Symposium de Génie Electrique
8-9 juillet 2014, Cachan

Evaluation du Rayonnement Electromagnétique d'un Système de Recharge Sans Contact Pour Véhicule Electrique

Mohammad IBRAHIM, Laurent BERNARD, Lionel PICHON, et Adel RAZEK

Laboratoire de Génie Electrique de Paris UMR 8507 CNRS, SUPELEC, Université Paris-Sud, UPMC, 11 rue Joliot-Curie, Gif-sur-Yvette cedex, 91192 France

RESUME – Un système de recharge sans contact pour le véhicule électrique (VE) est considéré. Une modélisation 3D par éléments finis (FE) du coupleur inductif est réalisée dans le but de calculer les inductances (propres et mutuelles) et le champ magnétique rayonné au sein du système. En outre, un modèle de circuit associé à un calcul de champ permet la détermination du comportement électrique du système pendant la charge. Les résultats de simulation sont ensuite validés par comparaison avec des mesures expérimentales. Le modèle proposé permet la conception du système prenant en compte l'optimisation du transfert d'énergie et les contraintes de compatibilité électromagnétique rayonnée (EMC).

MOTS-CLES – Charge Inductive, Eléments Finis, CEM Rayonnée, Convertisseur à Résonance.

1. Introduction

Sécurité, fiabilité, efficacité et innocuité sont les principales exigences de la conception du transfert de puissance inductif (IPT) des systèmes de batteries pour véhicules électriques. Le but est de transférer de l'énergie entre le sol et le véhicule (batterie à bord) par un système à boucle d'induction (sur le principe d'un transformateur), comme illustré à la Fig. 1 [1]. Il est nécessaire de s'assurer que le niveau de champ électromagnétique rayonné à l'intérieur et autour du véhicule est conforme aux normes acceptables [2], [3], [4]. La conception nécessite la modélisation avancée des champs électromagnétiques rayonnés et de l'électronique de puissance entre la source et la batterie. Une modélisation par éléments finis en 3D a été développée, prenant en compte les bobines circulaires et des ferrites circulaires agissant comme un blindage magnétique pour limiter la pénétration du champ d'excitation à l'intérieur du véhicule [4]. En outre, le châssis de l'EV, qui modifie considérablement le champ rayonné et le facteur de couplage entre l'émetteur et le récepteur, est représenté par une géométrie simplifiée. Enfin, le modèle proposé est validé par comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus pour une charge à 2 kW.

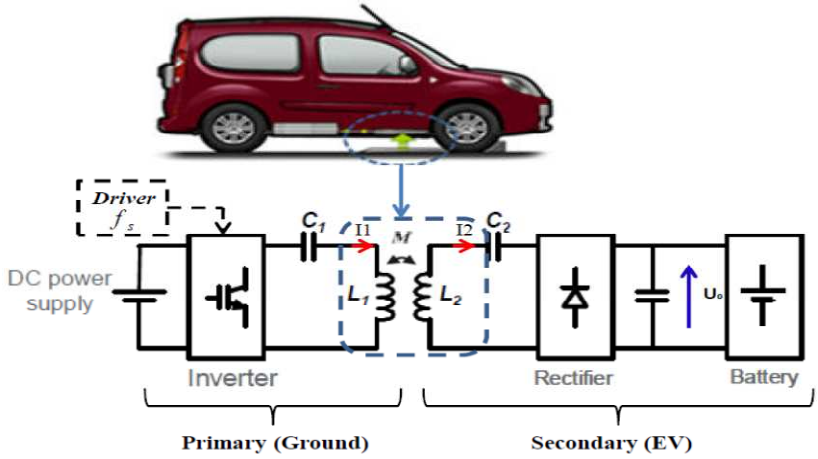

Fig. 1: Système IPT de recharge pour VE

2. Modélisation du « Coupleur Inductif » (IC)

Un modèle de structure circulaire planaire du coupleur est construit comme illustré sur la Fig. 2. Il contient deux bobines circulaires (émetteur et récepteur), et deux plaques de ferrite circulaires qui recouvrent entièrement les bobines comme un blindage magnétique. La conception comprend également une plaque en acier qui représente le châssis simplifié du véhicule électrique. Les bobines primaire et secondaire sont identiques et séparées d'une distance (*d*). Elles présentent un décalage (*sh*) entre leurs axes qui dépend de la position du VE. Le problème est résolu dans le domaine fréquentiel en utilisant le potentiel vecteur magnétique dans le cadre d'une formulation magnétodynamique (1):

$$\nabla \times (\mu^{-1} \nabla \times \mathrm{A}) + \mathrm{i}\omega\sigma\mathrm{A} = \mathrm{J}_e \tag{1}$$

où A représente le potentiel vecteur, μ est la perméabilité, ω est la pulsation, σ est la conductivité électrique et J_e est la densité de courant. Les courants de Foucault dans les ferrites sont pris en compte et le châssis est considéré comme un conducteur électrique parfait.

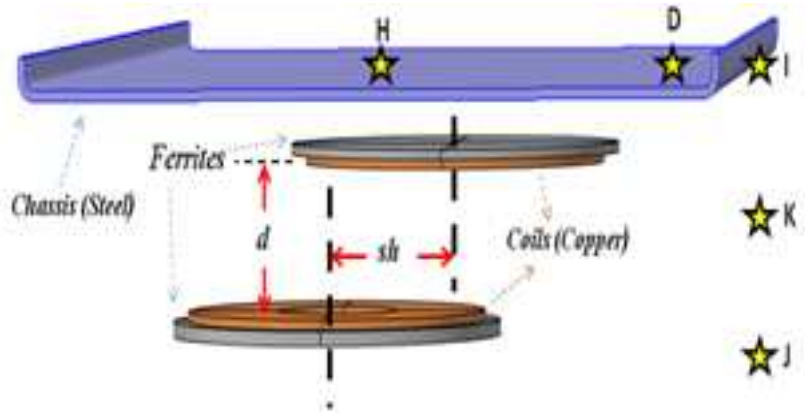

Fig. 2: Structure 3D du coupleur inductif avec blindage, châssis simple et points de mesure (étoiles) pour $|B|$

3. Résultats de Simulation et Discussion

Comme test de validation, un transfert de puissance de 2 kW pour charger une batterie de 300 V est effectué pour vérifier le niveau de $|B|$ en certains points du VE et de l'environnement proche (points I, J et K dans la Fig. 2.). Les paramètres de positionnement sont: d = 10 cm, sh = 0 avec une fréquence de commande de l'onduleur $f_s = 33kHz$. Les simulations et les résultats des essais sont présentés dans le Tableau 1 pour certains paramètres du système. Parmi les points de mesures choisi, la valeur maximale de $|B|$ est trouvée en K sur la Fig. 2. Pour les autres points, les niveaux d'induction sont inférieures à la valeur maximale autorisée pour l'exposition humaine (6,25 µT) [4].

Tableau 1. Valeurs des paramètres du système

Paramètre	Mesuré	Simulé
U_0	300 V	300 V
P_0	1812 W	2031 W
Point K	4.84 µT	5.01 µT

Le Tableau 1 montre la cohérence entre les résultats des simulations et les mesures. Donc le modèle développé est validé et sera utilisé pour d'autres tests prochainement.

4. Remerciement

Les auteurs remercient tous les partenaires qui ont soutenu ce travail dans le cadre du projet de CINELI (Charge Inductive Electrique Interopérable). Entreprises: Renault, Schneider Electrique et Newtech Concept. Le projet est labellisé Movéo, et les organismes de financement sont: Oséo (Fond Unique Interministériel) et Ile-de-France.

5. Références

[1] M. Ibrahim, L. Pichon, L. Bernard and A. Razek, "A 3D Electromagnetic Analysis and Circuit Modeling for Wireless Charging of Electrical Vehicles", International Conference on Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG), Budapest, Hungary, 2013.

[2] M. Budhia, G.A. Covic, J.T. Boys, "Design and optimization of circular magnetic structures for lumped inductive power transfer systems," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 26, No. 11, pp 1115-1123, Nov. 2011.

[3] H. Wu, A. Gilchrist, Ky Sealy, D. Bronson, "A High Efficiency 5kW Inductive Charger for EVs using Dual Side Control," IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol. 8, No. 3, pp. 585 - 595, Aug. 2012.

[4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, [ICNIRP] "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields", Health Physics, Vol. 74, No. 4, Apr 1998.