

# Optimisation de filtres CEM amont et aval pour un redresseur triphasé PFC

Arnaud BARASTON, Jean-Luc SCHANEN

arnaud.baraston@g2elab.grenoble-inp.fr, G2ELab, Université Grenoble Alpes, CS 90624, 38031 Grenoble CEDEX 1

**RESUME** – Dans le cadre de l'électrification croissante des avions, les efforts pour diminuer le poids des systèmes électriques sont nombreux. La masse des filtres CEM étant de plus de 30 % de celle d'un convertisseur, des dimensionnements optimaux sont recherchés. Or l'approche classique par mesure sans filtre / calcul du filtre nécessaire ne permet pas d'avoir une idée de la masse finale d'un filtre CEM. C'est pourquoi une méthode analytique par l'approche source de perturbation / chemin de propagation couplé à des modèles technologiques d'inductance a été mise en place pour dimensionner et estimer la masse des filtres CEM. A l'aide d'une routine d'optimisation, des designs optimaux peuvent ainsi être calculés. De plus, ces designs sont basés sur une meilleure description de la réalité.

**Mots-clés**— Aéronautique, CEM, Estimation de masse, Optimisation, Redresseur triphasé

## 1. INTRODUCTION

Dans l'optique de gagner de la masse, les avionneurs tendent à remplacer de plus en plus de systèmes hydrauliques et mécaniques par des équivalents électriques. Des études sont menées sur ces systèmes électriques pour en optimiser leur masse. Une des problématiques principales est la CEM conduite dont les filtres représentent plus de 30% de la masse d'un convertisseur [1]. Or les méthodes classiques ne permettent pas d'obtenir de dimensionnement optimal. C'est pourquoi nous proposons une approche par optimisation avec des modèles technologiques d'inductances qui permet d'être plus proche de la réalité et de trouver un design optimal vis-à-vis de la masse globale. L'approche classique et l'approche par optimisation sont explicitées et discutées dans le cas d'un redresseur triphasé PFC avec filtres CEM amont et aval.

## 2. DIMENSIONNEMENT CLASSIQUES DES FILTRES CEM D'UN REDRESSEUR TRIPHASÉ EN PFC

### 2.1. Rappel sur le redresseur PFC

Un redresseur triphasé en PFC (Power Factor Correction) est un système assurant la conversion d'une tension triphasée en tension continue avec un déphasage nul côté alternatif, grâce à des interrupteurs de puissance, des éléments de filtrage et une commande en boucle fermée. Dans le cadre de l'aéronautique, le niveau de ces perturbations est mesuré sur des RSIL (Réseau Stabilisateur d'Impédance de Ligne) aux extrémités du convertisseur et est contraint par la norme DO160, montrée en figure 1.

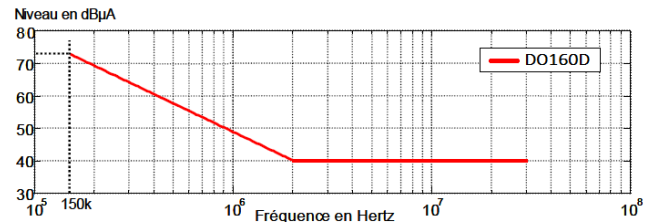


Fig.1 Limites du spectre des perturbations en courant de la norme DO160D

C'est pourquoi, on place des filtres passe-bas CEM aux extrémités du redresseur. Le circuit global est schématisé en figure 2.

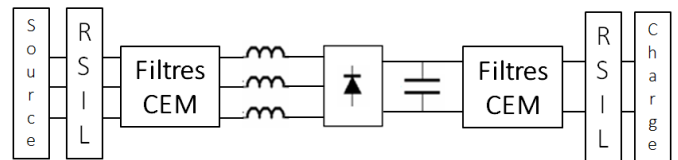


Fig.2 Schéma simplifié du redresseur avec les filtres CEM

### 2.2. Dimensionnement classique des filtres CEM

La méthode classique de dimensionnement suit les étapes suivantes [2] : mesure des courants RSIL sans filtre, calcul des atténuations nécessaires en mode commun (MC) et en mode différentiel (MD) en comparant à la norme, calcul des fréquences de coupures des filtres MC et MD, et enfin dimensionnement des filtres MD et MC.

Dans notre cas, cette démarche a été menée sur un modèle PSIM, du côté AC et du côté DC, à l'aide de simulations temporelles. Pour dimensionner les filtres à partir des fréquences de coupures, nous avons choisi les valeurs maximales des capacités  $C_y$  et  $C_x$ , définies par des critères de sécurité, étant donné que les inductances sont les éléments lourds à réduire.

### 2.3. Critique de la démarche

Cette méthode n'assure pas d'avoir une masse optimale du système et elle prend du temps car elle nécessite de longues simulations pour obtenir des spectres hautes fréquences, ce qui peut être incompatible avec des études nécessitant de nombreuses estimations (en optimisation par exemple).

L'approche par fréquence de coupure est possible en connaissant la fonction de transfert des filtres, ce qui devient

trop complexe si des éléments parasites sont ajoutés au circuit pour mieux représenter la réalité.

Enfin, des couplages en MC peuvent apparaître entre les côtés alternatif et continu [3] car les filtres modifient les impédances amont et aval, ce qui rend le dimensionnement séparé (AC/DC) faux dans certains cas.

C'est pourquoi une approche analytique a été mise en place pour le dimensionnement de filtres CEM qui prend en compte l'ensemble d'un circuit, donc les couplages et éléments parasites, et des modèles d'inductances pour évaluer automatiquement la masse des filtres. Elle est utilisable dans des routines d'optimisation.

### 3. DIMENSIONNEMENT DES FILTRES CEM PAR OPTIMISATION

#### 3.1. Explication de la méthode

L'approche repose sur la connaissance des spectres des courants et tensions au niveau des interrupteurs et de la propagation de ces perturbations jusqu'aux RSIL grâce à une mise en équation du système complet. Ainsi, on est capable d'évaluer les spectres sans simulation temporelle et en fonction des éléments du circuit et donc des filtres CEM. Avec ça, les inductances des filtres sont décrites à l'aide de grandeurs géométriques, du nombre de spires et du courant qui les traverse et leur modélisation donne leur valeur, le respect ou non de la saturation, leur inductance de fuite et enfin leur masse.

Nous obtenons alors une approche qui prend en entrée les paramètres des différentes inductances et évalue : les spectres aux RSIL, le respect des saturations et la masse des filtres (les capacités étant fixées aux valeurs maximales comme dans 2.2). L'approche est résumée en figure 3.

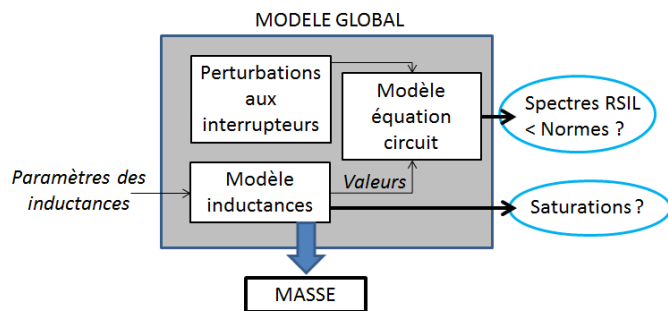


Fig.3 Schéma du modèle de l'approche

De là, il est facile d'utiliser une routine d'optimisation qui cherche à diminuer la masse globale tout en faisant en sorte que les inductances ne saturent pas et que la norme soit respectée.

#### 3.2. Implémentation de l'approche

Les spectres des perturbations aux interrupteurs sont obtenus analytiquement [4]. La mise en équation du système complet se fait automatiquement à l'aide d'un outil développé au G2Elab qui génère un modèle contenant les équations, à partir de la netlist d'un schéma circuit (réalisé dans PSIM ici).

Les modèles d'inductances sont basés sur des datasheet constructeur extrapolées de façon continue [5].

#### 3.3. Validation

Pour valider cette approche, nous allons comparer les spectres calculés par le modèle à partir de paramètres d'inductance, à une simulation temporelle obtenue avec les valeurs d'inductances calculées par le modèle.

Sur la figure 4, on peut voir le spectre du RSIL côté AC donné par les modèles analytiques en haut et le spectre obtenu par simulation temporelle (PSIM) en bas.

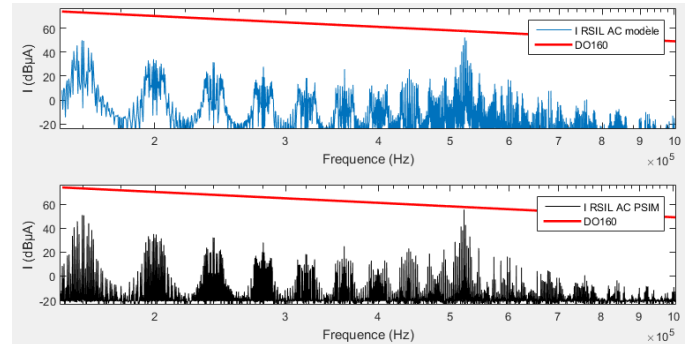


Fig.4 Spectre RSIL AC obtenu par le modèle (haut), simulation PSIM (bas)

Leur similitude permet de valider cette approche par sources de perturbation / chemins de propagation.

### 4. CONCLUSION

Une approche analytique d'estimation de spectres CEM a été développée avec des modèles technologiques d'inductances. Cette approche permet une estimation rapide de la masse et de l'impact des filtres CEM pour n'importe quelle configuration de convertisseur puisque la mise en équation se fait automatiquement à l'aide d'un outil, depuis la netlist d'un schéma circuit. De là, il est possible d'optimiser la masse de filtres CEM d'un système donné. La précision qu'on peut développer dans les modèles fait que cette approche est plus valide que l'approche classique par décomposition en MD et MC de dimensionnement des filtres CEM.

### 5. REFERENCES

- [1] B. Wen, «Weight Estimation of Electronic Power Conversion Systems», rapport de master, Virginia Tech University, USA, 2011.
- [2] M. Nave, «Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies», livre édité par Springer, 2010.
- [3] C. Jettanassen. «Modélisation par approche quadripolaire des courants de mode commun dans les associations convertisseurs-machines en aéronautique; optimisation du filtrage», Ecole Centrale de Lyon, 2008.
- [4] A. Groud. «Contribution à l'analyse des systèmes électrotechniques complexes : Méthodes et outils appliqués à l'étude des harmoniques », Grenoble INP, 1997.
- [5] B. Touré, « Modélisation Haute Fréquence des variateurs de vitesse pour Aéronefs : Contribution au Dimensionnement et à l'Optimisation de Filtres CEM ». Grenoble INP, 2012.