

AVIS D'EXPERT

Augmenter la fiabilité des moteurs électriques en contrôlant leur système d'isolation

Le moteur électrique est un composant clef dans le monde de l'industrie et des transports. La défaillance d'un moteur électrique peut avoir un impact important sur les coûts de maintenance et les profits d'une entreprise. C'est la raison pour laquelle depuis déjà plusieurs années, de nombreux utilisateurs de moteurs électriques cherchent à augmenter la performance de leur système d'entraînement en adoptant une stratégie de maintenance orientée vers la prévision des défaillances.

Côté outils de diagnostic, aujourd'hui la technique d'investigation la plus répandue pour détecter une anomalie sur un moteur ou alternateur est l'analyse vibratoire ; mais lorsque l'on s'intéresse aux causes de défaillances affectant les machines électriques, les différentes études montrent que les défauts d'origines mécaniques représentent 50% des cas pour les machines sur roulements et cette proportion chute à 25% pour les machines sur paliers lisses fonctionnant sous haute tension.

Nous constatons donc que plus de la moitié des défaillances ont pour origine un vieillissement du système d'isolation électrique et que pour s'en prémunir, il est nécessaire aujourd'hui de compléter le diagnostic vibratoire avec une analyse électrique. L'association de ces deux techniques d'investigation permet d'atteindre le plus haut niveau de fiabilité recherché et d'atteindre les objectifs fixés par l'ère de la digitalisation et de l'industrie 4.0.

SORTIR DES PRÉJUGÉS

Contrôler l'isolement d'un moteur est aujourd'hui encore considéré comme une tâche de maintenance plus corrective que prévisionnelle. Les premiers contrôleurs d'isolement développés par Megger datent de 1889 et bien qu'ils aient énormément évolués, le terme « magnéto » est toujours d'actualité. De plus, le test d'isolement est également, de nos jours, toujours perçu comme potentiellement destructif et donc laissé à la portée d'expert.

Pourquoi une si mauvaise réputation ? En premier lieu le manque de formation et l'existence d'une multitude de normes n'abordant presque jamais l'aspect maintenance et l'aspect applicatif du moteur. En témoigne la mauvaise interprétation de l'index de polarisation sur les moteurs basse tension où la valeur d'isolement doit toujours être jugée plus que le ratio avant d'envisager la révision d'un moteur. Autre point bloquant : le choix des niveaux de tension à appliquer pour s'assurer de la bonne tenue du système d'isolation et là, différentes écoles s'affrontent alors que la logique voudrait

que l'on teste au minimum un moteur à sa tension nominale et également par rapport aux contraintes liées à son application (cf. le paragraphe sur les contraintes).

Pour sortir de ces préjugés et dans le but de réaliser un bon test d'isolement, il est donc nécessaire dans un premier temps de comprendre la constitution d'un système d'isolation et les contraintes auxquelles il est soumis.

Composition d'un système d'isolation
Le système d'isolation d'un moteur est nécessaire afin d'isoler les différentes parties électriques entre elles. Il est composé de quatre éléments : l'isolant autour des conducteurs de cuivre appelé l'email, l'isolant souple type papier entre les conducteurs et la carcasse, le vernis d'imprégnation et le vernis de finition. L'email peut être à base de polyamide et permet de réaliser l'isolation entre spires ; il s'agit de l'isolation cuivre-cuivre. Le papier isolant servira pour l'isolation de fond d'encoches ; c'est l'isolation cuivre masse : les plus utilisés sont le Nomex, le Kapton ou le Mylar. Le vernis d'imprégnation à base de polyesters ou

d'époxy est utilisé afin de renforcer l'isolant mais son rôle principal est de rigidifier l'ensemble pour résister aux contraintes mécaniques. Le vernis de finition est quant à lui utilisé dans certain cas dans le but de renforcer l'isolant contre l'humidité (figure 1).

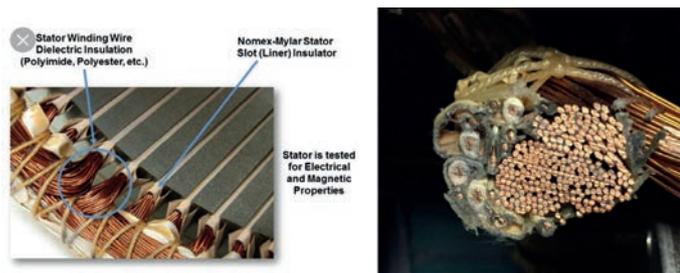


Figure 1

L'isolation entre spires est la plus vulnérable aux contraintes car elle est la plus fine, l'isolation par rapport à la masse devant résister des contraintes électriques et mécaniques plus importantes que l'isolation inter-spires à une tenue en tension plus élevée. Elle est d'une épaisseur plus importante.

CONTRAINTES

Une machine électrique subit différentes contraintes lors son fonctionnement mais également lorsqu'elle est à l'arrêt. Ces contraintes auront un impact à plus ou moyen termes sur le vieillissement de l'isolation. Certaines sont bien connues de nos jours par l'ensemble des utilisateurs de moteur électrique, à l'image des contraintes thermiques liées à un fonctionnement en surcharge, mécanique générée par les vibrations, phases de démarrages et des contraintes liées à son environnement comme l'humidité et les poussières (figure 2). Moins connues, les contraintes électriques liées à l'alimentation du moteur ont aujourd'hui un impact aussi important sur une machine basse tension que sur une installation haute tension.



Figure 2

Ces phénomènes regroupés dans la famille des surtensions, peuvent avoir pour origine une manœuvre lors de la mise sous tension des moteurs ou à des fronts de tension très raides qui correspondent aux dV/dt générés par les variateurs de fréquences. Le niveau de ces fronts de tension dépasse largement la tension nominale du moteur et peut à long terme provoquer une dégradation de l'isolant entre spires car les conducteurs seront soumis à des tensions différentes (figure 3). Sous une alimentation sinusoïdale basse fréquence sans variateur de

fréquence, la distribution de la tension entre les spires des enroulements statoriques est linéaire.

Le processus d'apparition de défauts dans les bobinages des moteurs électriques débute le plus souvent par une rupture ponctuelle de l'isolation inter-spires et à terme cherchera à rejoindre le mur isolant vers la masse, conduisant ainsi à la destruction du moteur. Il est donc aujourd'hui recommandé de vérifier en plus de l'isolement par rapport à la masse, l'isolation inter-spires.

SÉQUENCE DE TEST

De nombreux outils permettant de vérifier un système d'isolation électrique sont disponibles mais en réalité, ces contrôleurs ne permettent de vérifier qu'une seule partie de l'isolement. En revanche, les analyseurs de Megger, depuis plusieurs années, regroupent en un seul appareil l'ensemble

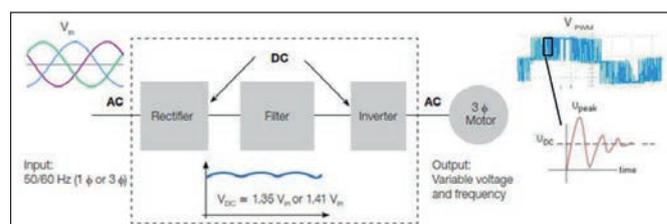


Figure 3

des fonctions nécessaires au diagnostic des moteurs. Cela permet de séquencer les tests afin de venir vérifier la qualité de l'isolation et de détecter la présence de points faibles par rapport à la masse ou entre spires et entre phases.

Cet article montre que l'isolation inter-spires est la partie la plus vulnérable sur laquelle nous devons porter l'attention.

L'analyseur intègre les fonctions milliohmètre, megohmmètre, dieltrimètre et onde de choc et la combinaison de ces systèmes permettra de détecter l'ensemble des défauts suivants (figure 4) :

- court-circuit entre spires
- problème de résistance de contact
- masse franche
- contamination du système d'isolation par rapport à la masse
- point faible d'isolement par rapport à la masse ou entre spires
- erreur de bobinage

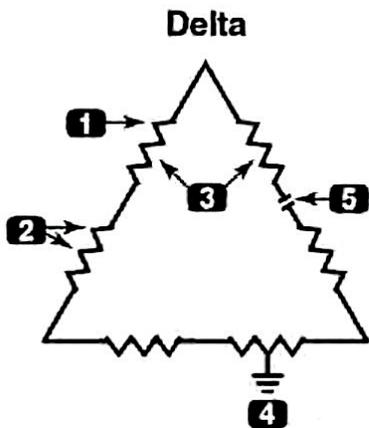


Figure 4

Les défauts francs ou les problèmes de contamination seront détectés par des essais en basse tension alors que pour la détection de points faibles il sera nécessaire de réaliser des tests sous haute tension dans le but de simuler les contraintes électriques subies par le moteur et ainsi s'assurer de la bonne tenue de son système d'isolation. En présence de défauts à faible tension, les essais sont stoppés.

Cet article permet de mettre en évidence l'importance de la problématique de dégradation de l'isolement des machines électriques alimentées par des variateurs qui imposent des ondes de tension à fronts raides. Il montre que l'isolation inter-spires est la partie la plus vulnérable sur laquelle nous devons porter l'attention. ●

Joseph Di Crea
Expert analyses électrique des machines
tournantes (Megger)

