

Convertisseur multicellulaire "Tsoobooost" non réversible à grand rapport d'élévation

F. Forest*, T. Martiré*, J.-J. Huselstein*, D. Flumian**, T. Meynard**, Y. Abdelli*** et A.-M. Lienhardt***

* Institut d'Électronique et des Systèmes, UMR CNRS 5214, Montpellier

** Laboratoire Plasmas et Conversion d'Energie, UMR CNRS 5213, Toulouse

*** LIEBHERR Aerospace, 408 Avenue des Etats Unis Toulouse

RESUME – Le convertisseur présenté s'inscrit dans la logique de développement de l'avion plus électrique. Il a pour fonction de générer un bus 300V à partir du réseau de bord 28V. Le design des "systèmes avion" prévus pour une alimentation par ce réseau 28V est grandement facilité par cette élévation de tension intermédiaire. La puissance du convertisseur considéré est de 10kW, ce qui induit des courants très importants sur le côté "basse tension" et nécessite une architecture adaptée.

La solution proposée utilise une cellule de base "boost" dont on associe six exemplaires pour constituer une architecture multicellulaire dite "Tsoobooost". Elle réduit significativement le surdimensionnement inhérent à la cellule boost classique. L'interconnexion des cellules est réalisée à l'aide d'un coupleur monolithique à six phases pour minimiser la "masse magnétique". L'article rappellera les propriétés de cette architecture, présentera son design puis les résultats obtenus.

Mots-clés— Avion plus électrique, Convertisseur "Tsoobooost", convertisseur multicellulaire, coupleur magnétique.

1. INTRODUCTION

Le réseau de bord 28V présent dans la définition de nombreux aéronefs actuels ou futurs implique de mettre en place des fonctions de conversion à même d'opérer directement sous cette tension d'alimentation, ce qui est très contraignant en particulier pour les chaînes d'actionnement, ou d'introduire des étages intermédiaires éléveurs recréant un bus moyenne tension. Le convertisseur décrit dans cet article correspond à cette seconde option. Il doit générer un bus DC 300V à partir du 28V, pour une puissance maximale de 10kW. Les objectifs primordiaux de sa conception sont la minimisation de masse et la maximisation du rendement afin de limiter autant que possible son empreinte sur la chaîne de conversion complète. L'isolement galvanique n'étant pas requis pour cette fonction, l'étude ayant conduit à la réalisation du prototype qui sera décrit dans la suite s'est orientée sur le choix d'une structure de base très simple, à savoir une cellule boost. Les limitations intrinsèques de cette cellule à de tels rapports d'élévation (>10) ont été repoussées par l'emploi d'une architecture multicellulaire à coupleur magnétique. La présentation de cette architecture, du design et de la réalisation d'un prototype, enfin, des résultats expérimentaux obtenus constituera le cœur de cet article.

2. ARCHITECTURE RETENUE

2.1. Principe de la structure Tsoobooost

La classique cellule boost, si elle est très simple, est aussi connue pour ses médiocres performances à fort rapport d'élévation, du fait de la combinaison des contraintes électriques maximales d'entrée (courant) et de sortie (tension) sur les composants. Une première étape dans la définition du présent convertisseur a été de retenir une association de deux cellules boost, baptisé en interne "boost-miroir" ou "Tsoobooost" [1], dans un agencement représenté Figure 1.

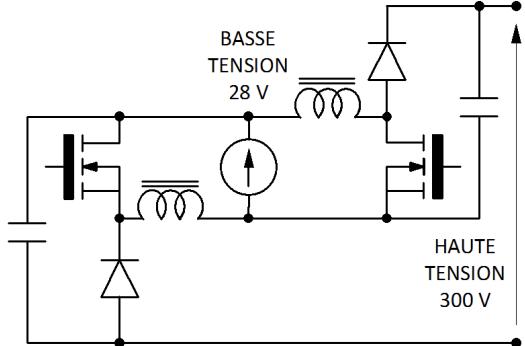


Figure 1 : Cellule boost miroir ou Tsoobooost

Pour simplifier, chacune des cellules est soumise à environ la demi-tension de sortie et au demi-courant d'entrée. Les caractéristiques de cette cellule Tsoobooost seront précisées plus en détail dans le papier final.

2.2. Forme multicellulaire avec coupleur magnétique

Malgré les améliorations apportées par l'usage de la cellule précédente, des limitations demeurent, telle la contrainte en courant sur chaque cellule boost (environ 200A crête), qui impose une parallélisation massive de MOSFETs, composants à priori les mieux adaptés à la situation (170V sur chaque cellule boost), ou la masse des inductances d'entrées. Une seconde évolution a donc consisté à introduire le principe maintenant très classique de "fragmentation" pour passer à une structure multicellulaire dont le schéma est donné Figure 2. Le nombre de cellules Tsoobooost parallélisées est de trois, nombre retenu dans la phase de conception et qui correspond au meilleur compromis de performances entre semi-conducteurs et coupleur.

L'introduction de ce dernier permet une réduction de masse sensible [2] par rapport à une solution classique à inductances séparées. Il s'agit d'un vrai coupleur à six phases, la commande des 6 cellules boost étant entrelacée, ce qui induit d'autres avantages [3] qui seront mis en avant dans l'article final.

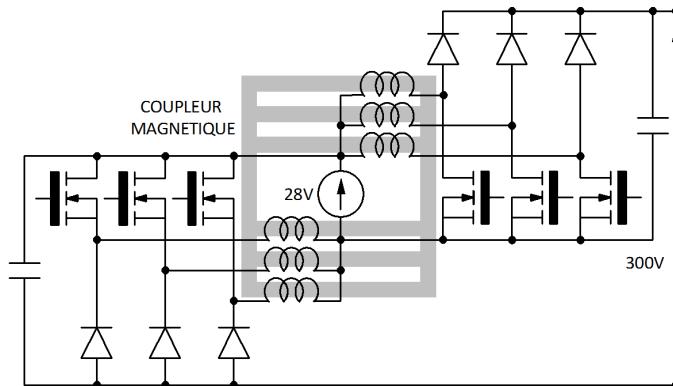


Figure 2 : Architecture Tsoobost multicellulaire

3. DESIGN ET IMPLANTATION DES ÉTAGES DE PUISSANCE

Le design des différents constituants du convertisseur, en particulier du coupleur magnétique sera présenté dans l'article final comme la projection d'implantation du prototype réalisée à partir d'un outil de CAO 3D (Figure 3). Ce prototype utilise un refroidissement à air compact qui permet d'obtenir une puissance massique intéressante pour ce type de refroidissement.

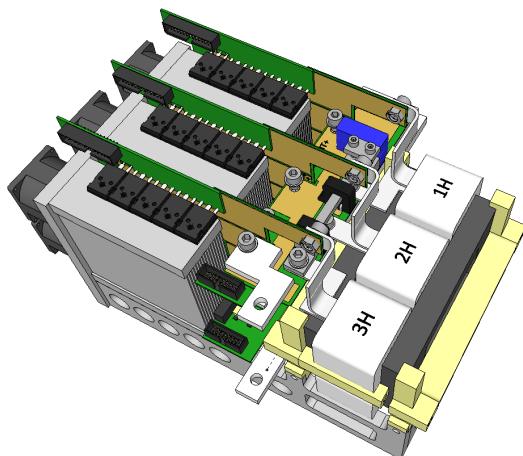


Figure 3 : CAO 3D du prototype

Cette implantation élaborée ne préfigure pas celle d'un véritable système embarqué sur avion, qui doit obéir à de nombreuses contraintes non-prises en compte ici, mais permettra d'intégrer ce prototype dans une chaîne complète de conversion qui sera bientôt mise en place afin d'effectuer des tests complets en vraie grandeur.

4. COMMANDE ET RÉGULATION

Une carte de commande dédiée a été réalisée pour ce convertisseur. Elle porte un cœur numérique à base de FPGA, les convertisseurs analogiques-numériques permettant d'acquérir les courants et tensions nécessaire au contrôle du convertisseur et les alimentations auxiliaires.

Trois niveaux de régulations sont implantés et imbriqués, une boucle d'équilibrage des six courants du coupleur, une boucle de régulation du courant d'entrée et une boucle de régulation de la tension de sortie (assurant également l'équilibrage des deux tensions flottantes). La définition des capteurs et les grandes lignes de la programmation de ces régulations seront présentées dans l'article final.

5. RÉSULTATS EXPERIMENTAUX

Un prototype complet a été réalisé selon la projection précédente (Figure 4). Il est complètement autonome, l'énergie auxiliaire étant prélevée sur le 28V, avec une organisation des alimentations auxiliaires et une programmation permettant la mise sous tension directe.

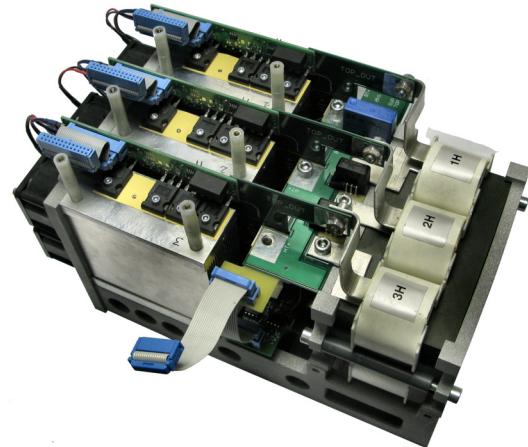


Figure 4 : Prototype réalisé

Testé pour l'instant sur charge résistive, il fournit 10kW sous 28V avec un rendement de l'ordre de 94%. Des résultats plus détaillés seront présentés dans l'article final.

6. CONCLUSIONS

Cet article présentera donc un exemple de transfert avancé de la technologie multiparallèle à coupleur magnétique, développée au sein des laboratoires et dont l'intérêt a été clairement démontré dans des applications très diverses, de quelques 100W jusqu'à près de 200kW. Ce dispositif original se situe au milieu de cette gamme. Son potentiel d'évolution est encore important et diverses solutions sont envisageables pour diminuer sa masse et accroître sensiblement son rendement.

7. REFERENCES

- [1] N. Videau, "Convertisseurs continu-continu non isolés à haut rapport de conversion pour Piles à Combustible et Electrolyseurs - Apport des composants GaN", Thèse de l'INP Toulouse, 2014.
- [2] F. Forest, T. A. Meynard, J.-J. Huselstein, D. Flumian, C. Rizet, A. Lacarnoy, "Design and Characterization of an Eight-Phase-137-kW Intercell Transformer Dedicated to Multicell DC-DC Stages in a Modular UPS, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 29, N° 1, pp. 45-55, January 2014.
- [3] E. Labouré, A. Cuniere, T. Meynard, F. Forest, E. Sarraute : A Theoretical Approach to InterCell Transformers, Application to Interleaved Converters, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, N°1, pp. 464-474, janvier 2008.
- [4]