



Offre de sujet de thèse

Paris, 12 janvier 2022

Réseaux interconnectés par une machine multiport

1) Mots-clefs

Machines multi-triphasé, Machine électrique fractionnée, machine synchrone, machine asynchrone, Outil de calcul éléments finis, Electronique de puissance, Onduleur de tension, Contrôle, Gestion de puissance et d'énergie, Dimensionnement, Banc expérimental, Expérimentations, Analyse des résultats expérimentaux.

2) Contexte et cadre de l'étude

La part de l'électricité dans le mix énergétique final ne cesse de croître tant dans les applications embarquées que les réseaux terrestres. En France, la consommation électrique couvre environ 25% des besoins finaux d'énergie et est appelée selon le RTE à atteindre 55% du mix énergétique français. Son développement s'appuie sur la récente amélioration des composants d'électronique de puissance permettant la conception de convertisseurs de puissance performants, mais aussi sur les progrès des moyens de stockage indirect (batteries lithium, super condensateurs, pile à combustible).

Dans un esprit de sobriété de conception, il peut être intéressant de chercher à mutualiser les organes d'un réseau électrique en limitant le nombre d'éléments technologiques sans pour autant limiter les fonctions du système. Dans ce contexte, il serait possible d'utiliser l'association de l'onduleur et des bobinages de la machine pour des fonctions d'interconnexion de réseau, en plus de leur fonction principale de génération d'un couple électromagnétique. Les leviers pour parvenir à cet objectif sont nombreux [1-3].

Une de ces voies consiste à fractionner l'alimentation de la machine, faisant apparaître des degrés de liberté permettant d'assurer les multiples fonctions d'interconnexion recherchées. Cette idée originale, nommée CTAF, Chaîne de Traction à Alimentation Fractionnée [4-6], a été conçue et brevetée par deux chercheurs du GeePs (Eric Labouré) et du SATIE (Emmanuel Hoang). Depuis bientôt 5 ans, ce travail fédère plus d'une dizaine de permanents des deux laboratoires. Sous leur houlette, Antoine Cizeron, doctorant GeePs/SATIE, a contribué à faire avancer la réflexion sur le plan conceptuel et à l'asseoir par des preuves de concept convaincantes. Aussi, ce concept apparaît-il toujours plus prometteur et il convient de se focaliser sur des aspects porteurs qui n'ont pas encore été profondément investigués.

3) Objectifs et organisation des travaux de thèse

Le fractionnement peut se réaliser selon différents principes. Il s'agira de quantifier les avantages et inconvénients que chacun d'entre eux offre et de proposer une méthode permettant de tirer le meilleur parti des éléments actifs et passifs du système pour réaliser un nœud énergétique multiport entièrement pilotable.

Différents verrous à lever durant la thèse ont été identifiés :

- Caractériser les degrés de liberté de contrôle pour atteindre l'objectif global de nœud énergétique selon les différentes méthodes de segmentation de la machine.
- Caractériser les phénomènes électromagnétiques au sein de la machine segmentée pour quantifier les plages d'utilisation de ces degrés de liberté.
- Définir l'architecture la plus adaptée (type de machine, type d'onduleur, type de fractionnement).
- Explorer les différentes possibilités de gestion de puissance afin de déterminer les gestions d'énergie et de puissance les plus pertinentes vis-à-vis de critères de performance.

Les travaux s'organiseront autour de 2 axes d'avancement.

- Axe n°1 : Evaluation des degrés de liberté et de l'impact de leur utilisation selon les concepts de fragmentation.

Ce premier aspect de l'étude débute par l'analyse des brevets et articles existants sur les machines fractionnées, permettant de dresser la liste des solutions existantes tant du point de vue matériel que des degrés de liberté et des stratégies de commande. Parallèlement, une analyse des enjeux de la superposition d'un nœud multiport à la chaîne de conversion électromécanique permettra d'établir les contraintes de fonctionnement à respecter.

Une étude magnétique par éléments finis permettra de positionner l'impact magnétique de la superposition des fonctions et cela selon l'architecture de machine envisagée, comme selon la technique de contrôle adoptée. Un modèle analytique sera construit pour être intégré dans un logiciel de simulation temporel pour évaluer l'ensemble des grandeurs électriques macroscopiques. Enfin, dès ce stade, il serait intéressant d'établir des preuves de concept expérimentales en concevant des structures de commande des convertisseurs adaptées aux stratégies de pilotage retenues.

- Axe n°2 : Conception de la machine multiport la plus appropriée pour aboutir à un nœud énergétique fonctionnel et versatile.

Ce second aspect traite de la conception d'une architecture complète machine segmentée et électronique de puissance adaptée pour assurer le nœud multi-port. Il s'agit donc d'utiliser au mieux les principes défrichés dans la première partie de l'étude pour tirer des règles de conception de la machine et de son mode de fractionnement. Cette étude sera donc systémique et envisagera la nature et le degré de fractionnement de la machine multi-port, les possibilités d'utilisation des sources et les modes de transfert de puissance et d'énergie en fonction des consignes et des contraintes internes au système.

Ces principes seront éprouvés sur un cahier des charges représentatif d'un des cas d'usage identifié. Cette étude sera confrontée aux impératifs technologiques en particulier de l'électronique de puissance pour définir la réalisation des convertisseurs statiques la plus appropriée. Dans le cadre d'un partenariat industriel fort ou d'une aide à la création d'entreprise, ce second volet se conclut par la validation expérimentale de la solution proposée pour répondre au cahier des charges spécifique.

Cette activité de recherche doit déboucher sur des publications scientifiques ainsi que sur une activité inventive valorisable (brevets, projet de valorisation industrielle).

4) Candidature

- Profil du candidat :

Le candidat recherché aura une formation ingénieur ou master dans le domaine de l'EEA. Des compétences sont attendues en Actionneurs Électromécaniques, en Électronique de Puissance et en Expérimentation (mise en place d'expériences et capacité d'analyse des résultats).

- Acte de candidature :

CV détaillé avec lettre de motivation et relevés de notes (de bac+3 à bac+5)

- Contacts :

Olivier Béthoux olivier.bethoux@centralesupelec.fr
Javier Ojeda javier.ojeda@satie.ens-cachan.fr
Adrien Voltaire adrien.voldoire@centralesupelec.fr

- Laboratoires d'accueil, situés sur le plateau du Moulon à Gif-sur-Yvette :

- Le laboratoire GeePs (Laboratoire de Génie Électrique et Électronique de Paris)
- Le laboratoire SATIE (Système et Application des Technologies de l'Information et de l'Énergie)

- Financement :

- Bourse ministérielle soit à l'école doctorale EOBE, soit à l'école doctorale SMAER.
- Candidat normalien : mise en place d'un dossier de bourse CDSN.

5) Références bibliographiques

- [1] L. De Sousa, B. Silvestre and B. Bouchez, (2010), "A Combined Multiphase Electric Drive and Fast Battery Charger for Electric Vehicles Topology and Electric Propulsion Efficiency Analysis", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2010), pp. 1 à 6.
- [2] Q. Zhang, H. J. Raherimihaja, G. Xu and X. Zhang, "Design and Performance Analysis of Segmented Three-Phase IPMSM for EVs Integrated Battery Charger", in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 10, pp. 9114-9124, Oct. 2021, doi: 10.1109/TIE.2020.3021642..
- [3] I. Subotic, O. Dordevic, J. B. Gomm and E. Levi, "Active and Reactive Power Sharing Between Three-Phase Winding Sets of a Multiphase Induction Machine", in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 34, no. 3, pp. 1401-1410, Sept. 2019, doi: 10.1109/TEC.2019.2898545
- [4] E. Hoang, E. Labouré, US20190363599 Patent, "electrical machine supplied at low voltage and associated multicellular powertrain"
- [5] Hamid Ben Ahmed, Olivier Bethoux, Antoine Cizeron, Emmanuel Hoang, Anthony Juton, et al., "Electric Traction Chain with Segmented Power Supply", 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe), Sep 2021, Ghent (Online), Belgium
- [6] Hamid Ben Ahmed, Olivier Bethoux, Antoine Cizeron, Emmanuel Hoang, Anthony Juton, et al.. Les enjeux du concept CTAF : Chaîne de Traction à Alimentation Fractionnée. Symposium de génie électrique. SGE 2021, Jul 2021, Nantes, France. Online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03307587>