

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique,
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : Électronique - Génie Électrique

Par

Antoine PHILIPPE

Interrupteur Synthétique Haute Tension à base de MOSFET SiC 1.2 kV et Méthode d'Équilibrage Associée

Thèse présentée et soutenue au Bourget-du-Lac, le 08 décembre 2025

Unités de recherche : CEA INES Laboratoire de Pilotage Intelligent des Réseaux Electriques
IETR UMR 6164

Rapporteurs avant soutenance :

François GRUSON
Frédéric RICHARDEAU

Maître de Conférences/HDR, Université de Lille
Directeur de recherche CNRS, Laplace-Université de Toulouse

Composition du Jury :

Examineurs : François GRUSON
Eric LABOURÉ
Frédéric RICHARDEAU

Maître de Conférences/HDR, Université de Lille
Professeur, Université Paris-Saclay
Directeur de recherche CNRS, Laplace-Université de Toulouse

Dir. de thèse : Nicolas GINOT
Encadrants : Anne-Sophie BACQUET
Guillaume PIQUET BOISSON

Professeur, Nantes Université
Maître de Conférences/HDR, Nantes Université
Ingénieur de recherche, CEA

Invité(s)

Christophe BATARD Maître de Conférences/HDR, Nantes Université
Van-Sang NGUYEN Ingénieur de recherche, CEA

Titre : Interrupteur Synthétique Haute-Tension à Base de MOSFET SiC 1,2 kV et Méthode d'Équilibrage Associée

Mots clés : Haute-tension, MOSFET SiC, Mise en série, Équilibrage, Délai, Bridage actif

Résumé : La connexion d'une centrale photovoltaïque au réseau de distribution 20 kV se fait via un convertisseur DC/AC et un transformateur élévateur. La montée en tension dans le domaine de la transmission d'énergie est avantageuse en partie car le transformateur volumineux peut être supprimé. Cependant, la conversion DC/AC en haute tension (HT) est restreinte en raison des limitations en tension des transistors, composant fondamental du convertisseur. Certaines topologies de convertisseurs, dites multiniveaux, permettent de contourner ces limitations, mais restent complexes à mettre en œuvre.

Une solution pour augmenter la tenue en tension consiste à créer un interrupteur synthétique composé de transistors connectés en série, permettant de répartir la tension lorsqu'ils sont commandés simultanément.

Cependant, sans méthode d'équilibrage, des déséquilibres en tension apparaissent aux bornes des transistors, pouvant endommager les composants. Ces travaux de thèse visent à développer un interrupteur synthétique HT composé de 48 MOSFET SiC de 1,2 kV, capable de supporter une tension de bus de 34 kV. L'étude se concentre sur la réalisation de cette architecture ainsi que sur une méthode d'équilibrage adaptée à la mise en série d'un grand nombre de transistors. L'architecture proposée utilise un circuit de bridage actif (active clamp) pour limiter les surtensions, ainsi que des délais ajoutés à la commande des transistors. Cette méthode est validée au travers de simulations de 6 à 48 MOSFET en série, puis expérimentalement sur un prototype de cellule de commutation à 6 MOSFET SiC en série.

Title : Medium-voltage Synthetic Switch from a Series-Connection of 1.2 kV SiC MOSFETs and its Associated Voltage Balancing Method

Keywords : High-voltage, SiC MOSFET, Series-connection, Delay, Active clamp

Abstract : The connection of a photovoltaic power plant to a 20 kV distribution grid is achieved via a DC/AC converter and a step-up transformer. The voltage increase in the energy transmission domain is advantageous partly because it allows the bulky transformer to be removed. However, DC/AC conversion at medium-voltage (MV) is restricted due to the voltage limitations of transistors, which are the fundamental components of converters. Certain converter topologies, such as multilevel converters, allow these limitations to be avoided but remain complex to implement. One solution to increase voltage withstand capability is to create a synthetic switch composed of series-connected transistors, allowing the voltage to be distributed when commanded simultaneously.

However, without a balancing solution, voltage imbalance occurs across the transistors, which can damage the components. This thesis work aims to develop a MV synthetic switch composed of 48 series-connected 1.2 kV SiC MOSFETs, capable of withstanding a bus voltage of 34 kV. The study focuses on developing this architecture as well as a balancing method suitable for the series-connection of a large number of transistors. The proposed architecture uses an active clamping circuit to limit any overvoltage, as well as added delays in the transistor control. This method is validated through simulations of 6 to 48 series-connected MOSFETs, and experimentally on a switching cell prototype with six series-connected SiC MOSFETs.