EMC study of a 1.7 kV SiC MOSFET gate driver

Abstract

The growing market for renewable energy technologies results in a fast growth in power electronic technologies. Most of the renewable energy technologies produce DC power therefore power electronic converters are needed to convert DC into AC power. Power electronic converters are widely used in voltage range up to +/-1MV and up to several GW power. Given the recent rapid growth in the performance of power semiconductors like Si, SiC and GaN power devices for high-efficiency power applications, there is a need for dedicated gate drivers to deal with SiC semiconductors in new converter generations. To meet the development of these applications, this research work has been carried out on the power electronic field presenting a gate driver for a half-bridge SiC MOSFET power module to be applied in a medium/high voltage power converter.

The principle of converters operation is based on switching. SiC MOSFETs as the switching elements of converters offer many advantages including low conduction losses, high speed and high voltage switching which increase the efficiency and power density. However, it brings some challenges for converter designers like increasing electromagnetic interferences which disturb the converter operation. Gate drivers provide interfaces between the control signal and switching actions in converters. They are also a path for electromagnetic interferences due to their isolated power supply. Gate drivers can be one of the elements which can act on switching transitions and reduce the generated electromagnetic interferences in converters. This reduce also the electromagnetic interferences passing through gate drivers. Therefore, to keep the converter in its safe operation, this study targets two main objectives. First protecting gate drivers by limiting the amount of interferences passing through them in order to achieve the operation of the converter at rated value. Secondly reducing the generated electromagnetic interferences by means of gate driver at the semiconductor level by modifying the voltage waveform applied for driving semiconductors. Reaching these objectives results in improving the electromagnetic compatibility of converters.

At first, a commercial 1.7 kV SiC MOSFET half-bridge device is used as a switching leg in a 100~kW Dual Active Bridge DC/DC converter. The device is controlled by a commercial gate driver. The investigation in the converter prototype shows the importance of the conducted electromagnetic interferences passing through the gate drivers. The uncontrolled magnitude of the conducted electromagnetic interferences disturbs the triggering of the semiconductors. This phenomenon is called ``self-disturbance''. It prevents the proper operation of the converter at rated voltage and power. Self-disturbance phenomenon highlights the effect of the gate drivers on the operation of the converter This part of the study shows the need of new gate driver techniques to reduce the interferences from semiconductors.

The second contribution addresses the challenge of gate perturbation due to fast switching in SiC MOSFET based converters. A well-known gate voltage perturbation issue due to the fast switching of semiconductors results in self-disturbance phenomenon. This problem is solved by a new circuit implemented in a classical gate driver architecture. It is proposed to filter the parasitic current flowing into the gate by a bifilar common-mode choke in addition of the classical protection circuit. Thanks to this proposed method, the electromagnetic interferences passing through gate drivers are reduced. This part shows the sensitivity of the SiC MOSFET gate drivers design to parasitic elements and measurement probes. The performance of the classical differential probe is compared with optical isolated voltage probe by measuring the gate-source voltage of semiconductors. It clarifies how the parasitic elements of the measurement probes affect the measurements and it allows the optimization of the gate driver design.

The final contribution is the development of a new driving technique. A new inductive feedback gate driver is designed based on the direct drain/source current measurement of the SiC MOSFET power module. The dynamic adjustment of the gate current with this new gate driver technique reduces the generated interferences thanks to moderate switching voltage and current slops. The proposed gate driver achieves a better trade-off between losses and conducted emissions compared to the classical series-connected passive resistors for SiC MOSFET gate drivers.

Keywords: SiC MOSFET, gate driver, DC/DC converter, EMI, EMC

Étude CEM d'un driver de MOSFET SiC 1,7 kV

Résume

Le marché croissant des énergies renouvelables entraîne un développement rapide des technologies de l'électronique de puissance. Une large partie de la production d'énergie renouvelable se fait en courant continu ou à fréquence variable, c'est pourquoi des convertisseurs électroniques de puissance sont nécessaires pour obtenir du courant alternatif à fréquence fixe.

Les convertisseurs en électronique de puissance sont largement utilisés dans des applications de tension allant jusqu'à +/-1MV et de puissance allant jusqu'à plusieurs GW. Étant donné les améliorations rapides et récentes des semi-conducteurs de puissance comme les modules Si, SiC et GaN pour les applications à haut rendement, il est nécessaire de disposer des nouvelles commandes de ces interrupteurs.

Le principe de fonctionnement des convertisseurs est basé sur la commutation des interrupteurs. Ceux-ci offrent de nombreux avantages, notamment de faibles pertes en conduction, une vitesse de commutation élevée, et une bonne tenue en tension qui augmentent l'efficacité et la densité de puissance. Cependant, ils posent certains défis, tels que l'augmentation des interférences électromagnétiques qui perturbent le fonctionnement du convertisseur. Les circuits de commande de grille (driver) fournissent des interfaces entre le signal de commande et les semi-conducteurs, et constituent également une voie de passage pour les interférences électromagnétiques en raison des éléments parasites de leur alimentation isolée. Ceux-ci font partie des éléments qui peuvent agir sur les commutations et réduire les interférences électromagnétiques générées par les interrupteurs dans les convertisseurs. Premièrement, ils protègent les circuits de commande de grille en limitant la quantité d'interférences qui les traversent et qui permettent de maintenir leur fonctionnement des convertisseurs. Deuxièmement, ils réduisent les interférences électromagnétiques générées par les circuits de commande au niveau des semi-conducteurs en modifiant la forme d'onde de la tension de grille.

Tout d'abord, un demi-pont MOSFET SiC 1,7~kV du commerce est utilisé dans un convertisseur continu/continu de type dual active bridge (DAB) de 100 kW, contrôlé par un driver du commerce. L’amplitude incontrôlée des interférences électromagnétiques perturbe la fermeture des semi-conducteurs. Ce phénomène est ici appelé "auto-perturbation" et empêche le fonctionnement du convertisseur à tension et puissance nominales. Cette partie de l'étude montre la nécessité de nouvelles techniques de commande de grille pour réduire les interférences liées aux commutations.

La deuxième contribution, traite du défi que représente la perturbation de la grille due à la commutation rapide dans les convertisseurs à base de MOSFET SiC. Un problème bien connu de perturbation de la tension de grille lors des commutations des semi-conducteurs entraîne un phénomène d'auto-perturbation. Ce problème est résolu par l’ajout d’un élément à un circuit de commande classique. Il est proposé de filtrer le courant parasite entrant dans la grille par une inductance bifilaire en mode commun. Grâce à cette méthode, les interférences électromagnétiques traversant les drivers sont également réduites. Cette partie montre la sensibilité de la conception des circuits de driver et des sondes de mesure. Les performances d'une sonde de tension optique isolée sont évaluées en mesurant la tension grille-source des semi-conducteurs. Cela clarifie la manière dont les éléments parasites des sondes de mesure affectent les mesures et permet d’optimiser la conception des circuits de commande de grille.

La dernière contribution est le développement d'une nouvelle technique de circuit driver. Un nouveau driver doté d'une boucle inductive est conçu sur la base de la mesure du courant de drain ou de source des MOSFETs. L'ajustement dynamique du courant de grille réduit les interférences générées grâce à une tension et un courant de commutation modérés. La commande de grille proposée permet un meilleur compromis entre les pertes et la CEM par rapport aux méthodes classique d’ajout de résistances en série.

Mots-clés : MOSFET SiC, driver, convertisseur DC/DC, EMI, CEM