

Etude et conception d'un filtre hybride en sortie des variateurs de vitesse sur les radars

1. Mots clefs

Compatibilité électromagnétique, filtrage passif, filtrage actif, variateur de vitesse triphasé, moteur synchrone.

2. Contexte et cadre de l'étude

Les variateurs de vitesse sont utilisés dans les radars commercialisés par Thales pour remplir de nombreuses fonctions (mise en rotation de l'antenne, élévation de l'antenne, refroidissement du radar, rembobinage de câbles, etc.).

Afin de réduire les coûts de conception et de réalisation, les systèmes militaires intègrent de plus en plus des équipements appelés COTS (Commercial Off The Shelf) répondant à des contraintes de compatibilité électromagnétiques civiles non adaptées à l'environnement EM militaire.

Dans le cas des variateurs de vitesse, les contraintes de compatibilité électromagnétiques sont spécifiées dans la norme NF EN IEC 61800-3 où des écarts allant jusqu'à 80 dB peuvent se présenter par rapport aux exigences électromagnétiques militaires définies dans la norme STANAG 4370 / AECTP 500.

Le spectre électromagnétique du bruit provenant d'un variateur peut s'étendre jusqu'à la fréquence de 100 MHz. La bande de fréquence à prendre en compte pour le filtrage va de 10 kHz à 100 MHz. Ce bruit étant propre à chaque variateur, il est impossible de définir une solution de filtrage uniquement passive commune à plusieurs variateurs. Cette spécificité du filtrage au choix du variateur impose un temps conséquent de la définition et de la validation du filtrage passif. La solution de filtrage passif seule se traduit par les contraintes suivantes : volume, poids, risque de dégradation du fonctionnement du variateur, saturation des inductances, etc.

Le dimensionnement d'un filtre pour la réduction des perturbations conduites nécessite la connaissance du bruit à filtrer. Il est alors important de mettre en place une approche de modélisation type boîte noire ou proche de la physique dédiée aux variateurs de vitesse. De plus, dans un esprit de mutualisation et de gain du temps de développement, la solution de filtrage actif représente une opportunité et une complémentarité au filtrage passif sur une large bande de fréquence. Cette solution devrait apporter un gain de place et de poids significatif.

3. Objectif et organisation des travaux de la thèse

L'objectif de la thèse est de proposer et valider une méthodologie de dimensionnement d'un filtre hybride entre la sortie du variateur et la machine tournante sans dégrader les performances fonctionnelles et la fiabilité de l'ensemble variateur-machine. L'efficacité du filtrage sera définie en fonction des exigences spécifiées par les normes militaires à satisfaire au niveau plateforme radar. Afin d'améliorer l'efficacité du filtrage, il est envisageable d'avoir un câble blindé (de type simple tresse) entre le variateur et la machine et dont la reprise aux deux extrémités doit être cohérente avec les équipements choisis (reprise dans le pire des cas par un presse étoupe).

La solution proposée doit être située entre le variateur et la machine tournante. La source d'énergie de cette fonction reste à définir mais doit rester compatible avec les tensions présentes dans nos radars. Un signal discret doit permettre d'informer le radar que la fonction est efficace ou non (les caractéristiques électriques de ce signal seront définies plus tard).

L'organisation des travaux pourra s'organiser de la façon suivante :

- Etude bibliographique sur les méthodes de modélisation des perturbations conduites générées par les variateurs de vitesse et les différentes approches de dimensionnement de filtres passifs et actifs.
- Une comparaison de l'état de l'art académique avec la solution proposée (celle-ci évoluant avec l'avancement de la thèse).
- Choix d'une méthodologie de modélisation du système adaptée au variateur
- Application de cette approche sur un démonstrateur laboratoire avec validation expérimentale.
- Mise en place d'une démarche de dimensionnement de filtre actif et/ou passif.
- Application de la méthodologie sur différents variateurs utilisés dans les applications Radars.
- Intégration de l'aspect dynamique du niveau de bruit en fonction des conditions climatiques vues par l'objet entraîné par la machine tournante (antenne, ventilateur, etc.)
- Proposer une démarche de dimensionnement d'un filtre CEM hybride applicable pour différents types de variateurs.
- Les solutions proposées doivent pouvoir (dans la mesure du possible) être compatibles d'un retrofit sur les radars existants. La thèse devra étudier les modalités électriques pour réaliser cette intégration.

Le niveau de maturité de la solution partira d'un niveau théorique pour arriver à une solution de type prototype de taille quasi réelle dans un environnement représentatif des applications Thales .

4. Déroulement de la thèse

Cette thèse Cifre se déroulera entre les laboratoires GeePs, SATIE et le groupe Thales LAS France. Le doctorant travaillera en alternance sur trois sites (GeePs, SATIE et THALES site de Limours) durant toute la période de la thèse. Ce travail se fera en collaboration avec l'Université de Twente (Pays-Bas) et THALES Nederland (Pays-Bas, Engelo). Des échanges, des séjours et des déplacements seront donc à prévoir.

5. Candidature

Le candidat possède une formation ingénieur ou master dans le domaine de l'EEA. Des compétences sont attendues dans le domaine de l'électronique de puissance et analogique, de l'utilisation des appareils de mesures (oscilloscope, analyseur de spectre, analyseur de réseau), de la CEM.

Les candidatures doivent être envoyées à l'équipe d'encadrement :

Directeur de thèse : Mohamed Bensetti, Professeur à CentraleSupélec – GeePs
mohamed.bensetti@geeps.centralesupelec.fr

Co-encadrants : Pierre-Etienne Lévy, Maître de conférences à ENS Paris-Saclay – SATIE
pierre-etienne.levy@ens-paris-saclay.fr

Adrien Voldoire, Maître de conférences à CentraleSupélec – GeePs
adrien.voldoire@geeps.centralesupelec.fr

Encadrants industriels : Pierre Bruot, Ingénieur Thales
pierre.bruot@thalesgroup.com

Romain Demaison, Ingénieur Thales
romain.demaison@thalesgroup.com

Le candidat sera amené à évoluer entre les trois sites d'accueil suivants :

Laboratoire SATIE, 4 avenue des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette

Laboratoire GeePs, 11 Rue Joliot Curie, 91192 Gif-sur-Yvette

Thales LAS France, Voie Pierre Gilles de Gennes, Hameau de Roussigny, 91470 Limours

6. Références bibliographiques

- [1] Balaji Narayanasamy and Fang Luo "A survey of Active EMI Filters for Conducted EMI Noise Reduction in Power Electronic Converters". IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.61, N°6, December 2019.
- [2] Anne Roc'h "Behavioural Models for Common Mode EMI Filters". Thesis.
- [3] GAHFIF Amina, " Contribution à l'étude et la réalisation d'un filtre CEM actif hybride destiné à un convertisseur DC-DC à base de transistors GaN", these université Paris-Saclay 2023
- [4] Marwan Ali. « Nouvelles architectures intégrées de filtre CEM hybride », Thèse de doctorat de l'École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2012.
- [5] [Jean-Christophe Crébier](#), [J.-P. Ferrieux](#), « PFC Full Bridge Rectifiers EMI Modeling and Analysis Common Mode Disturbance Reduction », IEEE [Transactions on Power Electronics](#) 19(2):378 – 387 – April 2004.
- [6] B. Zaidi, El, A. Videt, and N. Idir, "Optimization Method of CM Inductor Volume Taking into Account the Magnetic Core Saturation Issues," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 5, pp. 4279–4291, 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2861620.
- [7] Y. Sha, W. Chen, Z. Zhao, and F. Zhang, "Research of active EMI suppression strategy for high power density power supply," no. 1, pp. 611–614, 2018.