

Metamodel-based methodology for fast prediction of human exposure to high power systems

Métamodélisation pour le calcul rapide d'exposition des personnes aux systèmes haute puissance

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay et de l'université Politecnico di Torino

n°575 : electrical, optical, bio : physics and engineering (EOBE)
Spécialité de doctorat : Génie électrique

Graduate School : Sciences de l'ingénierie et des systèmes. Référent : CentraleSupélec

Thèse préparée dans les unités de recherche **Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris , Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS**, sous la direction de **Lionel Pichon**, Directeur de Recherche CNRS, et **Department of Energy "G. Ferraris", Politecnico di Torino**, sous la direction de **Fabio Freschi**

Thèse soutenue à Paris-Saclay, le 27 mars 2023, par

Paul LAGOUANELLE

Composition du Jury

Membres du jury avec voix délibérative

Alain Reineix

Directeur de Recherche, XLIM

Président, Rapporteur & Examineur

Giambattista Grusso

Professor, Politecnico di Milano

Rapporteur

Eric Labouré

Professeur des Universités, GeePs

Examineur

Luca Giaccone

Professor, Politecnico di Torino

Examineur

Titre : Métamodélisation pour le calcul rapide d'exposition des personnes aux systèmes haute puissance

Mots clés : Analyse de sensibilité, transfert de puissance inductif, exposition des personnes

Résumé : Les systèmes de transfert de puissance inductifs (WPT) représentent un atout majeur dans la course au développement des véhicules électriques. Un tel système en fonctionnement génère des niveaux de champs magnétiques importants susceptibles d'être dangereux pour les humains à proximité. Ainsi, lors du dimensionnement de nouveaux systèmes WPT, l'exposition des personnes doit être quantifiée en adéquation avec les standards et normes existantes.

Les travaux présentés ici démontrent l'utilisation de méthodes stochastiques non-intrusives pour construire des prédicteurs de modèles numériques complexes (à coûts de calcul élevés). Le prédicteur est un métamodèle, une simple fonction analytique à bas coût de calcul qui peut être utilisé à la place du modèle réel pour calculer des analyses de sensibilités ou optimiser le système.

Partant d'observations sur des métamodèles simples de systèmes WPT, un algorithme d'apprentissage itératif a été développé afin de construire un estimateur précis de la sortie d'un modèle complexe de WPT à bas coût de calcul. L'utilisation de cet algorithme a été validé sur divers cas: estimation d'inductance mutuelle pour système WPT dynamique, dimensionnement de ferrites par optimisation...

Enfin, en couplant cet algorithme à des modèles 3D de corps humain, une méthodologie a été développée pour une analyse dosimétrique à bas coût de l'exposition des personnes à un système WPT (modélisation et expérience). Cette méthodologie a été étendue avec succès à un système générant des impulsions magnétiques, un pistolet de soudure moyenne fréquence, un système industriel plus complexe à étudier.

Title : Metamodel-based methodology for fast prediction of human exposure to high power systems

Keywords : Sensitivity analysis, inductive power transfer, human exposure

Abstract : Wireless power transfer systems (WPT) are a key factor in the development of electric mobility. Such high power systems create a high level of magnetic field in the vicinity area, which can be dangerous for operators or bystanders. Thus, when designing new WPT systems, the human exposure needs to be properly assessed in order to be compliant with the current standards and guidelines.

The work presented here used non-intrusive stochastic tools to build a consistent predictor of complex computational models. The resulting predictor is a metamodel which is simply an analytical function that can be used afterwards to perform fast computation on the outputs of the real model such as Sobol'-based sensitivity analysis or optimization.

Based on initial observations on basic metamodels for both simplified and realistic WPT systems, an active learning metamodeling algorithm has been developed to build consistent predictor and perform accurate sensitivity analysis at a low computation cost. The algorithm has been validated for various cases: dynamic WPT system, ferrite...

Finally, a dosimetric methodology for assessing the safety of WPT systems at a low computation cost, using the adaptive algorithm coupled with a voxelized 3D human model, has been developed (simulated and real WPT system). The methodology has been applied to a system needier of human exposure assessment: mid-frequency Direct Current welding guns, treating the case of exposure to a pulsed magnetic field.