

Commande non linéaire d'une chaîne de génération électrique embarquée pour turbofan hybride-électrique

Lieu : LAAS-CNRS (Toulouse) en collaboration avec Safran Tech

Durée : 6 mois

Niveau : Master 2 Recherche / École d'Ingénieur

Perspective : Possibilité de poursuite en thèse CIFRE au sein de Safran Tech

Contacts : Yassine ARIBA yariba@laas.fr; Luca Zaccarian lzaccari@laas.fr; Damian Sal Y Rosas dsalyrosas@laas.fr

Contexte

La réduction des émissions de CO₂ du transport aérien constitue un enjeu majeur pour les prochaines générations de propulsion aéronautique. Dans ce contexte, les architectures de turbofans partiellement électrifiées représentent une voie prometteuse pour améliorer les performances globales des systèmes propulsifs. L'une des approches étudiées consiste à intégrer une chaîne de génération électrique capable de prélever de la puissance mécanique sur les arbres du turbofan afin d'alimenter le réseau électrique de l'aéronef. Cette chaîne de conversion est composée principalement d'une machine synchrone à aimants permanents associée à un onduleur connecté à un bus continu haute tension (HVDC 800 V). La dynamique globale du système résulte d'interactions complexes entre plusieurs sous-systèmes :

- la chaîne mécanique reliant le générateur à la turbomachine, qui introduit des modes de torsion et de résonance ;
- les éléments électriques de puissance, les filtres et les câbles, qui génèrent des modes électriques potentiellement faiblement amortis ;
- les lois de commande chargées d'assurer la régulation du bus continu tout en garantissant les performances dynamiques requises.

Aujourd'hui, les stratégies de commande reposent principalement sur des approches linéaires. Bien qu'efficaces dans certaines conditions de fonctionnement, elles peuvent montrer leurs limites face aux fortes non-linéarités du système et à la coexistence des modes mécaniques et électriques.

Le LAAS-CNRS possède une expertise reconnue dans le domaine des méthodes avancées de commande non linéaire, offrant ainsi un cadre particulièrement adapté pour explorer de nouvelles architectures de contrôle destinées aux systèmes de conversion de puissance embarqués.

Objectifs du stage

L'objectif principal du stage est d'étudier l'apport de techniques de commande non linéaire pour la régulation de tension d'un bus HVDC alimenté par une chaîne de génération électrique embarquée.

Les travaux viseront à :

- développer un modèle représentatif du système complet intégrant les dynamiques mécaniques et électriques ;
- analyser les limites des stratégies de commande linéaires actuellement utilisées ;
- concevoir une loi de commande non linéaire adaptée aux contraintes du système ;
- étudier les propriétés de stabilité et de robustesse vis-à-vis des variations de fonctionnement ;
- comparer les performances obtenues avec celles de la commande linéaire de référence.

Plusieurs approches pourront être envisagées selon le profil du candidat et l'orientation scientifique retenue : commande par modes glissants, passivité, contrôle prédictif non linéaire, backstepping, Lyapunov, commande adaptative ou techniques hybrides.

Travaux proposés

1. Modélisation du système – Compréhension du fonctionnement de la chaîne de génération électrique. Construction d'un modèle multiphysique intégrant : la machine à aimants permanents ; l'onduleur ; le bus HVDC ; les filtres et câbles électriques ; la chaîne mécanique d'entraînement. Identification et analyse des principaux modes mécaniques et électriques.

2. Synthèse de lois de commande linéaires et nonlinéaires

- Sélection d'une stratégie de commande adaptée.
- Développement des lois de commande.
- Analyse théorique de la stabilité et de la robustesse.
- Définition des critères de performance.

3. Validation et comparaison – Mise en œuvre sous environnement de simulation (MATLAB/Simulink). Évaluation des performances dynamiques : régulation de tension ; rapidité de réponse ; robustesse aux perturbations ; amortissement des modes oscillatoires ; stabilité globale du système. Comparaison quantitative avec les approches linéaires existantes.

Compétences développées

- Modélisation multiphysique de systèmes électromécaniques.
 - Électronique de puissance et réseaux électriques embarqués HVDC.
 - Théorie avancée de l'automatique.
 - Commande non linéaire.
 - Analyse de stabilité.
 - Simulation de systèmes complexes pour applications aéronautiques.
-

Profil recherché

Étudiant(e) en dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2 avec une spécialisation en :

- Automatique / Contrôle des systèmes ;
- Génie électrique ;
- Électrotechnique ;
- Systèmes embarqués énergétiques.

Des connaissances dans plusieurs des domaines suivants seront appréciées :

- automatique linéaire et non linéaire ;
- théorie de la stabilité ;
- électronique de puissance ;
- machines électriques ;
- modélisation sous MATLAB/Simulink ou environnement équivalent.

Un intérêt pour la recherche appliquée et les systèmes aéronautiques constituera un atout majeur.

Environnement et perspectives

Le stage se déroulera au LAAS-CNRS, en étroite collaboration avec les équipes de Safran Tech, le centre de recherche et technologie du Groupe Safran.

Les résultats obtenus contribueront aux travaux de recherche sur les futures architectures de propulsion hybride-électrique. Selon les résultats du stage et les souhaits du candidat, une poursuite des travaux dans le cadre d'une thèse CIFRE Safran Tech / LAAS-CNRS pourra être envisagée.