

Co-simulation pour la Modélisation CEM des Systèmes Électriques Complexes

Résumé : Ces travaux de thèse ont été consacrés à la mise en place d’une méthode de simulation collaborative (ou co-simulation) permettant l’évaluation des phénomènes de compatibilité électromagnétique des systèmes électriques complexes à travers la simulation “indépendante” de l’ensemble des sous-systèmes qui composent le système global sans avoir à échanger puis à rassembler les modèles dans un même nœud de calcul (ou outil de simulation).

Pour atteindre nos objectifs, une méthode de découpage basée sur une source équivalente de Norton et un algorithme de co-simulation itératif ont été proposés et testés sur différentes applications modélisées par des circuits électriques (linéaires et non-linéaires). Les premiers résultats sur des exemples de circuits électroniques linéaires, ont démontré tout le potentiel qu’offrait la méthode développée en termes de sauvegarde de la propriété intellectuelle et de gain en temps de calcul par rapport à une simulation classique sans découpage. Ensuite, une étude de la méthode proposée pour l’évaluation des perturbations électromagnétiques conduites (le mode commun et le mode différentiel) des convertisseurs d’électroniques de puissance a été faite et validée par des mesures expérimentales sur des prototypes physiques.

Enfin, cette méthode a été étendue à l’étude du couplage entre les sous-parties d’un système multiphysique complexe (système de transfert de puissance par induction pour les véhicules électriques) qui est modélisé d’une part par des circuits électriques et d’autre part par un modèle 3D éléments finis. L’algorithme de co-simulation proposé a permis de considérer chaque modèle dans son solveur d’origine avec ses configurations appropriées et d’avoir des résultats de simulation en accord avec ceux d’une simulation classique ou des mesures expérimentales.

Mots clés : Co-simulation, Simulation Collaborative, Variable d’interface, Algorithme itératif, Compatibilité Électromagnétique (CEM), Perturbation Électromagnétique (PEM) Conduite, Transfert de Puissance par Induction, Couplage circuit-modèle 3D, Rayonnement électromagnétique.

Abstract : This thesis work was dedicated to the implementation of a collaborative simulation method (or co-simulation) allowing the evaluation of electromagnetic compatibility phenomena of complex electrical systems through the “independent” simulation of all the subsystems that compose the global system without having to exchange and put together the models in the same calculation node (or simulation tool).

To achieve our objectives, a partitioning method based on Norton’s equivalent source and an iterative co-simulation algorithm have been proposed and tested on different applications modeled by electrical circuits (linear and non-linear). The first results on examples of linear electronic circuits demonstrated the potential of the developed method in terms of intellectual property protection and the gain in computation time compared to a classical simulation without splitting. Then, a study of the proposed method for the evaluation of conducted electromagnetic disturbances (common mode and differential mode) of power electronic converters was performed and validated by experimental measurements.

Finally, this method has been extended to the study of the coupling between the sub-parts of a complex multiphysics system (induction power transfer system for electric vehicles) which is modeled by electrical circuits on the one hand and by a 3D finite element model on the other hand. The proposed co-simulation algorithm allowed to consider each model in its original solver with its appropriate configurations and to achieve simulation results in agreement with those of a classical simulation or experimental measurements.

Keywords : Co-simulation, Collaborative Simulation, Interface Variable, Iterative Algorithm, Electromagnetic Compatibility (EMC), Conducted Electromagnetic Disturbance, Inductive Power Transfer, Circuit-3D Model Coupling, Electromagnetic Radiation