



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of some Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/21662>

Official URL:

To cite this version:

Trajin, Baptiste Détection des défauts de roulements dans une machine asynchrone par analyse spectrale des courants statoriques. (2008) In: Journée des jeunes chercheurs en génie électrique. JCGE'08, 16 December 2008 - 17 December 2008 (Lyon, France). (Unpublished)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:

tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Détection des défauts de roulements dans une machine asynchrone par analyse spectrale des courants statoriques

Baptiste TRAJIN

LAPLACE – 2, rue Charles Camichel – BP 7122 – 31071 TOULOUSE

La détection de défauts de roulements dans les entraînements asynchrones par analyse des courants statoriques représente un axe de recherche novateur dans le cadre de la surveillance et du diagnostic des systèmes électriques. Des oscillations du couple de charge entraînent l'apparition de modulations de phase sur les courants, dont l'amplitude est dépendante de la fréquence des oscillations. Compte tenu du comportement fréquentiel de l'entraînement, des points de fonctionnement sont mis en évidence pour améliorer la sensibilité de la détection. Un indicateur de détection de défauts de roulement est présenté puis validé sur des roulements usés.

I. INTRODUCTION

Les entraînements électriques à base de machine asynchrone sont largement utilisés dans les applications industrielles en raison de leur faible coût, de leurs performances et de leur robustesse. Cependant, des modes de fonctionnement dégradés peuvent apparaître, mettant principalement en cause les roulements à billes. Une surveillance vibratoire peut être mise en place mais celle-ci est souvent chère et industriellement difficile à réaliser. Pour y remédier, la détection et la surveillance peuvent être basées sur l'analyse de grandeurs électriques telles que les courants de phase moteur qui sont souvent déjà mesurés pour le contrôle ou la protection du moteur.

Un modèle physique de la machine permet de démontrer que des oscillations du couple de charge mécanique, provoquées par les roulements, induisent des signatures spectrales particulières sur les courants. Par ailleurs, une caractérisation fine du système à surveiller permet de mettre en évidence des conditions favorisant la détection des oscillations de couple. Finalement, un schéma de détection automatique des défauts de roulements peut être mis en place.

II. EFFETS MECANIQUES

Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore ou l'apparition de vibrations à des fréquences caractéristiques du roulement [1]. Par ailleurs, les défauts de roulements induisent des variations dans le couple de charge de la machine asynchrone à des

fréquences combinaisons des fréquences caractéristiques du roulement. Cependant, le contenu spectral du couple de charge ne peut être prévu de manière théorique.

Notons que la détection des défaillances de roulement pourrait se faire via l'analyse du contenu spectral du couple de charge. Cependant, l'implantation d'un couplemètre est bien souvent difficile à réaliser et très onéreuse.

III. MODELE DE COURANT

De nombreux travaux [2] montrent que les oscillations du couple de charge provoquent préférentiellement des modulations de phase (PM) sur les courants statoriques. Considérons que le couple de charge est composé d'une composante continue d'amplitude C_0 égale au couple électromagnétique de la machine C_{em} et d'une série de n harmoniques d'amplitude C_n et de pulsation ω_n .

Au travers du système mécanique, la position mécanique est obtenue et permet de calculer la force magnétomotrice (FMM) rotorique qui se trouve modulée en phase. La FMM rotorique conduit au flux magnétique rotorique qui induit un courant dans les bobinages statoriques. Ce courant est alors également modulé en phase. En considérant des modulations de phase de faible amplitude, on obtient une expression simplifiée du module de la Transformée de Fourier (FT) du courant (1) en fonction de la fréquence f avec f_s la fréquence fondamentale d'alimentation et $f_n = \omega_n / 2\pi$.

$$|FT\{i(t)\}| = (I_s + I_r)\delta(f - f_s) + I_r \sum_n \frac{\beta_n}{2} \delta(f - (f_s \pm f_n)) \quad (1)$$

Une connaissance plus approfondie de l'indice de modulation β_n est nécessaire pour caractériser le système en vue de son diagnostic. On montre que le paramètre de modulation est une fonction de l'amplitude de l'oscillation de couple C_n mais également de la fréquence de l'oscillation f_n .

La charge de la machine asynchrone est constituée d'une machine à courant continu dont le courant d'induit est contrôlé. La référence de courant permet d'imposer un couple constant plus un couple oscillant. Ainsi, en mesurant dans les spectres l'amplitude de l'oscillation de couple imposée et l'amplitude des composantes latérales de modulation sur les courants de la MAS pour plusieurs fréquences d'oscillations, il est possible de tracer le gain entre l'oscillation de couple et la modulation de phase, c'est-à-dire obtenir le ratio β_n/C_n en fonction de f_n .

La fonction $\beta_n/C_n(f_n)$ est mesurée en Fig. 1 pour différentes fréquences d'alimentation.

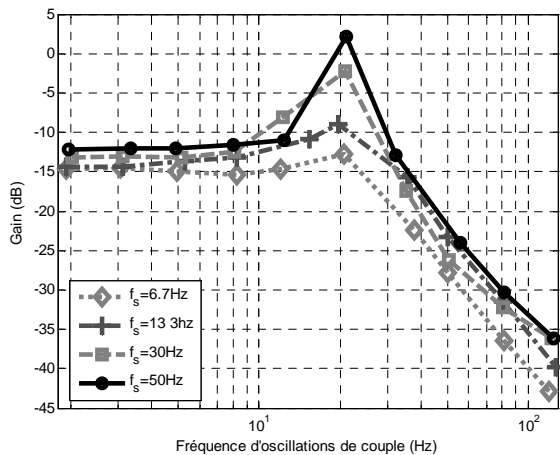


FIG. 1. Diagrammes de gain mesurés pour plusieurs fréquences d'alimentation

On peut remarquer qu'il existe une résonance dont l'amplitude décroît avec la fréquence statorique mais dont la fréquence est constante. Elle pourra donc être utilisée comme un amplificateur dans le schéma de diagnostic des oscillations de couple dues aux défauts de roulements.

Par ailleurs, on montre qu'un tel comportement résonant peut potentiellement apparaître dans toutes les machines du à

l'interaction des systèmes mécaniques et électriques, en fonction des valeurs des paramètres de ces systèmes. Ce comportement peut également être mis en évidence par l'utilisation d'une simulation numérique du système électromécanique, la machine étant simulée via son modèle d'état par exemple. On montre alors qu'une modélisation fine du système permet de connaître son comportement fréquentiel sans pour autant effectuer de mesures sur banc de test.

IV. INDICATEUR DE DEFAUT

Sachant que les défauts de roulements induisent des oscillations du couple de charge et donc des modulations de phase sur les courants statoriques, une détection des défauts de roulements peut se faire via une recherche des harmoniques de modulation relatifs aux fréquences caractéristiques du roulement.

Cependant, l'amplitude des harmoniques de modulation peut être faible et noyée dans le bruit de fond des spectres de courant. Afin d'améliorer le rapport signal à bruit des mesures, les transformées de Fourier (FT) de deux courants de phase sont multipliées afin de corréler les signatures [3]. Cette méthode permet d'augmenter l'efficacité de la détection d'harmoniques.

Conformément à l'étude du couple de charge, les contenus spectraux du couple et du courant ne peuvent être connus de manière théorique. C'est pour cela qu'il est nécessaire de rechercher dans les spectres de courant, non pas l'apparition d'harmoniques particuliers, mais plutôt une augmentation d'énergie dans des bandes spectrales où des harmoniques relatifs aux défauts sont susceptibles d'apparaître.

L'indicateur est donc défini comme une extraction d'énergie dans les bandes latérales de modulation à $f_s \pm n f_{def}$ où f_{def} peut être la fréquence caractéristique de la bague externe ou de la bague interne du roulement. De plus les bandes de fréquences sont étendues de façon à tenir compte des éventuels harmoniques faisant intervenir la fréquence de rotation mécanique et la fréquence caractéristique de la cage du roulement (2).

$$\begin{cases} f_s \pm [nf_{def} - f_c; nf_{def} + f_c] \\ f_s \pm [nf_{def} - f_r - f_c; nf_{def} - f_r + f_c] \\ f_s \pm [nf_{def} + f_r - f_c; nf_{def} + f_r + f_c] \end{cases} \quad (2)$$

avec $n \in [1;5]$

Pour estimer la vitesse de rotation, les harmoniques d'encoches rotoriques sont détectés sur les courants de phase [4]. Pour chaque intervalle fréquentiel, l'énergie spectrale est intégrée et normalisée par la valeur maximum dans la bande. L'indicateur proposé utilise la différence d'énergie relative entre un spectre de courant sain (référence de mesure) et les spectres en cas de défaut. Enfin, une somme cumulée de l'écart relatif est calculée pour construire l'indicateur. Seule la dernière valeur de la somme cumulée définit l'indicateur de défaillance.

Le détecteur est maintenant appliqué sur un roulement dégradé considéré comme usé et défaillant par le service après-vente d'un constructeur de machine. Conformément au comportement fréquentiel mis en évidence, pour détecter de manière certaine la présence de défauts sur le roulement, il est nécessaire de tester deux fréquences d'alimentation particulières pour faire concorder une des fréquences caractéristiques du roulement avec la fréquence de résonance. La Fig. 2 montre les sommes cumulées relatives au calcul de l'indicateur pour une fréquence statorique de 6.7Hz dans le cas du roulement usé, ce qui permet d'avoir la fréquence caractéristique de la bague interne proche de la fréquence de résonance.

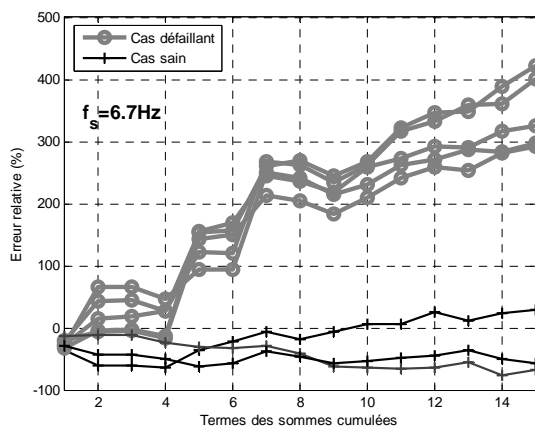


FIG. 2. Indicateur de défaut de roulements – Cas d'un roulement usé

L'indicateur de défaut ne réagit que pour ce point de fonctionnement, ce qui prouve d'une

part que la détection est possible et d'autre part que les défauts principaux sont situés sur la bague interne du roulement. Par ailleurs un spectre vibratoire du roulement défaillant confirme que la majorité des harmoniques de défaut sont relatifs à la bague interne.

V. CONCLUSION

Nous avons étudié la faisabilité de la détection de défauts de roulements dans une machine asynchrone par analyse des courants statoriques. Un modèle de courant en cas d'oscillations du couple de charge démontre l'existence de modulations de phase dont l'amplitude est variable en fonction de la fréquence d'oscillation. La loi de variation d'amplitude des raies de modulation a été précisée via des diagrammes de gain pour quelques points de fonctionnements du banc de test. Les mesures ont montré une résonance utilisable dans le cas de la détection de défauts mécaniques tels que les défauts de roulements.

Le point de résonance a été utilisé de manière à amplifier les effets des défauts de roulements sur les courants et de manière à détecter la localisation du défaut. Un indicateur automatique de détection a été présenté et validé sur un roulement naturellement usé. Le schéma de détection proposé permet effectivement de détecter avec un bon indice de confiance les défauts de roulements.

VI. REFERENCES

- [1] T.A. Harris, "Rolling bearing Analysis", Wiley, New-York, 3rd ed., 1991.
- [2] M. Blödt *et al.*, "Mechanical Load Fault Detection in Induction Motors by Stator Current Time-Frequency Analysis", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 42, n. 6, pp. 1454–1463, Nov-Dec. 2006.
- [3] B. Trajin, J. Regnier, J. Faucher, "Bearing Fault Indicator in Induction Machine Using Stator Current Spectral Analysis", *Proc. Power Electronics Machine and Drives Conference*, U.K, Apr. 2008, pp. 592–596.
- [4] S. Nandi, S. Ahmed, H. A. Toliyat, "Detection of Rotor Slot and Other Eccentricity Related Harmonics in a Three Phase Induction Motor with Different Rotor Cages", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 16, n. 3, pp. 253–260, Sep. 2001.