux), d'une mauvaise fabrication (défauts d'usinage) ou d'un mauvais montage (serrage, désalignement) du moteur, les défaillances d'une machine asynchrone les plus fréquentes qui requièrent une attention particulière sont les suivantes [5] :

I.3.2.1 Défauts de Roulements

A l'interface entre le rotor et le stator, le roulement à billes (ou palier) présente un vieillissement plus ou moins rapide. Classiquement, ce défaut est diagnostiqué à partir du spectre d'une mesure acoustique ou vibratoire [1].

Les défauts de roulements peuvent être causés par un mauvais choix de matériau à l'étape de fabrication, aussi un mauvais graissage ne permet pas une bonne lubrification et la bonne rotation des roulements qui deviennent rigides, ce qui cause une résistance à la rotation et par la suite ils s'abîment (se fissurent).

Classiquement il est diagnostiqué à partir du spectre d'une mesure acoustique vibratoire. La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre des courants statorique est telle que toutes les excentricités résultantes interfèrent sur le champ d'entrefer de la machine asynchrone [6].

I.3.2.2 Défauts Statorique

Les défauts statoriques sont en fait des défauts d'enroulements statoriques, autrement dit des court-circuit divers au niveau du bobinage du stator dus à la dégradation de l'isolation électrique (surchauffe du moteur, survoltage du moteur, vieillissement des composants).

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit [1]:

- Défaut d'isolant.
- Court-circuit entre spires.
- Court-circuit entre phases.
- Court-circuit phase/bâti.
- Déséquilibre d'alimentation
- Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).

Le court-circuit entre phases provoquerait un arrêt complet de la machine. Cependant, un court-circuit entre spires conduit à un déséquilibre de phases ce qui a une répercussion directe

sur le couple électromagnétique. Tous ces défauts conduisent à une asymétrie de l'impédance totale de la machine [7]. Ce qui se manifeste par l'apparition d'harmoniques spécifiques dans le spectre des courants statoriques. [8]

I.3.2.3 Défauts rotoriques TDB

I.3.2.3.1 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 et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées. [9][10]

I.3.2.3.2 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 ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux.

Comme il est difficile de le détecter [11], ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres.

I.3.2.3.3 Défauts d'excentricité rotorique

Appelée aussi dissymétrie du rotor, elle est le résultat de la non uniformité d'entrefer. Ce défaut peut survenir suite à la flexion de l'arbre moteur, un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator, l'usure des roulements, un mauvais graissage, un déplacement du noyau statorique...etc. L'excentricité provoque la variation de l'entrefer donc une répartition non homogène des courants dans le rotor et un déséquilibre des courants statoriques. La résultante des forces magnétique radiales (traction magnétique) se

trouve déséquilibrée. Lorsque cette excentricité s'accroît, elle peut causer un frottement du rotor avec le stator endommageant le circuit magnétique et l'enroulement statorique.

Il existe trois types d'excentricité pouvant apparaître dans la machine :

- a. **L'excentricité statique** : le centre de rotation de l'arbre du rotor est différent du centre géométrique de la machine.
- b. **L'excentricité dynamique** : le centre de rotation de l'arbre du rotor tourne autour du centre géométrique de la machine.
- c. **L'excentricité mixte** : c'est la somme des deux précédentes. La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans les spectres des courants à des fréquences données. [12][6]

I.4. Techniques de diagnostic des défauts dans les machines asynchrones

Les courts-circuits internes (entre spires ou entre bobines); les ruptures de barres ou d'anneaux et l'excentricité, ne sont pas des défauts apparents, Ils peuvent exister même pendant le fonctionnement du moteur. Pour détecter ces défauts, il existe plusieurs techniques de diagnostic. Ces techniques peuvent être classées en trois catégories : les techniques mécaniques, les techniques chimiques et les techniques magnétiques et électriques.

I.4.1. Techniques mécaniques :

Parmi ces techniques, on trouve:

I.4.1.1. Diagnostic par mesure des vibrations du moteur

La mesure des vibrations a prouvée à maintes reprises son efficacité pour la détection des défauts dans les moteurs électriques. Cette méthode est élaborée par une coordination d'ingénieurs en mécanique et en électricité, puisque la plupart des défauts électriques ou électromagnétiques ont des réactions mécaniques (couple, vitesse...).

La méthode consiste à placer dans les différents endroits du moteur des capteurs de vibrations, tels que les accéléromètres qui sont les plus utilisés pour la mesure des vibrations dans les machines électriques. Ils doivent bien être postés afin de donner une meilleure sensibilité aux vibrations. Ces capteurs peuvent se présenter sous forme de plaquettes pressées sur la surface du moteur (capteur piézo-électrique), captant ainsi les vibrations puis les transmettant sous forme de courant électrique amplifié avec une certaine fréquence. Le courant transmis va être transformé en spectre par un analyseur de fréquences puis comparé à d'autres spectres du moteur sans défaut. Si les spectres captés sont différents de ceux du moteur sain, cela veut dire qu'il y a un défaut dans la machine.

Le signal capté est souvent celui de la vitesse, il représente un repère de comparaison parfait. Par exemple s'il existe une asymétrie dans la machine, le spectre du signal de vitesse contient des harmoniques qui dépassent d'une fois ceux d'un moteur sain, Pour une déflexion de l'arbre, le spectre contient des harmoniques sont deux fois ou quatre fois plus grands que ceux d'un moteur sans défauts. Cependant, il convient de noter que le diagnostic par la mesure de vibrations n'est pas trop utilisé car le fonctionnement de la machine présente une source supplémentaire de vibrations et leurs interactions, avec celles produites par les défauts telles que les asymétries statoriques ou les ruptures de barres, rend la distinction des spectres spécifiques aux défauts difficiles.

I.4.1.2. Diagnostic par mesure de température

La durée de vie d'un moteur correctement conçu pour une charge nominale et à température ambiante de 40° C est de 25000 heures. L'augmentation de la température de 10° C peut réduire sa durée de moitié par la détérioration de son système d'isolement.

L'augmentation de la chaleur qui a comme sources les enroulements du moteur et les différentes pertes thermiques (pertes joule, pertes par courants de Foucault, pertes par hystérésis...) s'interprète par l'existence d'un défaut dans la machine. Par exemple, pendant une surcharge, la température des enroulements augmente suite à un appel de courant de deux fois la valeur de celle d'un moteur à pleine charge. Pour un moteur sans défauts et puisque la répartition des courants statoriques est la même dans chaque phase (moteur équilibré en tension, en courant et en impédance), la température produite par chaque phase est la même.

Par contre un moteur avec défauts présente un déséquilibre thermique remarquable (la température des trois phases est différente), d'autant plus qu'à l'état normal de chaque moteur a une température limite (température admissible). L'approche thermique ou la méthode de diagnostic par la mesure de température consiste à mesurer la valeur de la température de chaque phase de l'enroulement statorique et la comparer avec la température limite.

Si elle dépasse le taux admissible, on utilise des capteurs thermiques (platine 100, ou des thermocouples) postés aux différents endroits du moteur (enroulements statorique et rotorique, encoches).

Cette méthode est souvent utilisée pour la protection des enroulements statorique, donc elle ne concerne pas la totalité des défauts dans le moteur.

I.4.2. Technique chimique

Le diagnostic chimique est basé sur l'analyse des fluides de refroidissement qui sont utilisés pour l'évacuation de la chaleur dans les moteurs à grande puissance (eau, air ou huile). Ainsi la dégradation des isolants électriques des enroulements d'un moteur par excès de

température produit un gaz de monoxyde du charbon (Co) qui s'infiltré dans le circuit d'air de refroidissement. Le gaz (Co) peut être décelé par les rayons infrarouges et, selon la densité du (Co) contenu dans l'air d'évacuation de la chaleur, le défaut peut être détecté. Mais comme cette méthode est utilisée uniquement dans les moteurs à grande puissance (à tension d'alimentation élevée), elle n'englobe pas tous les types des moteurs.

I.4.3. Techniques magnétiques et électriques

Ces techniques sont basées sur l'emploi des grandeurs magnétiques et électriques de la machine pour la détection des défauts.

I.4.3.1. Diagnostic par mesure du flux magnétique axial

Pour une machine idéale, la valeur du flux magnétique axial (au niveau de l'arbre) est nulle. Mais en pratique, cette valeur n'est pas atteinte à cause des défauts de fabrication ou la non-homogénéité de la section des barres rotorique. Ces problème produisent un flux de dispersion axial (flux magnétique de fuites) qui peut être utilisé pour la détection des différents défauts qui surgissent dans le moteur asynchrone tels que :

- Les ruptures des barres et des anneaux de court-circuit,
- Les courts-circuits entre spires statoriques.
- Les coupures de phases.

Une ou plusieurs bobines exploratrices sont placées symétriquement autour de l'arbre ou elles permettent de détecter le flux de fuites axial. Ces bobines sont le siège de tensions induites par le flux de fuites. Les tensions sont captées et analysées, puis comparées à celles d'un moteur sain. Seulement, c'est une technique qui manque de souplesse et nécessite un montage spécial. Elle est généralement utilisée pour la prévention contre les défauts dans des cas particuliers (les défauts d'un générateur et des moteurs de grande puissance).

I.4.3.2. Diagnostic par l'analyse du courant statorique

La plupart des défauts affectant le moteur asynchrone se traduisent par une large variation des inductances propres et mutuelles. Celle-ci génère des harmoniques dans le courant statorique. Pour détecter ces harmoniques, il existe deux méthodes de diagnostic utilisant le courant de la phase statorique:

- Analyse par l'approche des vecteurs de Park (utilisation des tracés des vecteurs de Park du courant $I_q = f(I_d)$)
- Analyse spectrale du courant statorique.

a)- Analyse par l'approche des vecteurs de Park :

Cette méthode consiste à projeter les axes statoriques (a, b, c) de la machine triphasée selon deux axes direct (d) et en quadrature (q), On obtient par cette transformation les vecteurs de Park des courants, des tensions et des flux. Pour le moteur sans défaut, la fonction $I_q = f(I_d)$ nous donne une forme circulaire centrée à l'origine avec un diamètre égal à l'amplitude du courant statorique. Ce cercle représente la forme de Lissajous spécifique au cas du moteur.

La stratégie de cette méthode consiste à comparer deux formes de Lissajous pour les deux cas avec et sans défauts. Le fait que pour la machine défectueuse la courbe de Lissajous change de forme nous conduit à déduire l'existence d'un défaut.

b)- Analyse spectrale du courant statorique :

L'analyse spectrale du courant statorique du moteur est un outil puissant pour détecter la présence d'anomalies mécaniques ou électriques dans le moteur et également dans leurs charges. Les signaux des courants présentent l'avantage d'être facilement mesurables, et à moindre coût.

Si on prend le cas d'un moteur sain, les courants des trois phases statoriques créent dans l'entrefer un flux tournant à la vitesse synchrone ω_s , Ce flux va balayer les enroulements rotoriques ce qui provoque la rotation de l'arbre du moteur. La vitesse rotorique augmente et atteint une vitesse ω inférieur à la vitesse de synchronisme ω_s , les enroulements rotoriques sont alors balayés par le flux et la vitesse. A cet instant le champ créé par les enroulements rotoriques est directe (c'est-à-dire qu'il tourne dans le même sens de rotation que le champ créé par les courants rotoriques) et la fréquence des courants dans les enroulements rotoriques est égale à $f_r = g \cdot f_s$. Nous avons les relations suivantes :

$$\omega_s = 2\pi f_s$$

ω_s : Représente la vitesse de synchronisme, p: le nombre de paires de pôles de la machine.

$$\omega = (1 - g)\omega_s : \text{ La vitesse de rotation.}$$

$$\omega_r = \omega_s - \omega : \text{ La vitesse de glissement.}$$

$$g = (\omega_s - \omega) / \omega_s : \text{ Le glissement.}$$

En plus de l'harmonique fondamental, apparaît sur le spectre du courant statorique des harmoniques des encoches à des fréquences qui sont données par l'expression suivante :

$$f_{he} = f_s \left[\frac{k \cdot n}{P} (1 - g) \pm \nu \right] \quad (\text{I-11})$$

Lorsque le défaut de cassure des barres ou d'anneau de court-circuit apparaît, il se crée en plus du champ rotorique direct, un champ inverse qui tourne à la vitesse $-g\omega_s$. Cela est dû au fait que les courants rotoriques sont maintenant directs et inverse suite au déséquilibre des résistances, c'est l'interaction de ce champ avec celui issu du bobinage qui crée les ondulations de couple et qui induit au stator des forces électromotrices de fréquence f_s , $(1-2g)f_s$ et $(1+2g)f_s$, d'où des courants statoriques comportant ces composants. Les champs créés par ces courants vont induire, par conséquent, au rotor des courants directs et inverses. Donc par le même processus que celui décrit précédemment, on retrouvera des composantes dans le spectre du courant statorique de fréquences:

$$f_b = (1 \pm 2kg)f_s \quad (\text{I-12})$$

Le fonctionnement de la machine avec défaut de barres ou d'anneau de court-circuit est illustré sur la (Fig. I-7)

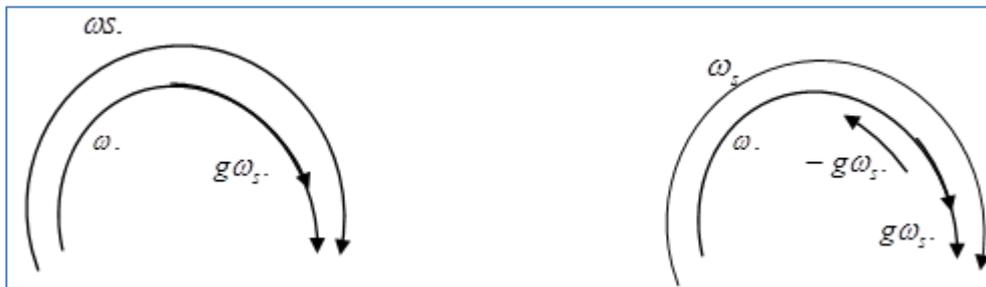


Figure.I.5 : Fonctionnement du moteur sain et défaillant.

D'autres composantes spectrales peuvent apparaître dans le spectre du courant statorique à des fréquences données par l'expression ci-dessous :

$$f_b = f_s \cdot \left[\frac{k}{P/2} (1-g) \pm \nu \right] \quad (\text{I-13})$$

$$\text{Avec } \frac{k}{P/2} = 1, 3, 5, 7, 9, \dots$$

La présence de l'excentricité dans la machine se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant à des fréquences données par l'expression suivante:

$$f_{exc} = f_s \left[\frac{(1-g)}{P} (k.n \pm n_d) \pm \nu \right] \quad (\text{I-14})$$

L'excentricité statique n'engendre aucun harmonique dans les spectres du courant statorique.

En présence de l'excentricité statique et dynamique c'est-à-dire mixte, il y a création des harmoniques de basses fréquences f_m de part et d'autre du fondamental dont leurs fréquences sont données par la relation ci-après:

$$f_m = [f \pm kf_r] \quad (\text{I-15})$$

Avec $k=1, 2, 3, \dots$ et $f_r=f(1-g)/P$.

L'intérêt de cette méthode réside dans la simplicité du capteur utilisé. En effet, la mesure du courant puis son traitement est plus simple qu'une analyse de la vitesse ou des vibrations.

L'analyse spectrale est basée sur l'utilisation de la transformée de Fourier Rapide (TFR) pour obtenir le spectre du courant.

I.5 Diagnostic par estimation des paramètres et observation

Les grandeurs électriques et magnétiques utiles à la commande et la surveillance des machines sont les tensions, les courants et les flux. Ces grandeurs représentent les différents phénomènes de la machine et sont liées par des équations différentielles où interviennent les paramètres internes (résistances, inductances) comme étant les éléments principaux supposés être constants dans le cas d'un fonctionnement normal.

Une variation importante de ces paramètres due à un défaut peut changer les trajectoires des grandeurs de la machine, ce qui conduit à un fonctionnement anormal et à la défaillance de la machine. En diagnostic, le suivi de ces paramètres peut caractériser les défauts avec précision. Les estimateurs et les observateurs des paramètres et des grandeurs difficilement mesurables et portant information sur les défauts présentent des avantages intéressants par rapport aux autres méthodes de diagnostic dépendant nécessairement de la mesure. Dans certains cas, la mesure est difficile ou impossible lorsqu'il s'agit des grandeurs et des paramètres internes et en particuliers rotoriques à cause de la mobilité du rotor, la partie active de la machine. Dans ce cas il est difficile d'installer des dispositifs assurant la mesure. D'une part cela nécessite un montage spécial, d'autre part on doit prendre en compte l'intervention de ces dispositifs sur notre système et va être considéré lui-même comme étant un autre défaut.

Par contre l'estimation paramétrique consiste à exploiter certaines grandeurs disponibles pour identifier d'autres grandeurs et paramètres.

L'une des défaillances la plus couramment étudiée dans la machine asynchrone à cage d'écureuil est la rupture des barres rotoriques. Bien qu'elle soit identifiable à partir de l'analyse spectrale des courants statoriques on sait maintenant, grâce à l'estimation et à la surveillance de l'évolution d'autres paramètres, détecter l'occurrence de ce défaut.

En effet, l'estimation par filtre de Kalman étendu ou par observateur de Luenberger et grand gain non linéaire de la résistance et du flux rotoriques, permet de voir que ceux-ci sont très sensibles aux défauts du rotor. La variation de la résistance rotorique est d'autant plus importante que le nombre de barres cassées augmente.

Toutefois, le seul paramètre, la résistance rotorique ne permet pas de détecter la présence d'une ou plusieurs barres défectueuses. La valeur de cette résistance est liée à la variation de température du rotor et donc il suffirait que n'importe quel défaut pouvant entraîner une élévation de température apparaisse pour qu'elle varie. Cette ambiguïté persiste même si la valeur estimée est comparée à un seuil défini pour un fonctionnement à température ambiante.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de présenter une liste non exhaustive des différentes défaillances pouvant se produire dans la machine asynchrone et des différentes méthodes de diagnostic ainsi que les différentes signatures de défaillances extraites à partir de ces méthodes.

Dans un premier temps, après avoir rappelé succinctement la constitution du moteur asynchrone et de son alimentation, nous nous sommes intéressés à répertorier les principales défaillances se produisant sur les différentes parties de la machine ainsi que les causes et les conséquences de leur apparition.

Le défaut étudié par la suite sur la machine est :

- ✓ Ruptures de barres

Référence :

-
- [1] Olivier ONDEL. «Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur-machine asynchrone ». Thèse Doctorat. Ecole Centrale de Lyon, Octobre 2006. .
- [2] S. Merradi, “ Estimation des paramètres et des états de la machine asynchrone en vue du diagnostic des défauts rotorique”, Thèse de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2007. .
- [3] S. BOUSLIMANI, “Commande Vectorielle de la Machine Asynchrone avec Régulateurs Classique et Flou en présence de Défauts.”, Mémoire de Magister, université Batna, septembre 2011. .
- [4] Samir MERADI, Estimation des paramètres et des états de la machine asynchrone en vue du diagnostic des défauts rotoriques.”, Mémoire de Magister. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER DE BISKRA ,juin2007. .
- [5] « Présentation des avaries. Machines électriques tournantes », Cahier des préventions. CP2, Allianz. 1988. .
- [6] R.R.Schoen; T.G.Habetler; F.Kamran; R.G.Bartheld; “Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring”. IEEE Transaction on Industry Applications. vol 31 N°6. pp1274-1279. November- December 1995. .
- [7] Toliyat, H.A.; Lipo, TA “Transient analysis of cage induction machines under stator, rotor bar and end ring faults”. Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume: 10, Issue: 2, June 1995 Pages: 241 - 247. .
- [8] H.Razik “Le contenu spectral du courant absorbé par la machine asynchrone en cas de défaillance, un état de l'art.”La revue 3EI N°29-Juin2002 Pages 48-52. .
- [9] M. S. Naït-Saïd, M. E. H. Benbouzid et A. Benchaib, “Detection of broken bars in induction motors using an extended kalman filter for rotor resistance sensorless estimation” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.15, no 1, pp.66-70, Mars 2000. .
- [10] N. M. Elkasabgy, A. R. eastham, G. E. Dawson, “Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.28, no.1, Part 1, pp. 165-171, Jan.-Fév. 1992. .
- [11] H. Yahoui, J. Seetohul, G. Grellet, A. Jammal, “Detection of broken bar or end-ring fault in asynchronous machines by spectrum analysis of the observed electromagnetic torque through supply cable” Revue Européenne de Diagnostic et Sûreté de Fonctionnement, Vol.5, no.4, 1995. .
- [12] G.B. Kliman, J. Stein, “Method of Current Signature Analysis”, in Electric Machines and Power Systems, N.20, 1992, pp. 463-474. .