



**HAL**  
open science

## Convertisseur multicellulaire parallèle couplé pour l'amplification audio en classe D

Ivan Laurin, Xavier-Marie Viel, Fabien Adam, Denis Labrousse

► **To cite this version:**

Ivan Laurin, Xavier-Marie Viel, Fabien Adam, Denis Labrousse. Convertisseur multicellulaire parallèle couplé pour l'amplification audio en classe D. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065219

**HAL Id: hal-01065219**

**<https://hal.science/hal-01065219>**

Submitted on 18 Sep 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Convertisseur multicellulaire parallèle couplé pour l'amplification audio en classe D

Ivan LAURIN<sup>1</sup>, Xavier-Marie VIEL<sup>1</sup>, Fabien ADAM<sup>1,2</sup>, Denis LABROUSSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département EEA, ENS-Cachan, 61 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan, France

<sup>2</sup>SATIE, ENS-Cachan, 61 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan, France

**RESUME** – Cet article traite d'une application originale d'un convertisseur multiniveaux parallèle : un amplificateur audio en classe D. Le but de ce papier est de montrer l'intérêt de cette structure pour l'application visée en terme d'intégrabilité, de qualité de la forme d'onde de sortie et d'impact CEM. La stratégie de commande mise en œuvre pour satisfaire au mieux ces critères sera détaillée et un démonstrateur permettra de valider son bon fonctionnement.

**MOTS-CLES** – Convertisseur multicellulaire parallèle - Commande quantifiée - Fidélité audio - CEM

## 1. Introduction

Le développement de dispositifs de sonorisation nomades (de type enceinte amplifiée de quelques dizaines de watts) ouvre la voie de la gestion optimale de l'énergie électrique embarquée dans le contexte de l'amplification audio. La particularité de cette application réside dans la recherche simultanée de l'efficacité de la cellule amplificatrice et de sa fidélité de restitution du son [1]. Le travail proposé a pour but de montrer l'intérêt potentiel d'une structure de conversion multicellulaire parallèle dans le cadre de l'amplification en classe D. Les nouveaux degrés de liberté inhérents à l'aspect multiniveaux de cette structure pourraient en effet permettre de satisfaire de manière élégante le compromis rendement / fidélité visé. Dans [2] l'utilisation d'un convertisseur multiniveaux de type série est proposée dans le cadre de cette application d'amplification en classe D. Cependant, l'obtention des sources de tension élémentaires permettant la construction de la forme d'onde multiniveaux de sortie, et l'impact d'un éventuel déséquilibre sur ces sources n'est pas présenté. De ce point de vu, la structure parallèle peut présenter certains intérêts. L'implantation numérique de la commande du convertisseur devrait permettre d'utiliser au mieux les degrés de liberté d'une part, et d'assurer un fonctionnement stable de la structure d'autre part. Finalement, les contraintes d'intégration de puissance et d'impact CEM, au cœur de la problématique de l'électronique embarquée, pourraient jouer en la faveur de cette nouvelle structure de conversion, ce que tentera de démontrer cet article.

## 2. Présentation de la structure de conversion

Le convertisseur support de cette étude a déjà fait l'objet de travaux dans le cadre de la conversion DC/DC et DC/AC [3]. Rappelons de façon générale qu'il est constitué d'une association parallèle (partage du bus continu) de  $q$  cellules de commutation, dont les commandes sont entrelacées, et qui sont interconnectées par un dispositif magnétique. Dans le cas particulier du convertisseur mis en œuvre pour ces travaux ce composant magnétique est composé de  $q$  Transformateurs InterCellule (ICT : InterCell Transformer) agencés selon un motif cascade-cyclique [4] (figure 1). La première contrainte propre à l'application amplification audio est la bande passante souhaitée des grandeurs de sortie du convertisseur, typiquement dans la gamme 20Hz à 20kHz. La seconde contrainte réside dans la nécessité de maintenir une qualité d'onde de sortie importante dans cette gamme de fréquence. La capacité de la structure de conversion proposée à satisfaire ces exigences sous contraintes de rendement, d'intégration et de faible impact CEM sera illustrée dans cet article. Une commande optimisée innovante sera proposée, qui, s'appuyant sur les qualités intrinsèques de la structure, tentera d'améliorer encore le comportement du convertisseur.

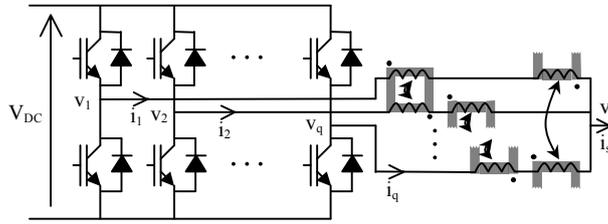


Figure 1 : Schéma de l'onduleur multicellulaire à ICT

### 3. Commande optimisée

#### 3.1 Commande quantifiée

L'étude fonctionnelle de la structure permet d'établir la relation entre l'ondulation de la tension de sortie de l'onduleur et les rapports cycliques de consigne des cellules de commutation (supposés tous identiques) dans le cas où l'ondulation de tension est entièrement déterminée par l'ondulation de courant et la capacité de filtrage en sortie du convertisseur. Cette relation décrite par l'équation (1) montre la dépendance de l'ondulation à l'inductance de fuite  $L_f$  (Inductance de fuite d'un ICT dans une structure cyclique cascade), la capacité de sortie  $C$ , la tension du bus continu  $V_{DC}$ , et la fréquence de découpage  $f$ .

$$\Delta v_s = \frac{V_{DC}}{4L_f C f^2} \frac{(1+E(q\alpha)-q\alpha)(q\alpha-E(q\alpha))^2}{q^2} \quad (1)$$

Avec  $E(x)$  la fonction partie entière.

En figure 2 est représentée l'ondulation normalisée de la tension de sortie définie par l'équation (2).

$$\Delta v_{sn} = \frac{4L_f C f^2}{V_{DC}} \Delta v_s \quad (2)$$

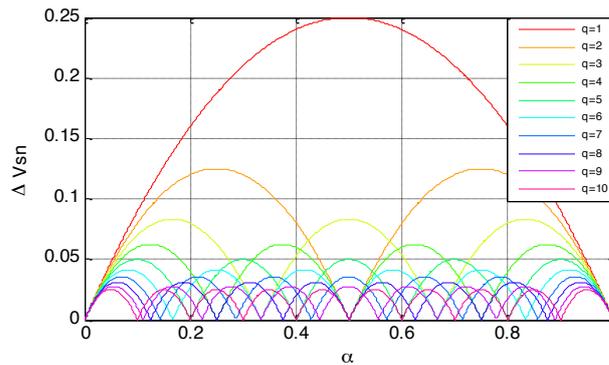


Figure 2 : Ondulation de la tension de sortie

On remarque sur cette caractéristique que pour des rapports cycliques multiples de  $\frac{1}{q}$  l'ondulation théorique est nulle (le caractère résistif parasite des enroulements couplés n'est pas pris en compte ici.). Or c'est cette ondulation qui régie l'encombrement « haute fréquence » du spectre. Cette remarque est à la base d'une nouvelle stratégie de commande de la structure qui vise à diminuer les perturbations HF générées : on se propose de piloter la tension de sortie en forçant le rapport cyclique à ces uniques valeurs particulières  $\frac{k}{q}$ . D'un point de vue conceptuel, cela revient à quantifier à  $\frac{1}{q}$  le signal de commande réel de rapport cyclique. La mise en œuvre de cette stratégie est aisée en considérant la relation entrée sortie non linéaire de quantification. Cette non linéarité implique d'ores et déjà des problèmes à venir de distorsion du signal de sortie par rapport à la consigne modulante (figure 3), problématique critique vis-à-vis de l'application audio visée. Une nouvelle commande permettant de satisfaire un compromis encombrement HF / distorsion sera proposée dans l'article final.

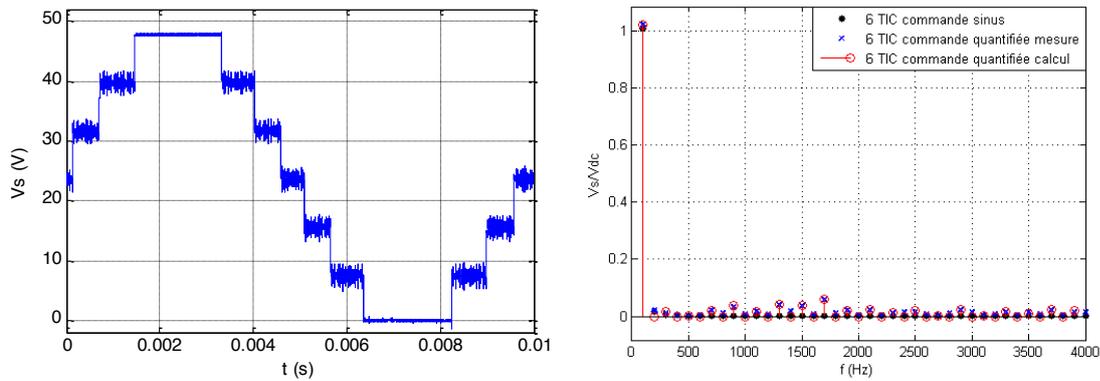


Figure 3 : Tension de sortie mesurée et spectre basse fréquence de cette tension de sortie normalisée

### 3.2 Résultats et mise en œuvre

Un démonstrateur qui sera détaillé dans l'article final permet de valider les concepts de commande proposés. A titre d'exemple, on peut vérifier sur le spectre de la Figure la nette diminution du contenu spectral dans la bande de fréquence 10kHz à 1MHz pour un convertisseur à 6 cellules commutant à 10kHz. Au-delà du MHz ce sont les phénomènes de commutation et les imperfections du coupleur magnétique qui imposent le contenu spectral, celui-ci reste donc inchangé. Parallèlement à cela la non linéarité introduite fait largement remonter le contenu spectral basse fréquence.

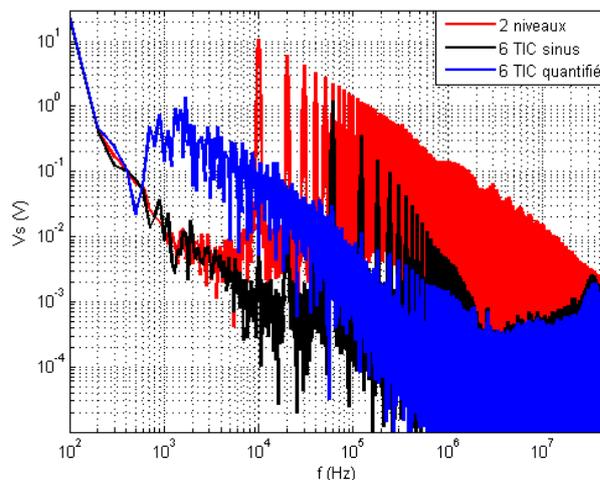


Figure 4 : Spectre de la tension de sortie mesuré

## 4. Conclusion

Dans le papier final, quelques problématiques liées à la mise en œuvre du dispositif seront présentées, comme la compensation de temps morts de commande, l'équilibrage de la structure, ...

## 5. Références

- [1] Marco BERKHOUT, Lûtsen DOOPER, « Class-D Audio Amplifiers in Mobile Applications », IEEE Transactions on Circuits and Systems, May 2010.
- [2] Zhang YING, Dong MING, Meng QUIN-DE, Cai LING, « The Topology Analysing Of A Cascade Multilevel Class-D Power Amplifier », International Conference on Control Engineering and Communication Technology 2012.
- [3] Fabien ADAM, Cyrille GAUTIER, Bertrand REVOL, Eric LABOURE, « Onduleur multicellulaire à ICT : équilibrage par la commande », EPF, 2012, Bordeaux (France).
- [4] I. G PARK, S. I KIM : "Modeling and analysis of multi-interphase transformers for connecting power converters in parallel". PESC'97