

Résumé de la HDR de Mourad AIT-AHMED

Modélisation dynamique, Identification et Commande robuste des ensembles Génératrices Synchrones – Convertisseurs AC-DC : Réseau Embarqué ou iloté – Energie Marine Renouvelable

Mes recherches ont porté sur la maîtrise des chaînes de conversion d'énergie dans les réseaux embarqués ou ilotés ainsi que dans le contexte de l'exploitation des énergies marines renouvelables. Cette maîtrise passe par la modélisation fine et la commande d'une partie ou de la totalité de ces systèmes. Notre démarche consiste à élaborer des approches méthodologiques de modélisation dynamique et de commande de ces chaînes de conversion d'énergie complexes. La première étape consiste à développer des modèles fins en vue de l'obtention d'un banc de simulation logiciel des dits systèmes. Quant à la seconde étape, elle consiste à simplifier les modèles pour obtenir des modèles en vue de la commande. Une fois ces derniers obtenus, la dernière étape consiste à synthétiser des régulateurs robustes pour le contrôle de l'ensemble du système. Nos contributions ont porté sur trois volets :

- ***Méthodologie de modélisation des réseaux électriques embarqués***

Cette thématique a pour but de proposer des méthodologies de modélisation des réseaux électriques de puissance de court-circuit finie (réseau iloté ou embarqué, type navire tout électrique) tout en tenant compte du changement de la topologie du réseau. L'approche proposée permet d'obtenir un modèle fin et précis en vue de la construction d'un banc d'essai logiciel du réseau, avec le souci d'optimiser les temps de simulation. La contribution principale, de type méthodologique, a été de développer les modèles de tous les alternateurs ainsi que les charges dans un même repère de Park, ce qui permet de pouvoir simuler et d'étudier la désynchronisation des alternateurs. En ce qui concerne plus particulièrement les alternateurs à rotor bobiné, dans le cas où l'accès aux essais classiques d'identification est difficile, nous avons proposé des modèles où le rotor est représenté par une boîte noire. Le modèle de l'alternateur peut être représenté sous forme soit d'une fonction de transfert soit d'un modèle d'état. L'ordre du modèle est fixé par l'opérateur en fonction de la finesse de la concordance entre le modèle et les résultats pratiques. En effet, si l'ordre augmente le modèle représente plus fidèlement l'alternateur, par contre le nombre de paramètres à identifier est plus important et surtout les temps de simulation sont plus importants. Il est nécessaire de faire un compromis entre la finesse de la représentation et le temps de simulation.

Pour faciliter la synthèse des régulateurs, une seconde approche de modélisation est nécessaire. C'est ce que nous appelons la modélisation en vue de la commande. Ces modèles doivent être d'ordre réduit. Nous avons proposé des méthodes de simplification des modèles en utilisant entre autres la technique des « perturbations singulières ».

- ***Identification des paramètres de machines électriques***

L'utilisation des modèles dynamiques, développés ci-avant, nécessite la connaissance des différents paramètres qui y apparaissent. Les paramètres qui posent le plus de problème sont ceux associés aux amortisseurs, d'où l'idée de développer une modélisation par boîte noire pour modéliser le comportement dynamique du rotor. Quant à la machine asynchrone à cage le challenge est d'identifier les paramètres en faisant le moins d'essais possibles et avec la meilleure précision possible.

Nos contributions dans cette partie ont porté aussi bien sur l'identification des paramètres des machines synchrones que sur ceux des machines asynchrones. Nous avons développé une méthode d'identification des paramètres d'une machine synchrone à rotor bobiné basée sur la combinaison des tests SSFR (StandStill Frequency Response) et la méthode d'optimisation par essaim de particules. Quant aux paramètres du modèle de la machine asynchrone nous avons adapté l'algorithme génétique en l'appliquant aux mesures issues d'un unique essai. Nous avons proposé quatre algorithmes génétiques originaux qui se différencient l'un de l'autre par la technique de choix de la pression de sélection.

La maîtrise de ce type de réseau nécessite le développement d'algorithmes de commande robuste plus ou moins élaborés en fonction de la constitution du réseau. Les correcteurs du type PID classique ne tiennent pas compte de la variabilité de la charge au cours du temps. Nous avons fait appel à des commandes de type RST avec placement de pôles robustes ainsi qu'à une commande optimale à paramètres variants. La synthèse de ces correcteurs se base sur les modèles simplifiés (modèles de commande). Une fois les correcteurs synthétisés, ils sont appliqués aux modèles complets, modèles en vue de la simulation qui sont la base des bancs d'essais logiciels.

Dans le cas d'un réseau embarqué utilisant des générateurs à rotor bobiné reliés à des charges de type RL, nous avons montré que l'utilisation des régulateurs linéaires de type PI est largement suffisante. Par contre, si la charge n'est plus de type RL, mais de type RLC ou non linéaire un régulateur PI s'avère insuffisant. Nous avons proposé un régulateur optimal de type anticipatif pour pouvoir contrôler le niveau de tension lors d'un changement de charge.

- ***Conversion électrique des énergies marines renouvelables : Modélisation et commande d'un ensemble convertisseur-alternateur pentaphasé tolérant aux défauts***

Depuis 2010 nous nous intéressons à la modélisation et la commande des ensembles convertisseurs-alternateurs tolérants aux défauts pour une application hydrolienne. Nous avons porté notre choix sur l'utilisation des alternateurs polyphasés associés à des redresseurs actifs de type MLI ou VIENNA ou des redresseurs à diodes suivis de convertisseurs boosts entrelacés. L'augmentation du nombre de phases permet la segmentation de puissance et offre une meilleure qualité du couple et garantit une redondance de la structure, nécessaire pour la sûreté de fonctionnement et la continuité de l'énergie en mode dégradé. L'étude de la chaîne de conversion d'énergie nécessite d'établir des modèles dynamiques en vue de la simulation ou de la commande. Pour ce faire une analyse vectorielle basée sur la théorie de Fortescue a permis de développer différents modèles de la machine pentaphasé à FEM non sinusoïdale et ainsi construire le modèle global de la chaîne. Après l'obtention d'un modèle dynamique de l'ensemble, l'optimisation du transfert d'énergie, et ce malgré l'aspect aléatoire de la source d'énergie primaire, a nécessité l'élaboration de stratégies de commande optimale. Le caractère fortement non-linéaire du système étudié et les profils spécifiques des consignes imposés par la stratégie de commande nous ont incité à synthétiser des régulateurs robustes et à hautes performances dynamiques, tels que : le régulateur fractionnaire type linéaire PI^α et le modulateur - régulateur auto-oscillant analogique type non-linéaire (MRC). Nous avons développé des stratégies de commande pour assurer le fonctionnement en mode défauts de l'ensemble de la chaîne.