

Simulation du bruit rayonné par un moteur électrique : influence des défauts

Jean-Baptiste DUPONT

Vibratec, 28 chemin du petit bois, 69130 Ecully, FRANCE

Résumé :

Une méthodologie de simulation multiphysique est mise en place pour calculer le bruit rayonné par un moteur électrique en réponse aux excitations électromagnétiques. Cette méthode comporte 3 étapes. Les excitations électromagnétiques sont estimées grâce à un modèle électromagnétique puis elles sont projetées sur un modèle de la structure de la machine. Enfin, la puissance acoustique rayonnée est estimée à partir des champs de vitesse vibratoire.

Dans ce papier, cette méthode est utilisée pour analyser l'influence des défauts de la machine sur le bruit rayonné. Le cas des excentricités statique et dynamique sont étudié ainsi que le court-circuit entre spires d'une phase. Ces défauts ont pour conséquence un enrichissement des excitations et donc de la réponse dans le domaine fréquence ainsi que dans le domaine spatial.

Abstract :

A multiphysical simulation methodology is used to estimate the noise radiated by an electric motor due to electromagnetic excitations. This is a 3-step method. Electromagnetic excitations are obtained with the aid of an electromagnetic solver. Then, they are projected onto the structural model of the machine and dynamic responses can be calculated. Finally the noise radiated by the machine is obtained through an acoustic model (analytical, finite elements...).

In this paper, this method is used to analyze the influence of motor faults on radiated noise. Several faults are considered: static eccentricity, dynamic eccentricity and short circuit between loops of a phase. These faults increase the complexity of the electromagnetic excitations in terms of space distribution as well as frequency content. As a consequence, the faults add new contribution to the noise spectrum.

Mots clefs : Moteur électrique, éléments finis, Pression de Maxwell, Excentricité

1 Introduction

Avec l'apparition des motorisations hybrides et 100% électriques, l'industrie automobile est entrée dans une nouvelle ère. Le comportement vibroacoustique des moteurs à combustion est connu et relativement maîtrisé, il s'agit maintenant de construire la même expertise en rapport avec le bruit et les vibrations engendrés par les machines électriques C'est dans cette démarche générale que s'inscrit

ce document. Il s'agit de déterminer l'influence des défauts d'un moteur électrique sur le bruit rayonné. La machine étudiée est un moteur synchrone à aimants (50kW, 4 pôles, 48 encoches).

2 Méthode de simulation

Les excitations pouvant intervenir dans une machine électrique peuvent être réparties en trois catégories :

- Les phénomènes mécaniques (contacts, frottement...)
- Les phénomènes aérodynamiques (ventilateurs de refroidissement, effet de la rotation du rotor)
- Les phénomènes électromagnétiques

La méthode détaillée dans [1] permet de calculer le bruit de la machine en réponse aux excitations électromagnétiques. La figure 1 reprend le principe de la méthode.

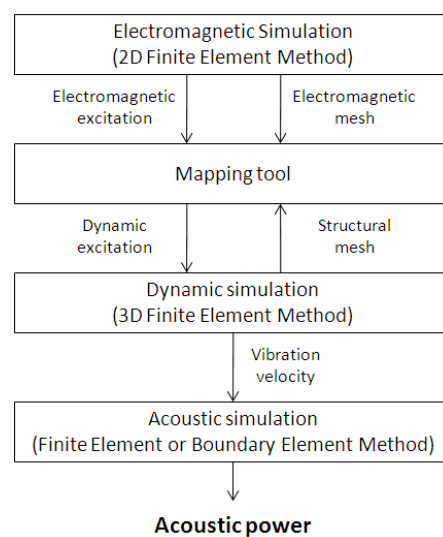


Figure 1 : Principe de la simulation

3 Modélisation des défauts

Les défauts du moteur sont pris en compte dans la phase de simulation électromagnétique. Ils n'ont d'influence que sur le contenu des excitations appliquées à la structure de la machine. Les différents défauts de moteur considérés dans ces simulations sont :

- Excentricité statique (Figure 2a)
- Excentricité dynamique (Figure 2b)

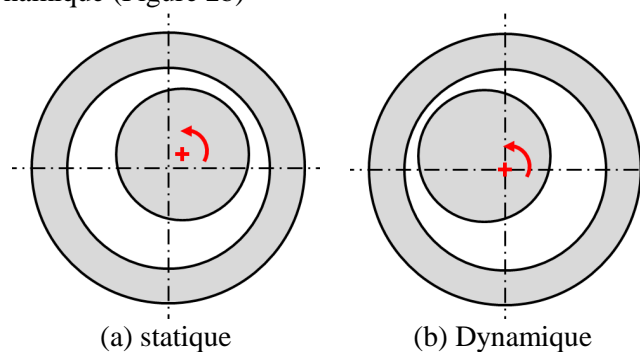
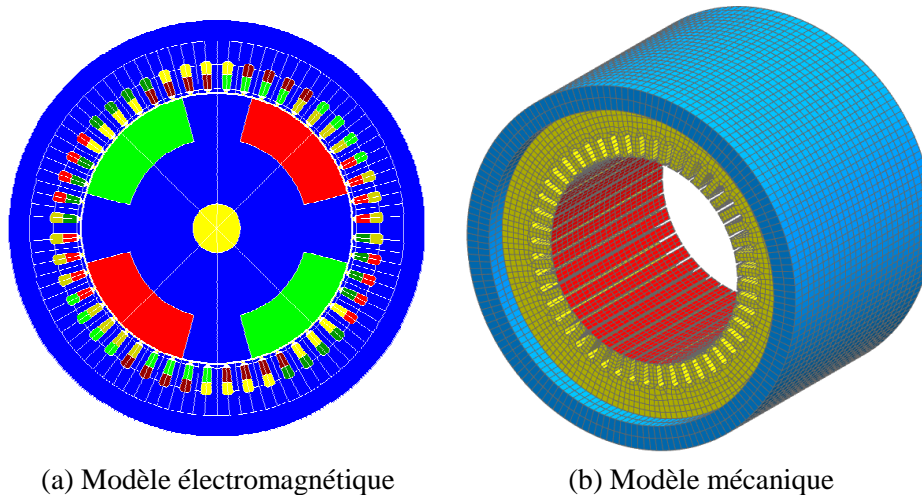


Figure 2 : Défauts d'excentricité

D'autres types de défauts ont été étudiés, mais ne sont pas détaillés dans ce document.

4 Modèles éléments finis

La méthode de simulation proposée est multiphysique, elle implique la construction de deux modèles éléments finis : le modèle éléments finis électromagnétique destiné à estimer les excitations électromagnétique appliquées à la structure de la machine et le modèle éléments finis mécanique de la structure, dédié aux calculs de réponse dynamique. Les figures 3a et 3b illustrent ces deux modèles.



(a) Modèle électromagnétique

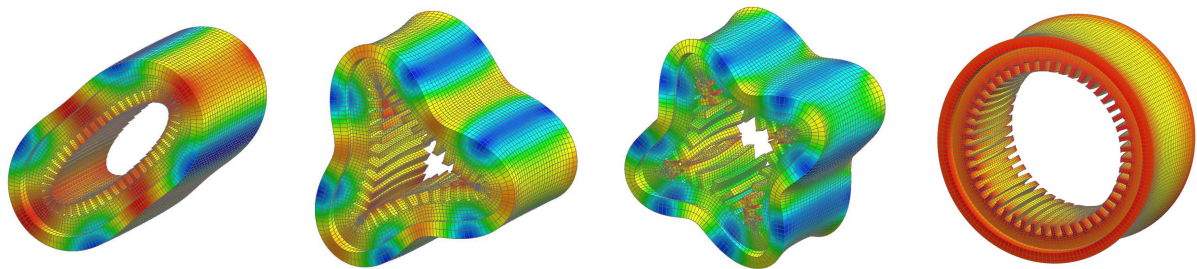
(b) Modèle mécanique

Figure 3 : Modèle éléments finis

5 Résultats

5.1 Base modale de la structure

La connaissance de la base modale de la structure est un point déterminant de la compréhension du comportement dynamique de la machine. En particulier, les modes les plus importants sont les modes dits « de cylindre » illustrés par la figure 4 : ces modes peuvent être excités par les excitations électromagnétiques appliqués à la structure.



(a) Mode (2,0) 1500Hz

(b) Mode (3,0) 3830Hz

(c) Mode (4,0) 6510Hz

(d) Mode (0,0) 6040Hz

Figure 4 : Principaux modes de la structure

5.2 Spectrogrammes

Les figures 5 à 7 présentent les résultats obtenus grâce à la méthode multiphysique proposée. La figure 5 donne le bruit rayonné par le moteur « parfait » en fonction de la vitesse et de la fréquence. Il apparaît que le contenu de l'excitation électromagnétique aboutit à l'appropriation des modes (4,0) et (0,0) de la structure, en particulier par les harmoniques 44 et 48 de la rotation moteur. L'introduction de l'excentricité statique (figure 6) ne modifie pas le contenu fréquentiel de l'excitation, mais il en modifie la distribution spatiale. Le mode (3,0) situé à 3830Hz est donc excité pendant la montée en

régime dans le cas de l'excentricité statique, notamment par les harmonique 44 et 52. L'excentricité dynamique a pour conséquence une modification du contenu fréquentiel de l'excitation ainsi que de sa distribution spatiale. On constate sur la figure 7 que le mode (3,0) est excité par les harmoniques 45 ou 51.

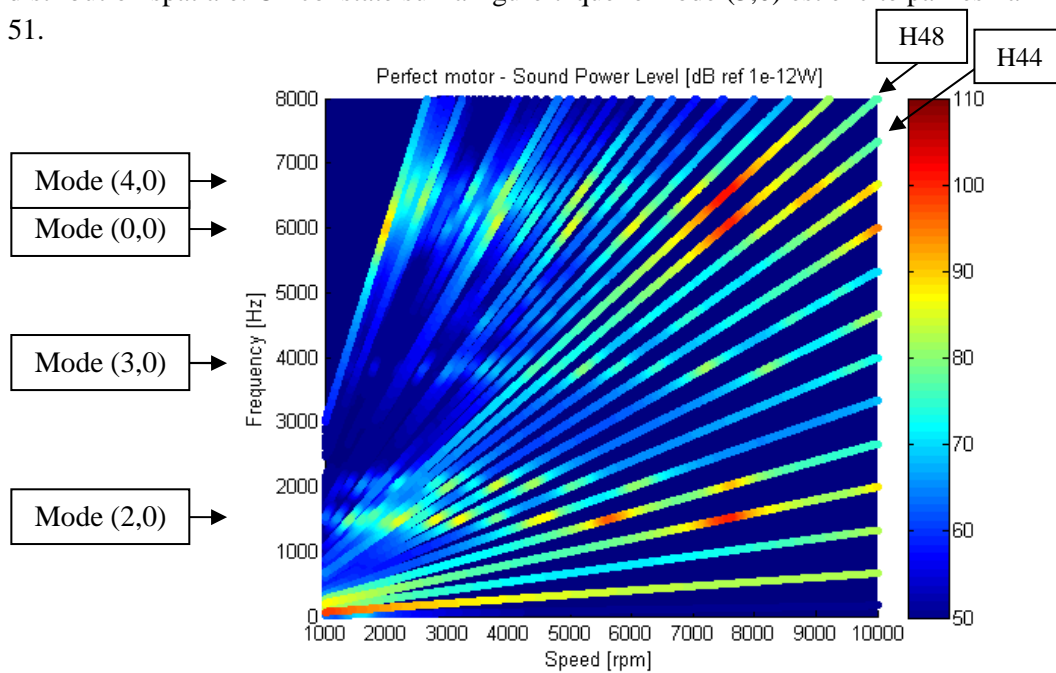


Figure 5 : Spectrogramme du bruit rayonné – cas parfait

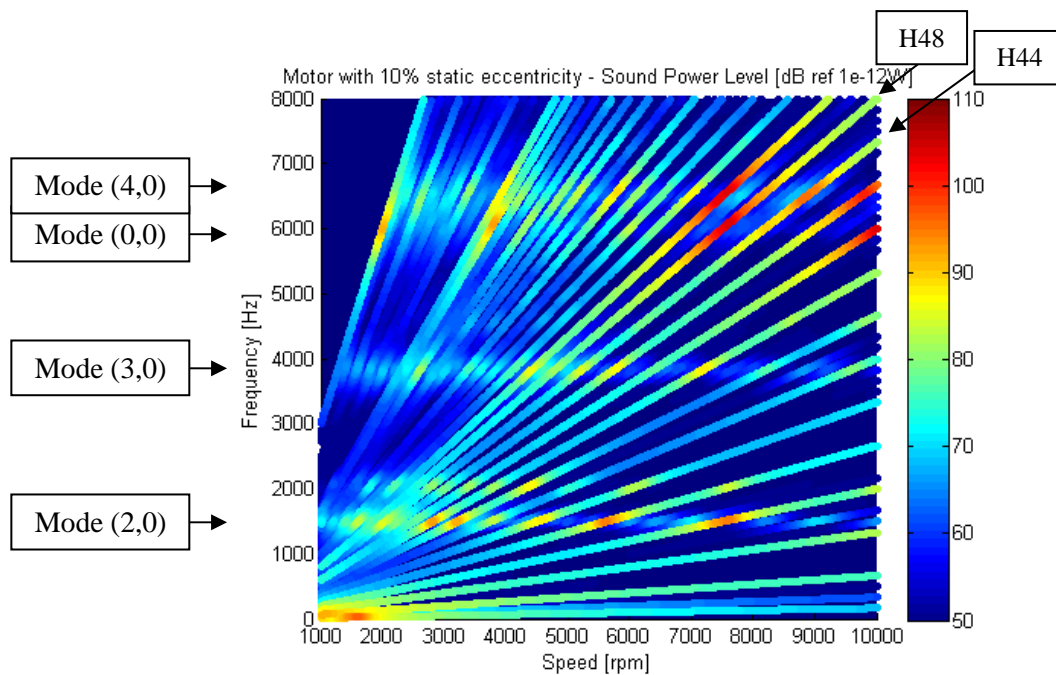


Figure 6 : Spectrogramme du bruit rayonné – cas de l'excentricité statique

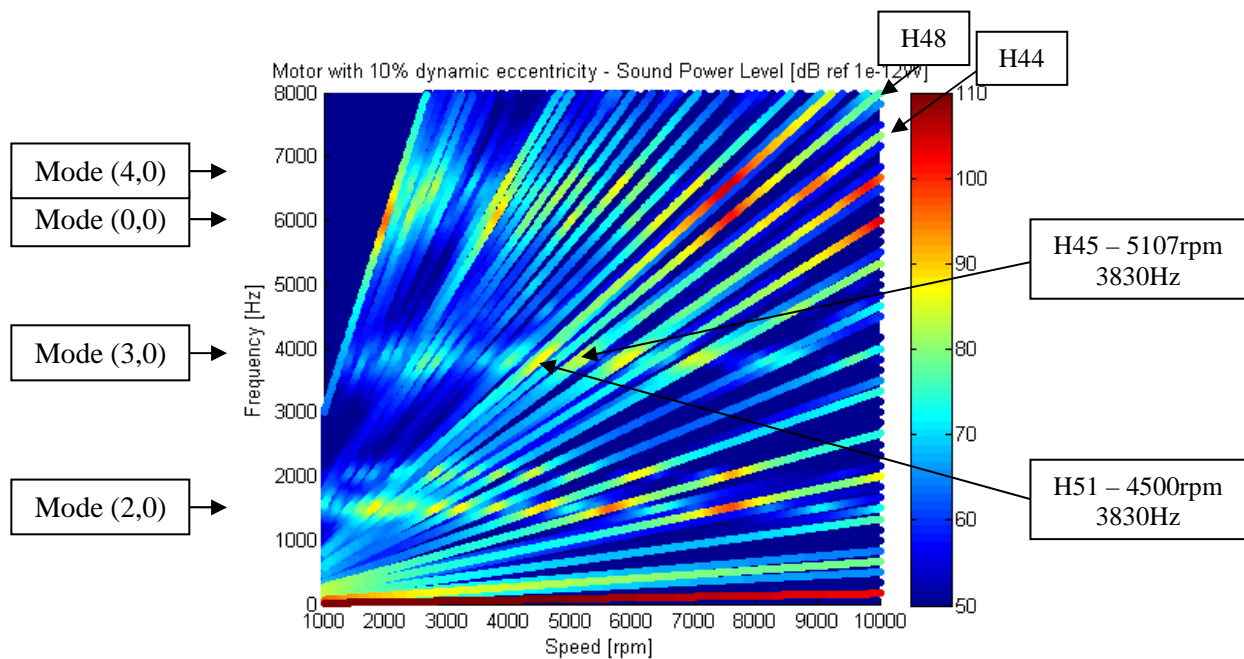


Figure 7 : Spectrogramme du bruit rayonné – cas de l'excentricité dynamique

6 Conclusion

La méthode multiphysique proposée a permis de déterminer l'influence de certains défauts de fabrication des machines électriques (excentricités) sur le bruit rayonné par la machine. Il apparaît que ces défauts peuvent être à l'origine de l'enrichissement des excitations électromagnétiques appliquées à la structure de la machine du point de vue du contenu fréquentiel et de la distribution spatiale des efforts. Sur une montée en régime certains modes sont excités en présence d'un défaut alors qu'ils ne l'étaient pas dans le cas parfait, permettant d'expliquer et de solutionner certains comportements problématiques constatés sur des machines réelles.

Références

- [1] Dupont J. and Bouvet P., "Multiphysics Modelling to Simulate the Noise of an Automotive Electric Motor", SAE Technical Paper 2012-01-1520, 2012, doi:10.4271/2012-01-1520.