



**HAL**  
open science

**Optimisation d'une fonction de transmission d'ordres  
pour driver à très haute isolation galvanique.  
Application aux modules IGBT pour onduleurs  
multi-niveaux MMC (Multilevel Modular Converters).**

Sokchea Am, Pierre Lefranc, David Frey

► **To cite this version:**

Sokchea Am, Pierre Lefranc, David Frey. Optimisation d'une fonction de transmission d'ordres pour driver à très haute isolation galvanique. Application aux modules IGBT pour onduleurs multi-niveaux MMC (Multilevel Modular Converters).. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065371

**HAL Id: hal-01065371**

**<https://hal.science/hal-01065371>**

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.

# Driver à très haute isolation galvanique. Application aux modules IGBT pour onduleurs multi-niveaux MMC (Multilevel Modular Converters).

Sokchea AM, Pierre LEFRANC, David FREY

G2Elab, 11, rue des Mathématiques - BP 46, 38402 St Martin d'Hères Cedex

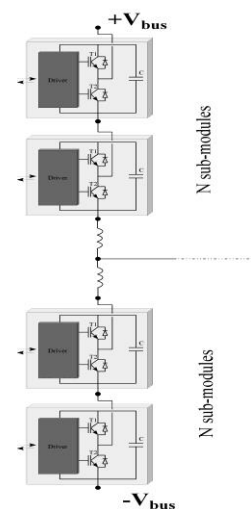
**RESUME** – L’objectif de cet article est de proposer une méthodologie de conception par optimisation d’une fonction de transmission d’ordres pour drivers d’IGBT pour application dans des onduleurs MMC avec une barrière d’isolation pouvant aller jusqu’à 40kV. La technologie est basée sur un transformateur magnétique planaire sur circuit imprimé avec un circuit électronique d’excitation et de réception. L’objectif du travail est l’optimisation des composants électroniques associés et des éléments géométriques de ce transformateur. La stratégie proposée est basée sur un algorithme génétique (bi-objectif) implémenté dans le logiciel Matlab. Les simulations magnétiques sont réalisées avec le logiciel FEMM puis les simulations électriques transitoires avec le logiciel LTSpice. Les résultats d’optimisation sont proposés sous forme de fronts de Pareto (niveau de tension secondaire & puissance moyenne consommée). Des résultats expérimentaux nous permettent de les comparer à ceux du prototype virtuel puis de montrer les voies d’amélioration des modèles et de la démarche.

**MOTS-CLES** – IGBT, Onduleur multi-niveaux MMC, PCB, isolation galvanique, transformateur d’impulsion, fronts de Pareto, algorithme génétique bi-objectif.

## 1. Introduction générale

Dans les applications industrielles, les onduleurs multi-niveaux apportent une flexibilité en terme de commande et de filtrage sur les charges pilotées (machines électriques, réseaux de transport et de distribution, réseaux embarqués, etc.). Dans les années 2000, une nouvelle structure Multilevel Modular Converter (MMC) est proposée, et arrive aujourd’hui à un certain niveau de maturation pour les applications HVDC [1]-[2]. Dans un contexte de moyenne tension (gamme 10kV – 50kV) cette architecture n’a pas encore fait ses preuves. Dans le contexte des applications de moyenne tension, nous proposons d’étudier la potentialité des onduleurs MMC : Figure 1. Cependant, des travaux préliminaires nous conduisent à étudier les systèmes de commande rapprochée pour cette gamme de tension d’isolation mais sur la base de technologies classiques telles que les solutions à base de transformateurs magnétiques (basée sur le circuit imprimé (PCB)) [3]. Notre contribution, pour cet article, est de proposer un système de transmission d’ordres à très haute isolation galvanique et de l’optimiser.

La démarche de conception, à l’aide d’un algorithme d’optimisation, est présentée dans la section 2 (Prototypage virtuel d’une transmission d’ordre à base de transformateur magnétique planar) : les variables géométriques et électriques sont présentées afin d’expliquer la modélisation multi-physique adoptée. La démarche de modélisation/optimisation conduit à l’analyse de plusieurs fronts de Pareto en fin de section. Ensuite, dans la section 3, des résultats expérimentaux sont proposés, dans un premier temps pour valider la fonction globale de transmission d’ordre puis dans un second temps pour apporter des pistes d’amélioration de la modélisation. En effet, les comparaisons entre résultats expérimentaux et de simulation nous conduisent à critiquer vivement la modélisation proposée et surtout à apporter des pistes d’amélioration en modélisant le câblage, les éléments parasites des condensateurs du circuit puis les éléments parasites des sondes de tension. Enfin, la dernière section est consacrée aux pistes d’amélioration.



**Figure 1: Le Driver des modules MMC et structure de MMC**

## 2. Prototypage virtuel de la fonction de transmission d'ordre à base de transformateur magnétique planar

Le but de cette section est d'optimiser les circuits de transmission d'ordre à base de transformateur magnétique planar en utilisant une méthodologie de prototypage virtuel basée sur un algorithme d'optimisation [4]. Les résultats d'optimisation, basée sur des fronts de Pareto, sont analysés en fin de section.

### 2.1 Circuits électriques de la fonction de transmission d'ordre

Le synoptique de la fonction de transmission d'ordre et la structure de base des circuits de transmission d'ordre à l'aide d'une isolation magnétique (transformateur planaire) sont illustrés dans la Figure 2. Dans ce contexte, nous proposons une optimisation qui permet de minimiser la consommation moyenne de la fonction et de maximiser le niveau de tension détectable au secondaire. Une optimisation bi-objectif ( $V_{out,max}$  &  $I_{mos,max}$ ) est alors mise en place.

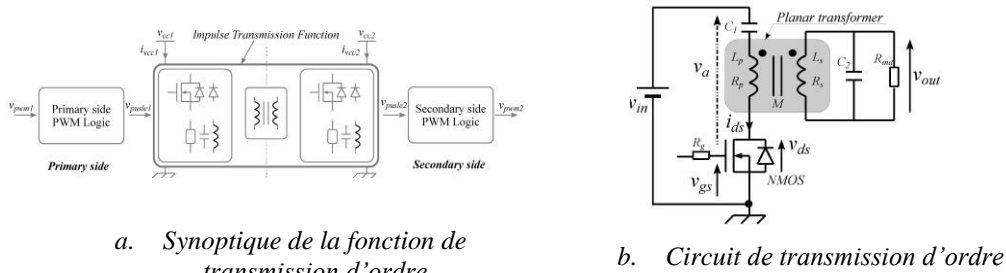


Figure 2: Le synoptique du circuit de la fonction de transmission d'ordre

### 2.2 Optimisation de la fonction de transmission d'ordre

D'après la Figure 2b, certaines variables d'optimisation sont de natures électriques ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_{out}$ ). Les autres variables électriques ( $L_p$ ,  $L_s$ ,  $R_p$ ,  $R_s$ , et  $M$ ) dépendent des 6 variables géométriques du transformateur. Dans cet article, nous proposons une démarche d'optimisation en prenant en compte une technologie de PCB double couches (2 couches au primaire et 2 couches au secondaire). Le transformateur double-couche est présenté dans la Figure 3a. Les 6 variables géométriques sont  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ . Les paramètres  $ep_i$  ( $1 < i < 6$ ) sont constants et dépendent d'un choix à priori du concepteur comme la tenue en tension du dispositif, limites technologiques des pistes en cuivre, etc. A l'aide du logiciel Matlab, un algorithme génétique bi-objectif est réalisé (NSGA-II) [5]: il met en œuvre le logiciel LTSpice pour les simulations temporelles et le logiciel FEMM pour les calculs magnétiques éléments finis : Figure 3b. Sur la Figure 3c, l'organisation des calculs numériques successifs est décrite.

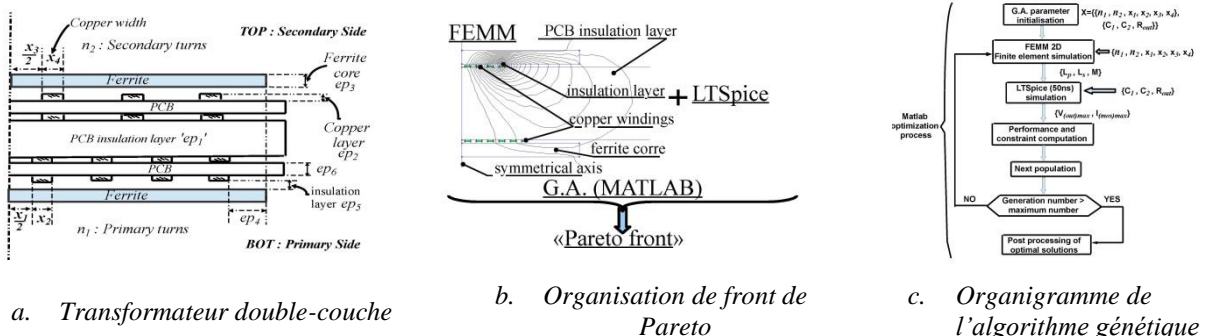


Figure 3: Organisation de l'optimisation de la fonction de transmission d'ordre

Pour une épaisseur d'isolation de 2mm, nous proposons des fronts de Pareto pour différents diamètres de transformateurs planars : 7mm, 10mm et 13mm. Nous constatons, à cette étape de la conception de la fonction, que les niveaux de tension sont compris entre 2V et 8V pour des courants absorbés de 0,7A à 2A (valeur du maximum de courant) : Figure 4.

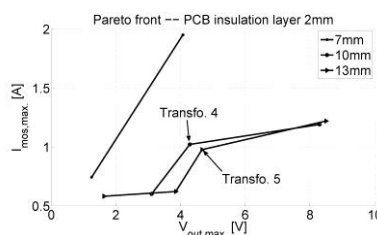


Figure 4: Fronts de Pareto pour 2mm d'épaisseur PCB

### 3. La comparaison entre les résultats de simulation et expérimentaux

#### 3.1 Simulations temporelles

Sur la base de la Figure 4, nous choisissons de réaliser le transformateur N°5 (0.97A et 4.66V) afin de comparer les résultats de simulation à un prototype physique. Les simulations temporelles ( $V_{out}$  &  $I_{mos}$ ) sont présentées sur la Figure 5a et 5b.

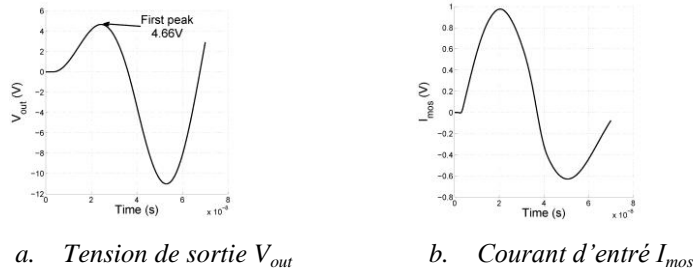


Figure 5 : Résultats de simulation du transformateur N°5 (2mm d'isolant et 13mm de diamètre)

#### 3.2 Résultats expérimentaux

Pour effectuer des mesures, nous avons réalisé une carte de test avec une partie primaire qui effectue l'excitation du transformateur, une partie secondaire qui remet en forme l'information sous forme d'impulsion en un état logique {0, +5V} puis un étage d'amplification qui est capable de piloter une grille de composant à  $\pm 15V$ . Sur la Figure 5a nous proposons le routage 3D de la carte puis sur la Figure 5b la réalisation d'un premier prototype avec le transformateur N°5. Les résultats expérimentaux ( $v_{ds}$  : tension du MOSFET au primaire,  $v_{out}$  : tension secondaire,  $v_{ge}$  : tension grille-émetteur de l'IGBT à piloter) sont donnés Figure 5c. On observe un temps de propagation total d'environ 75ns.

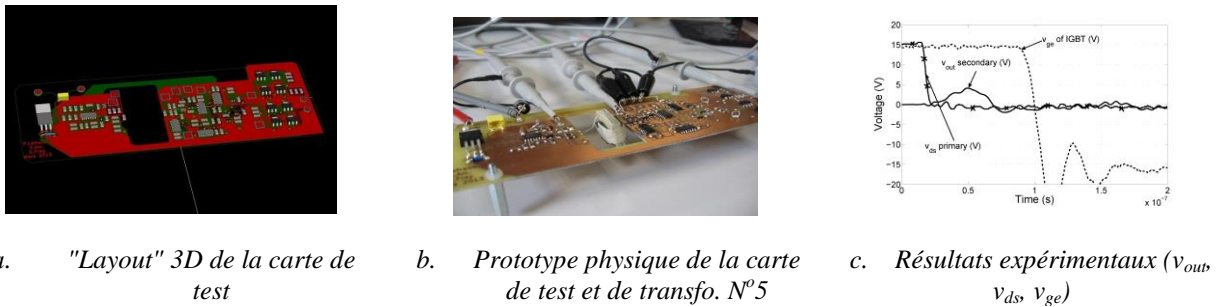


Figure 5 : Prototypé et résultats expérimentaux

#### 3.3 Comparaison entre les résultats de la simulation et de l'expérimentation

Dans un premier temps, nous faisons la comparaison sur la tension de sortie  $v_{out}$  et la tension  $v_{ds}$  au primaire : Figure 6a. Nous constatons une différence importante sur la tension  $v_{out}$  qui est due à un décalage et un gradient de tension différent sur la tension  $v_{ds}$ . Sur la Figure 6b, nous observons que sur la tension d'excitation de la grille du MOSFET, les profils de tension en simulation et sur le prototype sont très différents tant au niveau du gradient de tension que sur l'amplitude maximale du signal. Dans l'outil de simulation, nous injectons la tension d'excitation de la grille du MOSFET : Figure 6c.

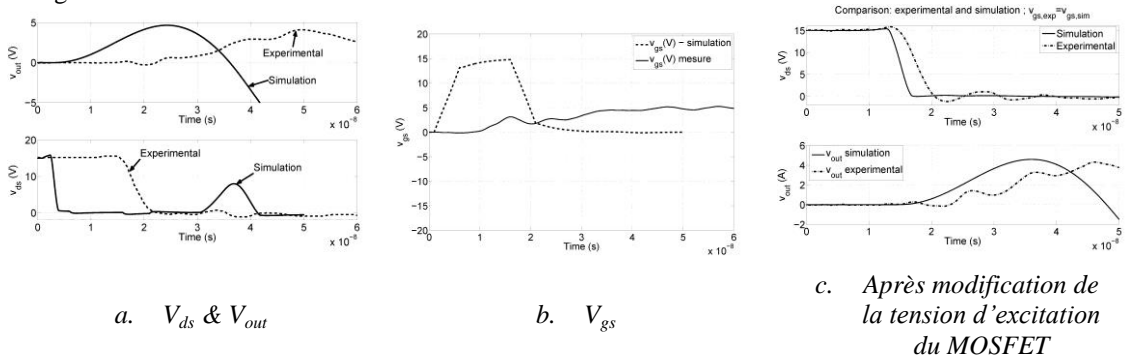


Figure 6 : La comparaison entre les résultats de la simulation et de l'expérimentation

Nous constatons que cette modélisation permet d'avoir une meilleure exactitude entre les résultats de simulations et les résultats expérimentaux. Cependant, nous notons que les tensions expérimentales ont un comportement plus oscillant que dans la simulation. Afin d'avoir un modèle plus représentatif de la réalité physique, nous proposons, dans l'article final, des résultats de simulation en prenant en compte les éléments du câblage, les inductances séries des condensateurs de résonance et de découplage puis les sondes de tension ainsi que les entrées de l'oscilloscope.

## 4. Conclusion et Perspectives

Dans nos travaux, nous nous focalisons sur la fonction de transmission d'ordres du driver des modules IGBT pour les onduleurs MMC pour une isolation galvanique pouvant aller jusqu'à 40kV. La méthode de prototypage virtuel a été proposée pour calculer l'optimisation bi-objectif du modèle proposée. La technologie du transformateur double-couche basée sur la technologie PCB (Printed Circuit Board) est un choix de technologie pour l'optimisation géométrique du transformateur. Dans la section 2, les résultats des fronts de Pareto ont été analysés. Les simulations temporelles montrent que l'on peut obtenir une tension de sortie  $v_{out}$  de 4.66V avec un courant pic absorbé de courant 0.97A avec un temps de premier maximum de 22ns (pour le transformateur N°5). Ensuite, afin de valider l'approche de prototypage virtuel et la modélisation adoptée, des résultats expérimentaux sont proposés. Pour le transformateur N°5, nous obtenons un temps de propagation de 75ns entre l'excitation au primaire et le changement d'état du circuit d'attaque de grille à  $\pm 15V$ . A cet effet, nous constatons des différences de forme d'onde entre les résultats expérimentaux et de simulation. Des améliorations de modélisation sont proposées dans l'article final.

Pour nos futurs travaux de recherche, il apparaît nécessaire d'aller prendre en compte les effets capacitifs qui relie le primaire au secondaire dans l'optique d'estimer les courants de mode commun (contrainte à intégrer dans la méthodologie de conception de la fonction de transmission d'ordres).

## 5. Références

- [1] A. Lescinar, R. Marquardt, «An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range», PowerTech, 2003.
- [2] A. Lescinar, R. Marquardt, «A new modular voltage source inverter topology», EPE, 2003
- [3] J. Li, Y. Shi, Z. Niu, and D. Zhou, « Modeling, simulation and optimization design of PCB planar transformer » in *IEEE Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*. Zhengzhou, 450002, China: Information Engineering University, 29-29 Sept. 2005, pp. 1736–1739.
- [4] P. Lefranc, X. Jannot, and P. Dessante, « Optimised design of a transformer and an electronic circuit for IGBT drivers signal impulse transmission function based on a virtual prototyping tool, » *IET Power Electronics*, pp. 1–9, 2013.
- [5] K. Deb, A. Pratab, A. Agrawal, and S. Meyarivan, « A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization, » *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 2, pp. 182 – 197, April 2002