

Rapport annuel 2005, 2 décembre 2005

Conception et intégration d'un logiciel FEM dans le simulateur numérique SIMSEN

Auteur et coauteurs	Gilles Rosselet / assistant doctorant EPFL-STI-LME
Institution mandatée	EPFL, Laboratoire de Machines Electriques, Prof. J.-J. Simond
Adresse	EPFL, station 11, 1015 Ecublens
Téléphone, e-mail, site Internet	021 / 693 4804 ; jean-jacques.simond@epfl.ch ; http://lme.epfl.ch
N° projet / n° contrat OFEN	101138 / 151 322
Durée prévue du projet (de - à)	1.3.2005 – 31.12.2007

RÉSUMÉ

Ce projet ambitionne un couplage de SIMSEN* avec un logiciel de calcul de champs à éléments finis conçu et optimisé pour la machine synchrone. Par rapport à la méthode actuelle basée sur un schéma équivalent il en résultera une prise en compte très améliorée de l'état de saturation de la machine.

Le couplage FEM – SIMSEN ouvre des perspectives extrêmement intéressantes en termes d'optimisation et de prédétermination plus précise des performances d'une machine synchrone en régimes permanent ou transitoire, sous alimentation réseau sinus (production d'énergie) ou convertisseur (entraînement industriel ou de traction). Il offrira des perspectives de simulation nouvelles en particulier en fonctionnement transitoire. Une meilleure connaissance de ces régimes est très intéressante pour les entraînements, car elle permettra une optimisation du dimensionnement et des économies d'énergie appréciables par un concept mieux adapté.

*SIMSEN: Numerical software package for the analysis of power systems and adjustable speed drives

<http://simsen.epfl.ch>

EPFL-STI-ISE, Laboratory for Electrical Machines

Buts du projet

Ce projet ambitionne un couplage de SIMSEN avec un logiciel de calcul de champs à éléments finis conçu et optimisé pour la machine synchrone. Par rapport à la méthode actuelle basée sur un schéma équivalent il en résultera une prise en compte très améliorée de l'état de saturation de la machine.

Le couplage FEM – SIMSEN ouvre des perspectives extrêmement intéressantes en termes d'optimisation et de prédétermination plus précise des performances d'une machine synchrone en régimes permanent ou transitoire, sous alimentation réseau sinus (production d'énergie) ou convertisseur (entraînement industriel ou de traction). Il offrira des perspectives de simulation nouvelles en particulier en fonctionnement transitoire. Une meilleure connaissance de ces régimes est très intéressante pour les entraînements, car elle permettra une optimisation du dimensionnement et des économies d'énergie appréciables par un concept mieux adapté.

Le programme de calcul par éléments finis nécessaire à ce projet doit comporter les caractéristiques suivantes:

- 1) Gestion des courants de Foucault
- 2) Gestion de la saturation magnétique
- 3) Gestion du mouvement du rotor
- 4) Doit être interfaçable avec SIMSEN

De nombreux logiciels commerciaux comportent les trois premiers points. En revanche l'accès à leur code source, nécessaire à leur liaison avec SIMSEN, est souvent impossible ou alors d'un prix prohibitif. Les logiciels libres offrent un accès sans limite à leur code source, mais leur licence est en règle générale incompatible avec celle de SIMSEN. De plus l'adaptation d'un logiciel libre à son fonctionnement sous SIMSEN limite le gain de temps de développement escompté par cette méthode. En conséquence il a été décidé de développer un programme nouveau, spécifiquement destiné à la simulation des machines synchrones ainsi qu'à son intégration dans SIMSEN.

Au surplus, et bien que le but de ce projet soit d'améliorer en priorité la simulation du comportement des machines synchrones, la méthode des éléments finis est suffisamment souple pour permettre la simulation d'autres types de machines électriques, machines asynchrones et transformateurs notamment.

Travaux effectués et résultats acquis

Le travail de cette année s'est focalisé sur la gestion des matériaux saturables et la liaison avec SIMSEN.

Pour le lien avec SIMSEN trois méthodes ont été envisagées : La première dite 'couplage fort' ne fait appel qu'à un seul programme qui résout simultanément les équations issues des circuits et des éléments finis. Cette méthode nécessiterait d'apporter d'importantes modifications à SIMSEN. Elle a, pour cette raison, été écartée.

Dans la deuxième méthode dite 'méthode des inductances', le dispositif à simuler est représenté au niveau circuit par des inductances dont la valeur est réactualisée à chaque pas de temps par un calcul éléments finis. Dans ce cas les modifications à apporter à SIMSEN sont minimes, en revanche la réactualisation des inductances exige deux fois autant de calculs éléments finis qu'il y a de conducteurs couplés. C'est la raison pour laquelle cette méthode a aussi été écartée.

La troisième méthode est dite 'méthode des tension induites'. Dans cette méthode, les conducteurs présents dans le domaine éléments finis sont représentés au niveau circuit par une source de tension représentant la tension induite. La valeur de cette tension est mise à jour à la fin de chaque pas temps sur la base du flux vu par ce conducteur au pas de temps actuel et au pas précédent. La mise à jour de tous les flux est faite durant la même résolution éléments finis. Une

seule résolution est donc nécessaire, quel que soit le nombre de conducteur présents. Enfin, cette méthode ne nécessite pas non plus d'apporter de grands changements à SIMSEN. Elle a donc été retenue pour la suite de l'étude.

La méthode des inductances a cependant été appliquée à la simulation d'un transformateur. Le couplage est fait avec un programme ad hoc dans le but de s'affranchir, dans cette première étape, des problèmes purement informatiques liés au couplage avec SIMSEN. Ce test a néanmoins permis de valider l'étape du couplage. De plus, des comparaisons des valeurs du champ d'induction calculé par ce biais et d'autres obtenues par un programme du commerce, Flux2D, ont permis de valider l'approche choisie pour la prise en compte de la saturation du fer.

Collaboration nationale

Ce projet est co-financé par trois partenaires. Il s'agit de :

- Alstom Power Switzerland (segment hydro-alternateurs), Birr
- Un groupe de 4 entreprises électriques (BKW, EEF, EOS, SEL)
- L'Office Fédéral de l'Energie

Collaboration internationale

-

Évaluation de l'année 2006 et perspectives pour 2007

Les buts prévus pour l'année 2006 étaient:

- La gestion des matériaux saturables.
- Le lien avec SIMSEN.
- La prise en compte des mouvements du rotor.

La prise en compte de la saturation fonctionne, mais elle nécessite de résoudre un système d'équations non- linéaires par une procédure itérative dont la convergence, quoique délicate, a été obtenue. La méthode de la liaison avec SIMSEN est maintenant arrêtée. Son implémentation a été réalisée dans le cas de test évoqué.

L'achèvement de l'implémentation de la 'méthode de la tension induite' nécessaire au lien avec SIMSEN ainsi que le prise en compte du mouvement du rotor sont les étapes qui restent à réaliser en 2007.

Références

Combined Analytical-Numerical Approach for the Modeling and Analysis of Threephase Transformers. Basile Kawkabani, *Member IEEE*, Gilles Rosselet, Jean-Jacques Simond, *Member IEEE*. In proceedings of IEEE IECON'06 conference, Paris (France) November 2006.