



Sujet de Thèse de Doctorat en co-tutelle (ETS Montréal – U Lille) Partenaires industriels IREQ et EDF R&D

Simulation rapide d’alternateur à pôles saillants par réduction de modèle

Contacts : Stéphane Clénet (Arts et Métiers–L2EP) stephane.clenet@ensam.eu
Antoine Tahan (ETS – Dépt de mécanique) antoine.tahan@etsmtl.ca
Jean-Pierre Ducreux (EDF R&D) jean-pierre.ducreux@edf.fr
Arezki Merkhouf (IREQ) merkhouf.arezki@ireq.ca

Contexte

Les alternateurs hydro-électriques interagissent de différentes façons avec le réseau électrique auquel ils sont connectés durant leurs modes de fonctionnement normal suivant la technologie sur laquelle s’appuie leur fabrication. En effet, ce type d’alternateur se caractérise par des pôles saillants de géométrie variée, par un nombre d’encoches possiblement très élevé, des bobinages complexes, par la présence ou non d’amortisseurs, couplés ou non entre eux... Ainsi, IREQ et EDF disposent sur leurs parcs d’une grande variété de machines.

Il faut donc se doter d’outils génériques qui permettent de simuler de manière réaliste le comportement de ces machines couplées au réseau de manière à pouvoir prédire leur comportement vis-à-vis :

- du réseau en surveillant la qualité de l’énergie électrique distribuée, tout particulièrement les performances de la machine en régime établi ou dynamique;
- des grandeurs internes à la machine et en particulier les sources de pertes et d’échauffement.

Il s’agit donc d’être capable d’évaluer les grandeurs caractéristiques à différents points de fonctionnement statique ou dynamique (en charge, à vide ou en court-circuit, ou encore en cas de transitoires électriques). Ces modèles doivent permettre d’évaluer les effets de solutions palliatives comme les contournements de bobines sur les performances des grands alternateurs hydro-électriques; de tels contournements constituant une pratique courante dans l’industrie de la production hydro-électrique.

Il est possible actuellement de construire des modèles d’alternateurs hydro-électriques basés sur la méthode des éléments finis pour caractériser des points de fonctionnement comme ceux cités précédemment. Ces modèles sont fidèles au sens où ils sont représentatifs de phénomènes expérimentaux. Ainsi, ils peuvent être utilisés pour rechercher la réponse d’un alternateur

hydro-électrique à une sollicitation électrique. Néanmoins, ces modèles nécessitent la résolution d'un système d'équations différentielles souvent non linéaires avec un grand nombre d'inconnues qui peut atteindre le million lors d'une modélisation en 3D. Leur résolution conduit alors à des temps de calcul souvent très élevés ce qui constitue un frein à une exploitation intensive.

Depuis quelques années, des méthodes de réduction sont appliquées à des modèles de machines électriques basées sur la méthode des éléments finis permettant de réduire drastiquement le nombre d'inconnues et les temps de calcul. Ces méthodes consistent à construire une base, dite « réduite » car de petite dimension comparée à celle d'un modèle basé sur la méthode des éléments finis. On cherche alors une solution dans cette nouvelle base. Le nombre d'inconnues du problème peut alors être divisé par un facteur 1000 conduisant à une réduction drastique des temps de calcul tout en conservant la possibilité de reconstruire la distribution du champ dans la machine et donc d'accéder à n'importe quelle grandeur qu'elle soit locale (champ magnétique, force, pertes...) ou globale (flux, couple,...)

Le point clé pour que le modèle réduit soit fidèle reste la détermination de la base réduite. Or, la diversité des technologies et les diverses configurations (magnétodynamique, géométrie complète, non linéarité des matériaux) qu'elles induisent, complexifient le calcul de la base réduite qui doit être capable de représenter les multitudes de configurations possibles de l'alternateur hydro-électrique. Il n'existe pas actuellement de méthodologies systématiques (ou alors très coûteuse en temps de calcul) permettant la détermination de cette base réduite pour un problème donné.

Objectif de la thèse

L'objectif de la thèse est donc de mettre au point une méthodologie permettant de développer des modèles rapides, voire temps réel, de machines électriques tournantes en régime de fonctionnement normal et en particulier des alternateurs hydro-électriques. Ces modèles rapides seront construits à partir de modèles basés sur la méthode des éléments finis en utilisant des méthodes de réduction. Ils seront appliqués pour simuler la machine en fonctionnement normal sous différents régimes mais aussi en prenant en compte les contournements de bobines.

Déroulement du travail

Dans le cadre du travail de thèse, un état de l'art sera effectué sur les principales technologies des alternateurs hydro-électriques et les équations gouvernant leurs fonctionnements. Ensuite, des modèles basés sur la méthode des éléments finis seront construits et analysés pour les technologies les plus représentatives de manière à en déduire les propriétés dérivées des modèles éléments finis à résoudre. Sur la base de ces propriétés, les méthodes de réduction les plus appropriées seront testées et comparées de manière à en déduire la plus performante pour l'application visée. Les modèles développés seront alors couplés avec des modèles de réseau d'énergie électrique de type EMTP en vue d'étudier l'impact des variations de point de fonctionnement sur le réseau ainsi que sur la machine elle-même. Enfin, une implantation sur un simulateur temps réel de type OPAL-RT sera envisagée.

Profil souhaité

- Élève ingénieur ou étudiant en Master recherche (Bac+5).

- Formation : Calcul scientifique, Génie Electrique ou Ingénieur généraliste avec des bases solides en calcul scientifique
- Connaissances : Analyse Numérique, Programmation scientifique, Simulation numérique, Analyse de phénomènes électromagnétiques