

Mécanique

Surveiller une chaîne cinématique

La surveillance et le diagnostic des machines tournantes ont connu ces dernières années d'importants développements : sécurité des équipements et des opérateurs, optimisation de la disponibilité des machines, diminution des coûts de maintenance... Plusieurs technologies de surveillance ont ainsi vu le jour, utilisant différentes grandeurs physiques telles que les vibrations, l'émission acoustique, les courants électriques d'alimentation des moteurs. Au Cetim, P.Letort, S.Sieg-Zieba, L. Jaubert et T.Vervaeke ont réuni leurs efforts pour tester les technologies applicables et leurs limites.

Les enjeux de la surveillance d'une chaîne cinématique peuvent être particulièrement importants : dans le cas du levage, plusieurs des défaillances possibles peuvent entraîner un lâcher de charge ! Les méthodes de surveillance existantes sont aussi diverses que complémentaires. Si l'analyse d'huile, la mesure de température ou de couple peuvent être appliquées rapidement, elles ont néanmoins un champ d'action limité.

Selon l'étude du Cetim, l'analyse vibratoire ou l'analyse par émission acoustique permettent de mettre en évidence et de suivre des modes de défaillances non détectés par les méthodes classiques. Mais ces techniques avancées nécessitent un traitement du signal qui requiert une certaine expertise : elles sont moins

aisément abordables.

La «chaîne cinématique» prise en compte comprend le moteur, les organes de transmissions - réducteur, engrenages, roulements, lignes d'arbres, accouplements - et le frein. Autant les applications industrielles en surveillance de roulements ou d'engrenages sont nombreuses concernant les machines tournantes « classiques », autant les engins mobiles présentent des caractéristiques particulières : leur régime de fonctionnement est continuellement variable et ces machines disposent de sous-ensembles spécifiques - systèmes articulés, chaînes cinématiques de translation, systèmes hydrauliques, vérins. De plus, la mobilité implique de privilégier les transmissions sans fils et

« Les enjeux de la surveillance d'une chaîne cinématique peuvent être particulièrement importants... Les méthodes de surveillance existantes sont aussi diverses que complémentaires »

de bien prendre en compte les conditions imposées par l'environnement aux équipements.

DÉFAUTS D'ENGRENAGES

Les engrenages, très sollicités mécaniquement, sont utilisés dans la plupart des installations mécaniques. Les défaillances rencontrées sont l'usure, l'écaillage, la fissuration et la rupture de dent. Les défauts de fabrication et de montage, non liés au vieillissement de l'engrenage, ont également une influence sur les vibrations générées.

Par émission acoustique, les défauts d'écaillage sont détectés de manière précoce : des signaux sont enregistrés avant même l'apparition des écaillages en surface. Malheureusement le signal disparaît lorsque le défaut n'évolue plus.

A contrario, les techniques vibratoires sont moins sensibles mais autorisent la détection d'un écaillage déjà présent et permettent un diagnostic plus approfondi des défauts - comme la localisation des dents défectueuses. De plus, il n'existe pour le moment pas de capteurs d'émission acoustique avec une technologie sans fil. Dans un engin mobile, il faudra donc positionner le capteur sur une zone « statique » près du composant à surveiller.

SURVEILLANCE DES ROULEMENTS

Les modes de dégradations des roulements, bien connus, présentent des caractéristiques particulières qui vont induire une signature vibratoire spécifique permettant une surveillance et un diagnostic précis.

Les conditions d'utilisation de l'émission acoustique pour la surveillance des roulements sont proches de celles employées pour les engrenages, avec les mêmes avantages et les mêmes limitations. Cependant, le paramètre de durée de la salve acoustique, indépendant de la charge appliquée au roulement, permet de suivre parfaitement l'évolution de la taille du défaut.

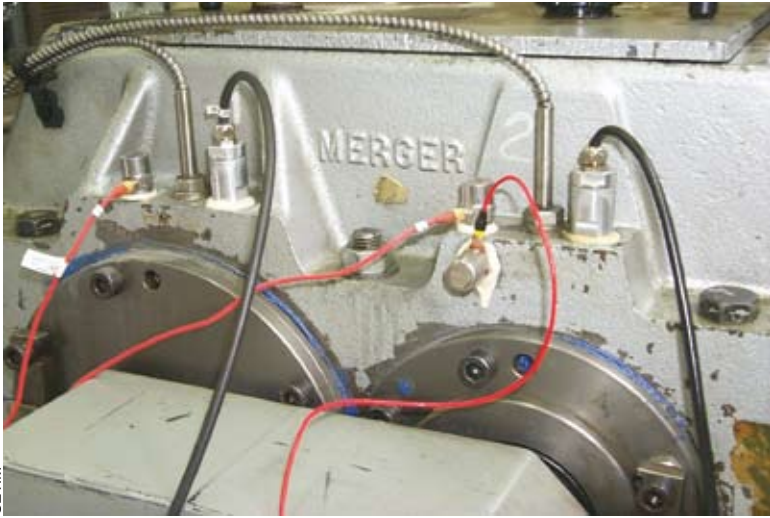
Un nouvel axe de recherche pour le suivi de l'intégrité des roulements par émission acoustique porte sur l'étude du lubrifiant. L'émission acoustique est très sensible à de nombreux paramètres intervenant dans la lubrification des roulements : température du roulement, viscosité, présence d'impuretés dans la

graisse... Mais si plusieurs conditions expérimentales varient en même temps, le suivi du niveau d'activité acoustique ne sera plus suffisant pour obtenir une bonne séparation entre les signaux liés à une mauvaise lubrification et le « bruit » environnant. Il reste donc encore à réaliser une étape de discrimination afin de rendre la technique applicable à l'industrie. L'autre voie à creuser est le traitement du signal par réseau de neurone multicouche, qui, selon le Cetim, donne de bons résultats. La surveillance par émission acoustique, de certains organes de transmission est donc d'ores et déjà possible. Mais cette technique étant encore jeune, l'analyse des données est encore à améliorer.

SUIVIS D'ÉVOLUTIONS

D'une manière générale, les mécanismes lubrifiés (multiplicateurs, réducteurs, systèmes hydrauliques) peuvent être surveillés par l'analyse de leur lubrifiant pour identifier des anomalies telles que la pollution par des agents extérieurs ou l'apparition de débris liés à l'usure d'un composant et en déterminer l'évolution par comparaison des résultats obtenus à chaque analyse.

Ces méthodes sont mises en œuvre sur site par prélèvement d'échantillons, examens visuels et analyses en laboratoire : physico-chimie, spectrométrie, comptage de particules, ferrographie. Des développements récents ont permis de proposer des capteurs et des systèmes de traitement pour surveiller en



CETIM
Banc d'essais de surveillance acoustique/vibratoire des éléments de la chaîne cinématique

continu et en ligne la qualité des huiles. Dans la pratique industrielle, les techniques d'analyse d'huile et d'analyse vibratoire s'avèrent complémentaires.

Très utilisée pour les roulements, la mesure de température est avant tout un indicateur du bon fonctionnement de la chaîne cinématique. Toutefois les phénomènes de dégradations sont aléatoires : la température du composant surveillé peut évoluer différemment selon les cas. Il est alors intéressant de rapprocher la mesure de température d'autres indicateurs (Kurtosis, RMS...) afin d'augmenter la pertinence de la surveillance.

Au niveau de l'arbre de transmission, la mesure de couple s'effectue soit en intégrant un capteur de couple dans l'installation, soit en mettant en place des jauges d'extensométrie sur l'arbre concerné, solution choisie lorsqu'il n'est pas possible d'intégrer un capteur. Dans ce cas, il est nécessaire de transmettre les signaux de mesure de la partie tournante vers la partie fixe. La mesure de couple permet d'enregistrer les variations du couple moyen transmis, mais aussi de connaître les fluctuations autour du couple moyen et les pics de couple.

VARIATIONS DE FLUX

Le moteur électrique joue un rôle primordial dans une chaîne cinématique et peut faire l'objet d'une surveillance de ses défauts, mécaniques comme électriques. Un défaut mécanique au niveau du moteur (asymétrie, balourd, désalignement entre le rotor et la cage) va générer des modifications de l'écart stator/rotor et ainsi des variations

« Le moteur électrique joue un rôle primordial dans une chaîne cinématique et peut faire l'objet d'une surveillance de ses défauts, mécaniques comme électriques »

de flux détectables sur les signaux électriques. Tous les défauts de la chaîne cinématique qui peuvent générer des fluctuations de couple ou de vitesse vont également générer des fluctuations et peuvent donc être détectés par l'analyse des courants statoriques.

Les courants moteur peuvent donc être utilisés comme outil de surveillance. L'intérêt principal de cette mesure réalisée

le plus souvent à l'aide d'une pince ampèrométrique est d'être non-intrusive, déportée et facile à mettre en œuvre. Cependant les défauts d'asymétrie du rotor génèrent le même type de symptôme, ce qui rend complexe le diagnostic. « Les méthodes qui utilisent des mesures électriques intensité + tension sur toutes les phases d'alimentation du moteur révèlent des performances de diagnostic bien supérieures à celles qui utilisent l'information d'une seule phase », précisent les spécialistes du Cetim.

Pour les freins, deux zones sont susceptibles de présenter des défauts : la distance entrefer et le carter moteur fixe. Les modes de défaillances susceptibles d'apparaître à ce niveau de la chaîne cinématique sont le non-serrage, le serrage partiel, le serrage trop important, le broutement. La connais-

signaux enregistrés. Outre les méthodes temporelles, plusieurs indicateurs statistiques simples sont utilisés couramment : la valeur RMS (Root Mean Square) ou la variance qui mesure l'énergie du signal, la valeur crête à crête qui mesure le maximum d'amplitude entre les valeurs extrêmes du signal, le facteur de crête, défini comme le ratio entre la valeur 0-crête et la valeur RMS et le kurtosis qui détecte 95 % des défauts indépendamment des conditions de charge et de vitesse de fonctionnement. Ils sont souvent utilisés pour définir des seuils afin de réaliser une surveillance de premier niveau protégeant les installations.

L'analyse spectrale ou analyse de Fourier, est l'un des outils de traitement du signal le plus utilisé en analyse vibratoire. Cette méthode est largement répandue dans la surveillance et le diagnostic des machines tournantes car les défauts sont caractérisés par des signatures spécifiques.

Depuis quelques années, l'utilisation de nouvelles méthodes et en particulier l'émission acoustique a permis de donner une alternative aux techniques vibratoires classiques. Comme pour les signaux de vibrations, les signaux d'émission acoustique peuvent être analysés grâce à un traitement fréquentiel. Cependant, on applique le plus souvent un traitement temporel, quand seule la détection de l'anomalie est recherchée et non pas un diagnostic approfondi du défaut. ■ E.B.