

Enroulement amortisseur pour la réduction des bruits et vibrations d'une machine asynchrone alimentée par MLI

Grégory BAUW ⁽¹⁾, François BALAVOINE ⁽²⁾, Bertrand CASSORET ⁽¹⁾, Raphaël ROMARY ⁽¹⁾

(1) Univ. Artois, EA 4025, Laboratoire des Systèmes Electrotechniques et Environnement (LSEE), Béthune, F-62400, France, (2) SATT Nord de France, 59000 Lille

RESUME – L'article présente un système qui permet la réduction passive des bruits et vibrations d'une machine asynchrone triphasée grâce à un enroulement amortisseur statorique connecté à des condensateurs. Il s'agit d'un système peu coûteux, simple et efficace pour réduire le niveau de bruit global audible d'une machine.

Mots-clés— Moteur asynchrone, bruit, vibrations, harmoniques, enroulement, amortisseur, MLI.

1. INTRODUCTION

Pour des questions de confort des utilisateurs, le bruit audible des machines électriques est devenu un aspect fondamental à traiter dès leur conception [1]. Le niveau de bruit global d'une machine résulte de trois sources principales : le bruit mécanique, aérodynamique et magnétique [2]. Nous nous intéresserons essentiellement à ce dernier qui est souvent prépondérant et en particulier lorsque la machine est alimentée par modulation de largeur d'impulsions (MLI).

En effet, le bruit magnétique est le bruit audible généré par les forces magnétiques présentes dans la machine. Les forces de Maxwell qui attirent le stator et le rotor sont à l'origine de déformations du stator, donc de vibrations et de bruit. Elles sont liées à la présence d'harmoniques d'induction dans l'entrefer. Ces harmoniques peuvent être générés par l'effet d'encoches, la saturation, l'excentricité ou, dans le cas d'une alimentation MLI, par les harmoniques de courant. Ces derniers étant nombreux, cela conduit à un nombre de forces important, et par conséquent à un bruit important.

Diverses méthodes sont possibles pour réduire le bruit d'une machine électrique. En premier lieu, il convient de respecter les règles de constructions et de dimensionnement des machines en choisissant notamment un nombre d'encoches statoriques et rotoriques adéquat. D'autre part, des travaux antérieurs proposent par exemple d'agir sur le bruit en injectant un système de courants harmoniques dans les enroulements, créant ainsi des ondes de forces en opposition avec celles naturellement générées par la machine [3]. Ces courants harmoniques peuvent être également injectés dans un enroulement auxiliaire [4]. Une autre méthode consiste à utiliser des actionneurs piézo-électriques pour limiter les vibrations produites par la machine et par conséquent réduire le niveau de bruit global [5].

La méthode proposée dans l'article est basée sur une injection de courants dans un enroulement auxiliaire, mais par un moyen passif.

2. DESCRIPTIF TECHNIQUE DU SYSTEME

Le système que nous proposons permet la réduction passive des bruits et vibrations d'une machine asynchrone. L'idée est de bobiner dans les encoches un deuxième enroulement triphasé superposé au premier, mais électriquement indépendant. On peut parler d'un enroulement secondaire ou auxiliaire (Fig. 1).

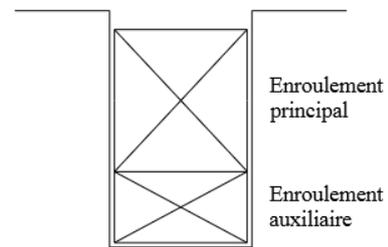


Fig.1 Disposition des enroulements dans une encoche

Couplées en étoile ou en triangle, les bobines auxiliaires sont simplement reliées à 3 condensateurs de valeurs adéquates. Le rotor reste, comme dans tous les moteurs asynchrones, en court-circuit (Fig. 2).

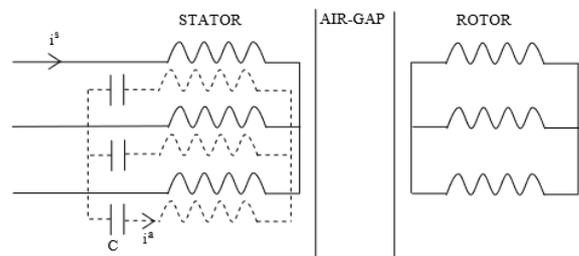


Fig.2 Schéma d'une machine avec enroulement amortisseur

Le principe est le suivant : les harmoniques d'induction créent des courants induits dans l'enroulement auxiliaire, ceux-ci créent des ondes d'induction qui s'opposent à la cause qui leur a donné naissance, et rendent l'induction d'entrefer plus sinusoïdale. D'où une réduction des effets des harmoniques.

D'autre part les condensateurs amènent une part de la puissance réactive nécessaire au moteur, entraînant une baisse de la puissance réactive consommée (amélioration du facteur de puissance), donc du courant fondamental absorbé.

3. SCHEMA MONOPHASE EQUIVALENT

Le schéma monophasé équivalent est donné à la figure (Fig. 3). Il s'agit du schéma équivalent classique de la machine asynchrone auquel a été ajoutée une branche auxiliaire comprenant la résistance et l'inductance de fuites de l'enroulement ainsi que le condensateur mis en série avec celui-ci.

A la faible fréquence d'alimentation (généralement 50 ou 60Hz, voire moins en vitesse variable), les condensateurs forment une impédance élevée si bien que les courants induits dans l'enroulement auxiliaire gardent des valeurs faibles à la fréquence d'alimentation. Selon la valeur du condensateur et le nombre de spires de l'enroulement auxiliaire ajouté, la circulation de ces courants peut toutefois créer une partie de la puissance réactive nécessaire à la magnétisation du circuit magnétique et faire diminuer le courant magnétisant absorbé au stator.

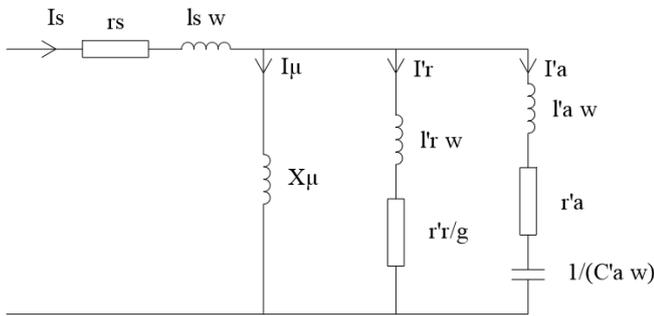


Fig.3 Schéma monophasé équivalent

Pour ce qui est des harmoniques, les ondes d'induction non désirables dues à la MLI créent dans les enroulements auxiliaires des courants induits à fréquence élevée pour lesquels l'impédance de la branche auxiliaire est faible. Au niveau du schéma équivalent, cela se traduit par le fait que les courants harmoniques provenant de l'alimentation circulent principalement dans l'enroulement auxiliaire. Ils génèrent par conséquent des harmoniques d'induction plus faibles.

4. SPECTRE DE BRUIT ET EXPLOITATION DES RESULTATS

Des mesures de bruit ont été effectuées sur une machine asynchrone triphasée de 4kW alimentée par variateur de vitesse avec une position de micro à une distance de 1 mètre dans une chambre semi-anéchoïque. La fréquence de découpage est de 8 kHz et les spectres présentés utilisent une pondération en A pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine.

On remarque nettement que les raies autour de la fréquence de découpage qui sont prépondérantes dans le spectre sont fortement atténuées. La raie à 7850Hz diminue de 68dB(A) à 52dB(A) comme le montre les figures (Fig. 4) et (Fig. 5). Cela s'accompagnera par une réduction du niveau de pression acoustique global mesuré de plus de 8,5dB(A) dans ce cas. Les vibrations sont également considérablement réduites.

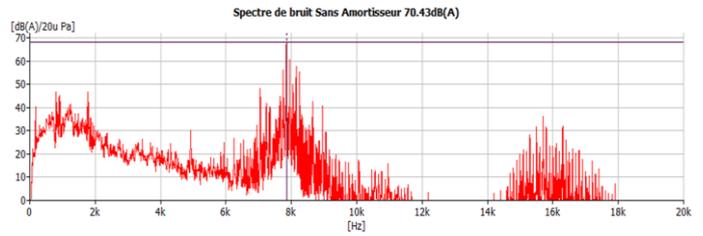


Fig.4 Spectre de bruit sans enroulement amortisseur pour $f_{MLI}=8kHz$

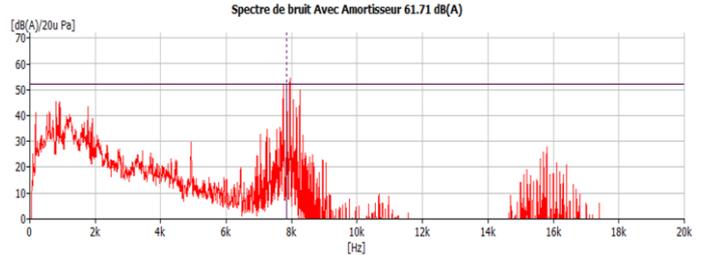


Fig.5 Spectre de bruit avec enroulement amortisseur pour $f_{MLI}=8kHz$

De nombreux essais ont été effectués avec différentes positions de microphone de manière à mesurer le niveau de puissance acoustique de la machine avec et sans système, ils confirment les résultats.

5. CONCLUSIONS

Le système proposé ici permet de réduire considérablement le bruit magnétique de manière passive, donc sans faire appel à une électronique complexe. La réduction obtenue est stable dans le temps, même lorsque la vitesse de la machine varie. Une large gamme de valeurs de condensateurs convient. Le système a pour inconvénient de nécessiter de la place dans les encoches pour y ajouter le bobinage auxiliaire. Toutefois ce bobinage est parcouru par des courants faibles et nécessite donc moins de place que le bobinage initial.

6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la SATT Nord de France (Société d'Accélération du Transfert de Technologie) qui a breveté cette invention [6] et qui nous a permis de financer des prototypes de moteur modifiés ainsi que le matériel nécessaire à nos expérimentations.

7. REFERENCES

- [1] Jean Le Besnerais, Vincent Lanfranchi, Michel Hecquet, Pascal Brochet, "Bruit audible d'origine magnétique dans les machines asynchrones", Techniques de l'Ingénieur, référence D3580, 10/05/13.
- [2] B. Cassoret, "Réduction active du bruit magnétique des machines asynchrones directement connectées au réseau", thèse de doctorat de l'Université d'Artois, 1996.
- [3] B. Cassoret, R. Corton, D. Roger, J. F. Brudny. "Magnetic noise reduction of induction machines". IEEE Trans. on Power Electronics, US, vol. 18, N°2, Mars 2003, pp. 570-579.
- [4] J. P. Lecoite, R. Romary, J.F. Brudny, M. McClelland, "Analysis and active reduction of vibration and acoustic noise in the switched reluctance motor". IEE, Electric Power Applications, Londres, Grande Bretagne, novembre 2004, Vol. 151, N°6, pp. 725-733.
- [5] X. Ojeda, X. Mininger, H. Ben Ahmed, M. Gabsi, M. Lecrivain, "Piezoelectric Actuator Design and Placement for Switched Reluctance Motors Active Damping". IEEE Transactions on Energy Conversion, 2009, Vol 24, N°2, pp. 305 – 313.
- [6] B. Cassoret, R. Romary, " Moteur électrique à enroulement auxiliaire isolé", Brevet déposé le 23 juin 2015 auprès de l'INPI, demande n° 1555757.