

Proposition de sujet de thèse CIFRE

Méthodes fréquentielles pour la prédiction de réponses vibratoires des machines électriques tournantes hybridées sous excitations cycliques

Contexte

La prédiction du comportement dynamique des équipements industriels est fondamentale pour assurer leur fonctionnement optimal et sécurisé. Cela demande, souvent, l'élaboration de modèles numériques, pour lesquels la méthode des éléments finis (MEF) est privilégiée, grâce notamment à sa capacité de prendre en compte des géométries complexes de manière relativement directe. De même, la MEF permet d'introduire le *couplage fort* entre des physiques différentes dans les modèles, telles que l'interaction entre dynamique des structures et électromagnétisme dans une machine électrique, mais au prix d'un coût de calcul qui augmente rapidement avec la taille du système et avec l'inclusion d'effets non-linéaires (contact, saturation magnétique, effet de Coriolis, ...). Les modèles de comportement dynamique à l'échelle des composants sont très largement développés mais ils font trop souvent l'hypothèse de vitesse constante et sont rarement couplés dans un seul modèle dynamique (couplage fort). Afin de permettre une simulation de machines entières avec des temps de simulation adaptés aux besoins industriels, une démarche visant de traiter la complexité et l'efficacité à l'échelle de la machine est fortement souhaitable.

Ceci est d'une importance particulière dans le cas des *machines tournantes*, dont la configuration géométrique particulière (composants à géométrie discrète en rotation), les soumet à des chargements dits *cycliques*, c'est-à-dire périodiques par rapport à une ou plus coordonnées angulaires. Des sources de ce type d'excitation incluent les engrènements, les roulements à billes, et les machines électriques [3]. Dans tous les cas, ce type de chargement peut s'interpréter comme une excitation de type paramétrique, que l'on sait être souvent à l'origine de problèmes d'instabilité pour un grand nombre de systèmes dynamiques [REF bouquin Nayfeh ou autre].

Contexte Industriel

Dans un effort continu pour augmenter l'efficacité énergétique et répondre aux exigences environnementales, Safran explore l'hybridation de ses turbomachines par l'intégration de moteurs électriques. L'hybridation, déjà largement utilisée dans l'automobile, est une stratégie prometteuse qui prévoit l'ajout d'une puissance électrique dans la chaîne de motorisation.

Des études d'intégration de moteurs électriques sur des turbomachines ont été initiées au sein de Safran Aircraft Engine, visant à hybrider les turbomachines modernes. Toutefois, l'ajout d'une seconde source de puissance impose l'installation d'une chaîne de transmission mécanique spécifique, permettant le couplage avec la source primaire provenant de la combustion. Cette chaîne mécanique, alliée aux effets du moteur électrique, modifie significativement les comportements dynamiques observés, y compris la stabilité de la configuration qui, si elle n'est pas correctement anticipée, peut conduire à des défaillances du système.

Afin de dimensionner précisément ces systèmes non-linéaires couplés complexes, il est crucial de simuler l'ensemble de la chaîne incluant les effets électriques, électromagnétiques et mécaniques, tout en maintenant une rapidité de simulation compatible avec les exigences des bureaux d'études et les cycles de conception.

Objectifs de la thèse

Cette thèse a pour objectif principal de développer une stratégie de simulation efficace, du point de vue de la modélisation et des méthodes numériques de résolution, d'une machine électrique couplée à une transmission de puissance par engrenages. Le fort couplage entre les différentes dynamiques, les excitations paramétriques et les comportements non linéaires seront ciblés dans la modélisation de cette architecture complète et complexe pour révéler les changements de dynamique. On s'appuiera pour cela sur l'expertise développée au LaMCoS dans le domaine des approches angulaires [1] pour traiter les conditions de fonctionnement non stationnaires, de la modélisation plus ou moins complexe des composants constitutifs [3] et de la maîtrise d'outils de résolution et d'analyse offerts par les méthodes de continuation développée au sein de l'AHBM [4]. L'application industrielle ciblée sera constituée d'une architecture hybridée comportant une machine électrique accouplée à une transmission de puissance mécanique. La complexification des modèles s'orientera tout d'abord par l'intégration de modèles de comportement dynamique des différents composants simples et semi-analytiques dans le formalisme de l'AHBM (couplage de comportements paramétriques et de la non-linéarité induite par la vitesse de rotation). Puis les modèles seront rendus de plus en plus fins dans la description des comportements, avec notamment l'intégration de non-linéarité de différentes natures (saturation magnétique, efforts de contact, effet gyroscopique ou centrifuge, ...). Des excitations externes pourront être prises en compte, en particulier dans la commande de la machine électrique, en fin de thèse si le temps, les performances en rapidité de calcul et le niveau de complexité traité offrent cette possibilité d'extension. Pour terminer, des essais sur un banc dédié pourront être prise en compte afin de corroborer les études faites en simulation.

- Profil recherché
- Ingénieur avec un profil électromécanique ou détenteur d'un master 2 recherche orienté autour de l'ingénierie électrique/mécanique, avec une expérience précédente dans le domaine des vibrations et/ou de la dynamique des machines tournantes (la dynamique des rotors, des machines électriques ou des transmissions de puissance serait un plus).
- Maîtrise de la méthode des éléments finis, idéalement avec une expérience pratique sur des problèmes multi-physique.
- Aisance et appétence pour la programmation scientifique et les méthodes numériques.
- Connaissance en dynamique non linéaire serait un plus.
- Anglais courant.

Partenaires

- Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures (LaMCoS)
Campus LyonTech-la Doua, Villeurbanne, Lyon (FR).
- Safran Aircraft Engines, Rond Point René Ravaud - Réau 77550 Moissy-Cramayel, France
- Safran Tech, Rue des Jeunes Bois, Châteaufort, 78114 Magny-Les-Hameaux, France

Contact

Envoyer CV, lettre de motivation et bulletins de notes (M1 et M2 ou équivalent) à:

Roberto Alcorta, roberto.alcorta@insa-lyon.fr

Didier Remond, didier.remond@insa-lyon.fr

Adrian Florescu, adrian.florescu2@safrangroup.com

Quentin Mercier, quentin.mercier@safrangroup.com

Références

[1] E. Sghaier, A. Bourdon, D. Rémond, J.-L. Dion, N. Peyret, Coupled bending torsional vibrations of non-ideal energy source rotors under non-stationary operating conditions, *Int. J. Mech. Sci.* (2019) **163**, 105155.

[2] R. Seydel, *Practical Bifurcation and Stability Analysis*, 3rd ed. Springer New York, 2012.

[3] X. Li, A. Bourdon, D. Rémond, S. Kœchlin, D. Prieto. *Angular-based modelling of unbalanced magnetic pull for analyzing the dynamical behavior of a 3-phase induction motor*. *J. Sound Vib* (2021) **494**:115884.

[4] R. Alcorta, A. Bourdon, D. Remond. *An angular approach for the bifurcation analysis of rotating machinery in non-stationary regimes*. Proceedings of the 8th CMMNO, Wenzhou, China, May 10–13, 2024.