



université PARIS-SACLAY

«LA CONCEPTION ET L'AMÉLIORATION DE LA STRUCTURE DE COUPLAGE MAGNÉTIQUE POUR DES SYSTÈMES DE TRANSFERT DE PUISSANCE INDUCTIVE LOCALISÉES» PAR AMOS ONYEDIKACHI ANELE

Présentée par : Amos Onyedikachi Anele Discipline : génie électrique Laboratoire : LISV

Résumé :

Compte tenu du contexte économique du marché des hydrocarbures et les problématiques environnementales, le développement des véhicules électriques (VE) prend de l'ampleur car ils sont considérés comme plus écologiques. Aujourd'hui, les véhicules électriques sont considérés comme une solution favorable pour une énergie plus verte. L'électricité qu'ils consomment peut être générée à partir d'un large éventail de sources qui comprennent les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. Toutefois, les utilisateurs et les propriétaires de véhicules électriques ont encore des réticences car cela nécessite un stockage d'énergie électrique à bord pour assurer une bonne autonomie.

Le système de transfert de puissance par effet inductif (LIPT en anglais) est une nouvelle technologie qui permet le transfert d'énergie électrique par champ magnétique et un système de bobines primaires et secondaires. Le champ magnétique est un champ haute-fréquence à plusieurs dizaines de kilohertz. Par rapport au système de câble conventionnel, le système LIPT est capable de fournir une recharge qui est pratique mais également efficace des véhicules électriques. Cependant, actuellement son principal facteur limitant est la mauvaise performance de sa structure de couplage magnétique (MCS). L'objectif de cette thèse est d'améliorer la performance des systèmes MCS pour les systèmes de LIPT afin de concevoir des systèmes à meilleur rendement.

Dans un premier temps, sur la base de modèles mathématiques issus de la littérature, un code Matlab a été mis en œuvre pour calculer l'inductance mutuelle des systèmes de bobines mise en jeu dans le MCS. Puis, le calcul et la validation expérimentale des champs magnétiques entre le primaire et le secondaire a été effectué.

Dans un second temps, un modèle d'un système LIPT pour la charge d'une batterie de véhicule électrique est présenté. Sur la base des spécifications techniques d'une Renault ZOE, les résultats obtenus montrent que, en adaptant la fréquence de la bobine primaire et en compensant avec un système série-série de condensateurs, un système à 3 kW et un système à 22 kW peuvent atteindre des performances permettant la recharge d'une Renault Zoe dans de bonnes conditions.

Enfin, une analyse par éléments finis (FEA) sous COMSOL est développée pour la conception, le calcul et l'optimisation de systèmes MCS plus complexes de nouveaux LIPT. Les modèles de MCS conçus intègrent des bobines d'air évidées avec des configurations appropriées de noyaux magnétiques (par exemple en ferrite), avec des études également sur des parties couvrantes des bobines primaires et secondaires en acier. Les performances des modèles conçus sont déterminées par les valeurs de l'inductance mutuelle et la tension induite qui sont deux critères d'évaluations.

Abstract :

Taking into account high oil prices and environmental awareness, the development of electric vehicles (EVs) is considered as a healthier mode of transportation. Amongst other eco-friendly vehicles, EVs are considered as a favourable solution for a greener energy because the electricity they consume can be generated from a wide range of sources which include fossil fuel, nuclear power and renewable energy. However, users and owners of EVs feel uncomfortable because EVs require sufficient electrical energy battery storage on-board to provide sufficient driving autonomy.

Lumped inductive power transfer (LIPT) system is a new technology that allows the transfer of electric power between its air-cored primary and secondary coils via high frequency magnetic fields to a consuming device. Unlike the conventional plug-in system, LIPT system is capable of providing a safe, efficient and convenient overnight recharging

of EVs. However, its main limiting factor is the poor performance of its magnetic coupling structure (MCS), which is intended to transfer power efficiently. Thus the problem statement of this thesis is to improve the performance of MCS models for LIPT systems. Firstly, based on a more efficient and relevant mathematical model available in the literature, MATLAB code is implemented to compute the mutual inductance between air-cored filamentary circular (FC) coils. Also, the computation and experimental validation of the magnetic fields between two FC coils are presented.

Furthermore, computational models of an IPT system for EV battery charge are presented in this thesis. Based on the technical specifications of Renault ZOE, the results obtained show that by supplying a higher frequency AC voltage to the primary coil of the MCS and compensating the primary and secondary sides of the air-cored coils with series-series capacitors, the 3 kW single-phase and 22 kW three-phase IPT systems modelled using MATLAB/Simulink are capable of delivering the electricity needed to power the Renault ZOE.

Finally, in order to recommend a suitable and cost-efficient MCS model that can help transfer electric power more efficiently for the battery charging of EVs and E-bikes, a 3-D finite element analysis (FEA) package called COMSOL multiphysics is used to design, compute and investigate a more complex and realistic MCS model of LIPT systems. The designed MCS models incorporate air-cored coils with proper configuration of magnetic cores (e.g. ferrite), structural steel covering for the bottom part of the primary coil and top part of the secondary coil and lastly, iron plate which serves as a covering for the primary coil installed underground and the chassis or underbody structure of EVs. The performance of the designed models are determined by the values of the mutual inductance and induced voltage obtained from COMSOL, overall feasibility, low weight and cost efficiency.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Yves BERNARD, Professeur des Universités, à l'Université Paris Sud 11/Laboratoire de Génie Electrique de Paris - UMR 8507 - Gif/Yvette - Rapporteur

Mamadou Lamine DOUMBIA, Professeur, à l'Université du Québec à Trois-Rivières /Département de Génie Electrique et Informatique - (Québec -Canada) - Rapporteur

Luc CHASSAGNE, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles (LISV) - Velizy - Directeur de thèse

Jorge LINARES, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Groupe d'Etude de la Matière Condensée (GEMAC) - Versailles - Co-Directeur de thèse

Yskandar HAMMAM, Professeur des Universités, à l'Université de Technologie de Tshwane - Pretoria (Afrique du Sud) - Co-Directeur de thèse

Karim DJOUANI, Professeur des Universités, à l'Université de Technologie de Tshwane - Pretoria (Afrique du Sud) - Co-Directeur de thèse

Karol HRICOVINI, Professeur des Universités, à Cergy-Pontoise/Laboratoire de Physique des Matériaux et des Surfaces - EA 2527 - Cergy-Pontoise - Examineur

Augustin MPANDA, Professeur, à l'ESIEE - Amiens - Examineur

Yasser ALAYLI, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles (LISV) - Velizy - Invité