

Proposition de stage de Master 2

Modélisation et caractérisation des pertes AC dans les conducteurs des machines et inductances

Modalités du stage

Localisation :	Laboratoire SATIE, site de Saclay - Paris
Équipe encadrante :	Olivier de la Barrière, Laboratoire SATIE Xavier Mininger, Laboratoire GeePs Sami Hlioui, Laboratoire SATIE
Rémunération	Montant autorisé pour un établissement public (~ 650€/mois)
Durée	Entre 4 et 6 mois.
Contact :	olivier.de-la-barriere@ens-paris-saclay.fr
Possibilité de poursuite en thèse	Oui (Thèse CIFRE – LIEBHERR-AEROSPACE)

Contexte

Les pertes AC dans les conducteurs situés dans les encoches des machines électriques, ainsi que dans les bobinages des inductances de l'électronique de puissance, sont dues aux champs magnétiques environnants (des conducteurs eux-mêmes, ou émanant du rotor de la machine). Ces champs perturbent les lignes de courants, et augmentent ainsi la résistance en courant alternatif. Ces pertes sont un problème déjà bien étudié dans un passé plus ou moins récent [1][2]. L'objectif est de prévoir l'évolution du rapport entre la résistance AC en courant alternatif, et celle en courant continu DC, R_{AC}/R_{DC} , en fonction de la fréquence. Le regain d'intérêts des équipementiers pour cette problématique se fait nettement sentir aujourd'hui, puisque les fréquences de conversion sont en constante augmentation, notamment dans les secteurs aériens ou routiers, pour réduire la masse des dispositifs.

Même si de nombreux modèles, du fait de la linéarité du problème, restent analytiques [2], la prise en compte des conducteurs fractionnés (dits fils de Litz), ainsi que la forme exacte des brins, obligent parfois à utiliser des méthodes numériques de type éléments finis [3].

Enfin, ces pertes sont très délicates à mettre en évidence sur le plan expérimental [2]. En effet, les méthodes fondées sur des mesures de puissance absorbée sont délicates à mettre en œuvre, du fait des fréquences élevées, et de la difficulté à séparer les pertes cuivre des autres types de pertes (fer, etc.), qui justement augmentent très fortement avec la fréquence.

Travail demandé

Etat de l'art et modélisation

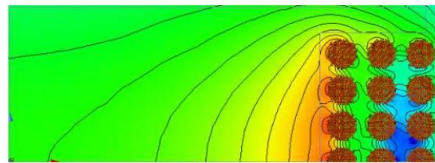
Le stagiaire sera invité, dans un premier temps, à répertorier les principaux modèles des pertes AC dans les fils de Litz présents dans la littérature scientifique et technique. Il conviendra de classer ces modèles en plusieurs catégories (analytiques, numériques), avec un regard critique quant aux avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes.

Puis, après avoir décidé d'un cas d'étude (par exemple une encoche de machine avec une géométrie donnée), certains des modèles vus précédemment seront implémentés afin de prédire le rapport R_{AC}/R_{DC} que l'on devrait obtenir en fonction de la fréquence.

Expérimental

L'encoche de machine précédemment retenue sera fabriquée et bobinée, avec des fils de Litz fournis par la société Liebherr. Puis nous effectuerons la mesure du rapport R_{AC}/R_{DC} . Étant donné la difficulté de la mesure, une réflexion sera menée pour amplifier le phénomène, ainsi que sur l'instrumentation électronique à mettre en œuvre.

Enfin et surtout, nous tirerons les conclusions qui s'imposent quant à la comparaison expérimentale et calculée du rapport R_{AC}/R_{DC} , de telle façon à jeter les bases d'une future collaboration avec la société Liebherr (thèse de doctorat ou autre).



Simulation FEM d'une encoche remplie de fil de Litz [3]

Références

- [1] J.P. Ferrieux, F. Forest, Alimentations à découpage, Convertisseurs à résonance : Principes, composants, modélisation, Editions Masson, 1994.
- [2] P. Mellor, R. Wrobel and N. Simpson, "AC losses in high frequency electrical machine windings formed from large section conductors," in *2014 ECCE conference*.
- [3] S. Baek, An Efficient and Practical 2D FEM-Based Framework for AC Resistance Modeling of Litz Wire Windings, *MDPI*, 2025.

Connaissances préalables

Le/La candidat(e) doit idéalement présenter le profil suivant :

- connaissance de la modélisation des champs magnétiques et des d'outils de simulation numérique associés (Matlab, FEMM, Comsol, ANSYS, etc)
- intérêt pour les études expérimentales.