

DEFAUTS DANS LES MACHINES TOURNANTES

DIAGNOSTIC & MAINTENANCE

I. Classification des défauts dans la MAS

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut par fois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique soit d'origines thermiques et autres. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non conforme de la machine. Certaines fois, nous pouvons aussi incriminer le milieu dans lequel la machine est utilisée (milieux corrosifs et/ou chimique hostiles).

I.2 Défaillances d'ordre électrique

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine (au même titre que les défaillances d'ordre mécanique). Ces défaillances se séparent en deux catégories. Nous pouvons citer les défauts qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celle qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques .

I.2.1 Défauts des circuits électriques statoriques

D'où proviennent les pannes statoriques dans les moteurs asynchrones ?

Même si les vibrations des conducteurs d'encoches et les divers frottements qui en résultent, suite à de grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure des isolants, il reste que le facteur principal de vieillissement est l'échauffement anormal des bobinages. En effet, pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière et humidité viennent se déposer : pour les machines fermées entre les ailettes extérieures, et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobines, affaiblissant ainsi l'isolation électrique et court-circuitant du fait les conducteurs .

a. Les courts circuits internes

Le court-circuit de spires est donc le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontré au stator. Ce sont des pannes dues à un court circuit dans une ou plusieurs phases statoriques. Ce type de défaut provoque une détérioration de la machine. Il conduit à un déséquilibre de

phases. Un défaut de court-circuit est une connexion directe entre deux points du bobinage. Il peut se manifester soit entre les spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre. On distingue trois types de court-circuit au niveau du stator.

- **Court-circuit spire neutre** : Le courant dans la phase concernée a une amplitude supérieure par rapport au courant des autres phases. Toutefois, les courants qui parcourent ces phases sont amplifiés par rapport au cas de la machine saine. Plus important est le nombre de spires en court-circuit, plus forte est l'augmentation des courants. De plus le facteur de puissance diminue avec l'augmentation de nombre de spires en court-circuit. Ce qui explique la modification des bobinages, qui implique une variation de l'inductance propre de la phase affectée également par le défaut et qui affecte les autres par couplage magnétique.

- **Court-circuit entre différentes phases** : l'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre deux phases, induirait un courant très fort conduisant à la fusion des conducteurs. Cependant, un court-circuit proche du neutre engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. De plus, les courants des barres sont amplifiés lors de l'apparition du défaut. Et enfin au milieu

b. Défauts d'isolations électriques

Les défauts d'isolation électrique au niveau du bobinage du stator suite à un vieillissement dû au milieu de fonctionnement hostile ou non, et à la façon dont le moteur est alimenté .

- Décharges partielles

Ce type de défauts est dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse qui s'amplifie avec l'usure des isolants. Sa présence précède l'apparition de courts-circuits entre phases ou entre phases et la masse .

I.2.2 Défauts des circuits électriques rotoriques

Le problème des ruptures de barres dans les moteurs asynchrones a été à l'origine des premiers travaux de recherche sur le diagnostic des machines tournantes. L'émergence de nombreux travaux de recherche, notamment ceux des mécaniciens par analyse vibratoire, a contribué à une avancée prometteuse du diagnostic des machines tournantes à vitesse constante (machine asynchrone, alternateurs, etc...). Les défauts rotoriques typiques des machines asynchrones sont dus à un défaut de fabrication, ou à un défaut d'utilisation :

- Une rupture partielle ou totale d'une barre au rotor survenant généralement à cause de

l'échauffement dû aux sollicitations.

- Une barre résistive due à la présence de poches d'air dans les encoches rotoriques. Ce défaut se produit lors de la fabrication car la phase du coulage de l'aluminium dans les tôles empilées n'est pas parfaitement maîtrisée (absence d'étanchéité totale).

- Une rupture de soudure au niveau de l'anneau de court-circuit, notamment pour les fortes puissances.

- *Une rupture de portion d'anneau de court-circuit.*

Une défaillance au niveau de la cage rotorique se situe généralement à la jointure entre une barre et un anneau de court-circuit. En effet, les barres rotoriques et les anneaux de court-circuit ne pouvant pas être construits d'un seul bloc (sauf pour les machines de petites puissances), une soudure est pratiquée aux extrémités de chaque barre pour relier ces dernières aux deux anneaux de court-circuit. La fragilité de ces soudures, par rapport aux barres et aux anneaux fabriqués d'un seul bloc, provoque, à ces endroits précis, une fragilité de la cage d'écureuil.

- Les cassures des barres

Ces défauts apparaissent au niveau du rotor .Ce sont les défauts les plus fréquents. Ils se présentent par des ruptures totales ou partielles de (s) barre (s) au niveau de la cage d'écureuil . Ils se traduisent par une augmentation de la résistance équivalente d'un enroulement rotorique. Ces pannes rotoriques engendrent malheureusement des ondulations dans le couple électromagnétique qui elles mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation de la machine. Ce qui génère des défauts mécaniques en plus dans la machine.

- Cassure d'une portion d'anneau de court-circuit

Les cassures des portions d'anneaux sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations entre les barres et les anneaux. Les anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge du couple et donc de courant peuvent entraîner leur cassure. La cassure d'une portion d'anneau engendre un comportement similaire à celui de la cassure de barres.)

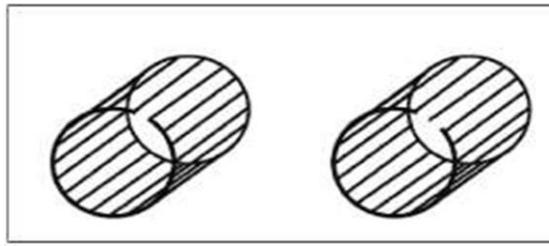


Figure I.9: Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.

Suite à l'apparition de ces défauts, la machine continue à fonctionner, il est donc très difficile de détecter ces défaillances si la machine est en régime de défauts. Le courant que conduit une barre cassée se répartit sur les autres barres, ces dernières seront surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et par la suite la rupture d'un nombre plus important de barres, dans la machine.

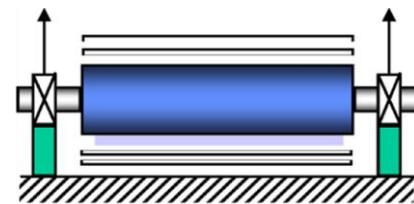


Figure I.10 : Déséquilibre statique

I.3 Défaillances d'ordre mécanique

a. Déséquilibre : défauts de balourd

Pour toute machine, il existe un déséquilibre résiduel (normal ou anormal).

En pratique, il est impossible d'obtenir une concentricité parfaite des centres de gravité de chaque élément constitutif d'un rotor.

De cette « non-concentricité », résulte l'application de forces centrifuges qui déforment le rotor. Ces déséquilibres proviennent généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence :

- _d'une altération mécanique (perte d'ailette, érosion ou encrassement, ...).
- _d'une altération thermique (déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées,...).

❖ Distinction entre balourd statique et dynamique

-En cas de balourd statique, les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps, l'effort centrifuge du au déséquilibre. Il n'y aura donc aucun déphasage entre les mesures prise au même point sur les deux paliers. (Figure I.10)

-En cas de balourd dynamique, les deux paliers supportant le rotor vont subir les efforts centrifuges de façon alternée. Le déphasage entre les mesures effectuées au même point sur deux paliers consécutifs est donc révélateur d'un balourd dynamique. (Figure I.11)

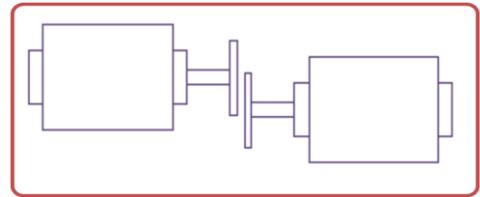


Figure I.13 : Délignage parallèle

Balourd mixte : est un ensemble de balourd statique et le balourd dynamique

b. Défaut d'alignement ou de flexion du rotor

Le délignage ou défaut de lignage est dû à la non coïncidence des axes de rotation de deux machines accouplées (le moteur et sa charge). Selon les positions géométriques des deux axes, on distingue 3 types de :

- délignage angulaire : défauts de parallélisme des deux arbres. (Figure I.12)
- délignage parallèle : défaut de concentricité des deux arbres. (Figure I.13)
- délignage angulaire et parallèle : combinaison des deux précédents.

-le défaut de lignage crée des contraintes internes au niveau des arbres et des paliers des machines accouplée (le moteur électrique et sa charge). Le délignage est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il crée des efforts importants qui sont entraîné la dégradation rapide du système

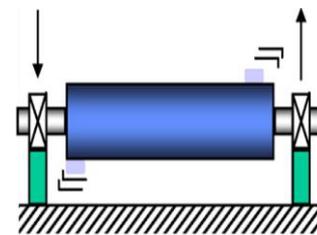


Figure I.11 : Déséquilibre dynamique

d'accouplement, non seulement à son niveau, mais aussi au niveau des paliers, ces efforts, outre la dégradation de l'accouplement sont avoir pour effet :

- ❖ dans ce cas de paliers à billes ou à roulement, de déverser l'une des bagues et de précipiter la dégradation prématurée du roulement ;
- ❖ dans le cas de paliers à film d'huile (cas des moteur asynchrone MT de grande puissance), de décharger l'un des paliers de la ligne d'arbre et d'induire des instabilités de paliers mettant très rapidement en péril l'installation.
- ❖ ans le cas de défauts sur les paliers, les axes ne seront pas concentriques. Cette anomalie peut être suite à des contraintes thermiques, la conséquence d'un défaut de flexion de l'arbre du rotor.

➤ Origine du délignage

Le défaut de délignage peut n'apparaître qu'en fonctionnement, sous l'effet de la charge. Les causes peuvent être :

- Déformation du stator ;
- Effort dissymétriques sur le rotor ;
- Calage du rotor (machines à paliers lisse),
- Déformation de la structure porteuse, - Blocage d'accouplement,

D'autres phénomènes peuvent donner lieu à des manifestations vibratoires similaires :

- Balourd important,
- Chocs périodique à la fréquence de rotation.

c. Défauts des chocs périodiques

Les chocs périodiques peuvent être internes ou externes au moteur :

- ❖ origine des chocs périodique externes :
 - Défauts de fixation ;
 - D'une autre machine au voisinage ;
- ❖ origine des chocs périodiques internes :
 - ✓ Dégradation de paliers - Dégradation d'engrènement,
 - ✓ Jeux excessifs.

d. Défauts spécifiques aux paliers fluides

Dans un palier fluide (cas des moteurs asynchrones de grande puissance), l'arbre est porté par l'huile sous pression sous l'effet de la rotation, l'axe de l'arbre prend une position d'équilibre. Par rapport à l'axe du palier, cette position est définie, d'une part, par la distance entre les axes (de l'arbre et du palier) et d'autre part par l'angle d'attitude (angle formé par la droite qui relie les centres et par la direction de charge). Cette position d'équilibre, donnée par le poids du rotor, la force liée à la pression de l'huile et la rotation de l'arbre, est donc fonction

de la charge, de la vitesse de rotation et des caractéristiques du fluide. Toute variation de ces forces ou tout effort supplémentaire s'exerçant sur le rotor modifie cette position d'équilibre :

- balourd, - désalignement,
- défaut de lubrification (tourbillon et fouettement d'huile),

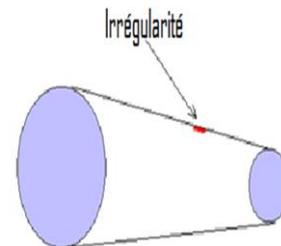


Figure I.16 : Défauts de transmission par courroies

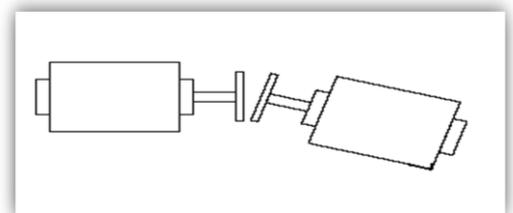


Figure I.12 : Délignage angulaire

e. Défauts de transmission par courroies

Le principal défaut rencontré sur ce type de transmission est lié à une détérioration localisée d'une courroie (partie arrachée, défaut de jointure....) (figure I.16), impliquant un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage de ce défaut telle que :

Il existe deux autres types de défauts pour ce mode de transmission :

- Lorsqu'une ou plusieurs courroies sont insuffisamment tendues, il peut se produire un phénomène visible sur le spectre, créé par des fréquences de passage des courroies différentes et très proches les unes des autres ; ces différences sont produites par un glissement plus ou moins important selon la tension exercée sur les courroies.
- Lorsque les courroies transmission à courroie trapézoïdales ont subi une usure importante et qu'elles ont tendance à venir se coincer en fond de gorge, il apparaît une vibration d'amplitude importante aux hautes fréquences.

f. Défauts spécifiques aux roulements

Les roulements sont une des paliers les plus sollicitées des moteurs électriques asynchrones et une cause de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivantes : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage).

Tous ces défauts ont un point commun, ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal. Ce défaut précurseur de la destruction est l'écaillage.

Il se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage de roulement, et par une augmentation de la valeur efficace du signal et de son facteur de crête.

Pour chaque type de roulement et en fonction de ses cotes de fabrication, on peut considérer quatre fréquences caractéristiques :

- La fréquence de passage des billes (ou rouleaux) sur la bague externe du roulement, F_{be} ;
- La fréquence de passage des billes (ou rouleaux) sur la bague interne du roulement, F_{bi} ;
- La fréquence de rotation des billes (ou rouleaux) sur eux-même, F_e ;
- La fréquence de passage d'un défaut de cage, F_c .

Les causes de dégradation de roulement sont nombreuses :

- usure normale, -charge excessive, - défaut de graissage,
- défaut de montage, - délignage, balourd, - agents extérieurs, ...

I.3 D'origines thermiques et autres

-Lorsque la température n'est pas répartie de façon uniforme, les rotors se déforment sous l'effet de contraintes thermiques, dans ce cas, les centre de gravité se déplacent, et les efforts varient, ce qu'on aura, par conséquence, un balourd mais thermique.

En raison de l'énergie importante dissipée par effet Joule ou hystérésis, il est nécessaire de refroidir les rotors. Toute dissymétrie de débit (canaux de refroidissement bouchés ou pertes de charges différentes), se traduira par une variation des vibrations.

-points chauds, températures ambiantes élevées...

-entourage du moteur (tensions et transitoires d'alimentation, inverseurs, air de refroidissement, mauvais courant de charge, surcharges, corrosion, humidité ...).

-Fabrication imparfaite.

Erreurs pendant la réparation (taille et type inapproprié d'enroulement, roulements inadéquats...).

-Epuisement de la durée de vie du moteur.

-Effort thermique due à l'échauffement de l'anneau du court-circuit et la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau.) -Effort magnétique causé par les forces électromagnétiques (flux de fuite d'encoche, l'excentricité de l'entrefer), bruits et vibration électromagnétiques.

-Effort dynamique dû au couple de charge, aux forces centrifuges ainsi que les efforts cycliques

-Efforts environnementaux causés par la contamination, l'abrasion des matériels rotoriques due aux particules chimiques.

*Les causes externes peuvent exister dans le roulement à bille, telles que:

-contamination et corrosion causées par l'eau et l'acide...

-lubrification impropre.

-installation impropre de roulement, dû au désalignement de la machine.