UNIVERSITÉ DE LORRAINE | GREEN

Groupe de Recherche en Energie Electrique de Nancy
Financement doctoral pour la rentrée 2025

Développement de câbles supraconducteurs pour la transition énergétique

Conditions : Master en Génie Electrique, Energie, Physique ou équivalent.

Contacts :
Pr. Jean Lévêque : jean.leveque@univ-lorraine.fr
Kévin Berger : kevin.berger@univ-lorraine.fr

Location :
GREEN – http://green.univ-lorraine.fr/
Faculté des Sciences et Technologies - BP 70239 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

Description du sujet

L'augmentation du trafic ferroviaire et les exigences croissantes en matière de mobilité durable font émerger de nouveaux défis énergétiques. La continuité du service ferroviaire, en particulier dans les zones urbaines denses, exige des solutions innovantes pour l'électrification. Dans ce contexte, l'utilisation de câbles supraconducteurs à haute température critique (SHT) apparaît comme une technologie prometteuse, capable de transporter de fortes puissances sans perte énergétique ni chute de tension.

Ce projet doctoral, porté par le laboratoire GREEN, s'inscrit pleinement dans les objectifs de décarbonation du secteur ferroviaire et plus largement des réseaux électriques. Il vise à améliorer l'efficacité globale des câbles supraconducteurs, en s'attaquant spécifiquement au défi technique des terminaisons, qui assurent la liaison entre la température ambiante et l'environnement cryogénique du câble. Ces terminaisons, qui peuvent être longues et encombrantes, limitent l'intégration de ces câbles dans des systèmes embarqués et impactent également l'efficacité globale du système.
Les câbles supraconducteurs apparaissent comme des solutions pertinentes dans plusieurs applications, notamment dans l'aéronautique. Ils demeurent cependant quelques points de blocage sur le plan scientifique et technique. En particulier, les terminaisons qui font la liaison entre la température ambiante et l'environnement cryogénique du câble sont un point d'amélioration et d'optimisation. Actuellement ces parties du câble représentent une longueur de près d'un mètre, ce qui peut les rendre difficiles à intégrer, voire impossibles à utiliser, notamment dans les applications embarquées.
Les objectifs du projet doctoral portent donc sur l'optimisation du système de câble supraconducteur, en se concentrant sur les terminaisons et leur système de refroidissement associé. L'approche originale consiste à rester pragmatique sur les solutions à apporter, à étudier et à modéliser la terminaison d'un point de vue électrique et thermique en y intégrant différents échangeurs et systèmes de refroidissement. L'ensemble devant être optimisé pour une gamme de plusieurs milliers d'ampères.

L'approche adoptée est pragmatique et interdisciplinaire, combinant électrotechnique, thermique, cryogénie et mécanique des fluides. Le projet comprend les étapes suivantes :

- Analyse de l'état de l'art (mois 3),
- Conception d'un banc d'essai pour tester diverses configurations (mois 9),

- Étude comparative de différentes options de terminaison (mois 12),
- Développement d'un prototype de terminaison 5 kA (mois 24)
- Rédaction du rapport final (mois 30).

Les retombées attendues sont multiples : meilleure intégration des câbles dans les environnements contraints (ferroviaire, aéronautique), réduction de la consommation de matériaux stratégiques, comme le cuivre ou l'aluminium, et contribution significative à la réduction des émissions de CO_2.

Project Description

The increase in rail traffic, in conjunction with the growing demand for sustainable mobility, is giving rise to a number of new energy challenges. The provision of uninterrupted rail services, particularly within densely populated urban areas, necessitates the development of innovative electrification solutions. In this particular context, the use of high-temperature superconducting (HTS) cables is a technology that shows great promise, with the capability of carrying power without experiencing any loss or voltage drop.

This doctoral project, overseen by the GREEN laboratory, is in alignment with the overarching objective of reducing carbon emissions in the rail sector and, by extension, power grids in general. The objective of this research is to enhance the overall efficiency of superconducting cables, with a particular focus on addressing the technical challenge posed by terminations. Terminations serve to establish the connection between the ambient temperature and the cryogenic environment of the cable. These terminations, which can be extensive and unwieldy, impede the integration of these cables into embedded systems and also have a detrimental effect on overall system efficiency.

Superconducting cables appear to be a viable solution for a number of applications, particularly in the field of aeronautics. Nevertheless, a number of scientific and technical bottlenecks persist. It is evident that the terminations which establish the connection between the ambient temperature and the cryogenic environment of the cable represent a domain that is susceptible to enhancement and optimization. Presently, these components of the cable constitute a length of approximately one meter, a factor that can render their integration challenging, or even unfeasible, particularly in embedded applications.

The objectives of the present PhD project are therefore twofold: firstly, to optimize the superconducting cable system, with a focus on the terminations and their associated cooling system; and secondly, to achieve a comprehensive understanding of the relevant scientific principles. The original approach is to adopt a pragmatic stance on the solutions to be implemented, and to study and model the termination from an electrical and thermal perspective, integrating various heat exchangers and cooling systems. It is imperative that the entire system is optimized for a range of several thousand amperes. The project adopts a pragmatic and interdisciplinary approach, combining electrical engineering, thermal management, cryogenics, and fluid mechanics. The research plan includes

- A state-of-the-art review (month 3),
- The design of a test bench to evaluate different configurations (month 9),
- A comparative study of several termination solutions (month 12),
- The development of a 5 kA termination prototype (month 24),
- Followed by the final manuscript writing (month 30).

The expected outcomes are numerous: improved integration of superconducting cables in constrained environments (such as rail and aeronautics), reduced use of strategic raw materials like copper and aluminum, and a significant contribution to CO_2 emissions reduction.