

Stage recherche de Master 2

Titre du sujet : Étude et implémentation de méthodes de stabilisation pour la résolution des équations de transport par la méthode des éléments finis.

Niveau : Master 2

Durée : 4 mois

Rétribution : 554,40€/mois

Contact : M. Parent (e-mail : guillaume.parent@univ-artois.fr)

Résumé du stage

Contexte

Depuis plusieurs années, le Laboratoire Systèmes Électriques et Environnement (LSEE) mène des recherches dans les domaines de l'efficacité énergétique et de la fiabilité des machines électriques. Cette thématique de recherche, en constante évolution, est parfaitement inscrite dans la modernité puisque le monde des transports mène actuellement une course à l'électrification de ses véhicules. Qu'il s'agisse de voitures particulières, de camions ou encore d'avions, les évolutions successives apparues ces dernières années dans les moteurs et les actionneurs électriques ont conduit au développement de technologies très innovantes qui visent à réduire le poids et à augmenter l'efficacité énergétique ainsi que la fiabilité des appareils. Cependant, ces évolutions technologiques, et en particulier l'augmentation de l'amplitude et de la fréquence de découpage de la tension, imposent des fronts de tension beaucoup plus raides qu'auparavant lors de chaque commutation et sont responsables de pics de tension dont l'amplitude approche le maximum théorique. Ces contraintes mènent invariablement à l'apparition, dans l'isolation inter-spires des bobinages, de décharges partielles particulièrement nocives pour la longévité de la couche isolante. En effet, les mécanismes de vieillissement des isolations organiques utilisées pour les bobinages des machines s'emballent dès que le seuil d'apparition des décharges partielles (PDIV) est dépassé. Dans ce cas la longévité de la machine passe de plusieurs milliers d'heures à quelques dizaines de minutes. Aussi, il apparaît de plus en plus nécessaire de pouvoir prévoir les contraintes auxquelles le système d'isolation des bobinages de l'actionneur est soumis le plus finement possible et *a priori* de sa construction.

Différentes méthodes « macroscopiques » [1]–[3] permettent de déterminer le PDIV d'un bobinage avec plus ou moins de précision. Cependant, ces méthodes ne permettent pas d'expliquer un certain nombre de phénomènes, comme la procédure d'apparition d'une décharge partielle ni son développement. Aussi, afin de prendre en compte toute la chaîne phénoménologique, depuis les conditions d'initiation des décharges jusqu'à leur extinction, il apparaît nécessaire d'étudier l'évolution dynamique des charges d'espace dans le bobinage à l'aide de la résolution des équations de l'électro-hydrodynamique couplées à celle de l'électrostatique [4]–[7].

Travail attendu

La résolution des équations de l'électro-hydrodynamique couplées à celle de l'électrostatique requiert la résolution des équations de transport de types parabolique et hyperbolique [6] à coefficients non constants. Il est connu que la méthode des éléments finis classique (méthode de Galerkin) n'est pas adaptée à la

résolution de ce type de problème et requiert l'utilisation de méthodes de stabilisation [8]–[10]. Aussi, le travail de stage consistera à :

- réaliser une liste la plus exhaustive possible des méthodes de stabilisation existant dans la littérature ;
- identifier les méthodes les plus appropriées pour la résolution des équations de l'électrohydrodynamique ;
- implémenter ces méthodes dans le code de calcul GetDP [11], [12] ;
- valider l'implémentation de ces méthodes sur des cas tests simples en 1D et 2D ;

Il est à noter que les travaux menés durant le stage sont préliminaires au démarrage d'une thèse sur la modélisation des charges d'espace dans les bobinages de machines électriques en septembre 2021.

Bibliographie

- [1] F. Paschen, "Ueber die zum Funkenübergang in Luft, Wasserstoff und Kohlensäure bei verschiedenen Drucken erforderliche Potentialdifferenz," *Annalen der Physik*, vol. 273, no. 5, pp. 69–96, 1889, doi: 10.1002/andp.18892730505.
- [2] G. Parent, M. Rossi, S. Duchesne, and P. Dular, "Determination of Partial Discharge Inception Voltage and Location of Partial Discharges by Means of Paschen's Theory and FEM," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 55, no. 6, pp. 1–4, Jun. 2019, doi: 10.1109/TMAG.2019.2902374.
- [3] L. Lusuardi, "Towards a partial discharge free insulation system for the More Electrical Transportation," University of Bologna, 2020.
- [4] R. Morrow and J. J. Lowke, "Streamer propagation in air," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 30, no. 4, pp. 614–627, Feb. 1997, doi: 10.1088/0022-3727/30/4/017.
- [5] R. Morrow, "The theory of positive glow corona," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 30, no. 22, pp. 3099–3114, Nov. 1997, doi: 10.1088/0022-3727/30/22/008.
- [6] L. Liu, "Physics of Electrical Discharge Transitions in Air," KTH Royal Institute of Technology, 2017.
- [7] B. Bagheri *et al.*, "Comparison of six simulation codes for positive streamers in air," *Plasma Sources Science and Technology*, vol. 27, no. 9, p. 095002, Sep. 2018, doi: 10.1088/1361-6595/aad768.
- [8] C. Johnson, U. Nävert, and J. Pitkäranta, "Finite element methods for linear hyperbolic problems," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 45, no. 1–3, pp. 285–312, Sep. 1984, doi: 10.1016/0045-7825(84)90158-0.
- [9] D. Kuzmin, "A guide to numerical methods for transport equations," 2010.
- [10] E. Hachem, H. Digonnet, E. Massoni, and T. Coupez, "Modélisation du procédé de chauffage de pièces dans un four industriel," in *18ème Congrès Français de Mécanique Grenoble-CFM 2007*, 2007, p. 6 pages.
- [11] P. Dular and C. Geuzaine, "Getdp." [Online]. Available: <http://getdp.info>
- [12] P. Dular, C. Geuzaine, F. Henrotte, and W. Legros, "A general environment for the treatment of discrete problems and its application to the finite element method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, no. 5, pp. 3395–3398, 1998, doi: 10.1109/20.717799.

Candidature

Par e-mail adressé à guillaume.parent@univ-artois.fr avec :

- CV
- Lettre de motivation
- Résultats des 3 dernières années