

Les modules SiC accélèrent la conception d'infrastructures énergétiques haute puissance

Auteur : Mark Patrick, Mouser Electronics

La conversion de puissance est une fonction essentielle dans pratiquement toutes les conceptions, depuis les capteurs basse consommation destinés à l'Internet des objets (IoT) jusqu'aux onduleurs solaires à haute puissance. Plusieurs nouveaux usages comme la transition vers des sources d'énergie renouvelable et l'expansion du marché des véhicules électriques requièrent une conversion d'énergie aussi efficace que fiable. Après un passage en revue de quelques-unes de ces tendances, le présent article se penchera sur les défis qui se présentent aux ingénieurs en électronique et pourquoi ils ont largement adopté la technologie reposant sur le carbure de silicium (SiC), un semi-conducteur à large bande interdite. Sur le plan de l'efficacité et de la taille, le SiC présente en effet certains avantages par rapport aux autres technologies de traitement des semi-conducteurs. Il constitue de ce fait un choix idéal pour des applications à haute puissance.

Pour illustrer ceci, nous prendrons le cas d'un chargeur rapide à courant continu pour véhicule électrique et en examinerons l'architecture de haut niveau afin d'identifier les défis techniques que l'on rencontre couramment lors de la conception de chargeurs. Nous comparerons ensuite brièvement conception discrète et conception modulaire avant de conclure par une présentation du module onsemi F1 en demi-pont.

Les défis de la conversion de puissance élevée

La conversion de puissance est un vaste sujet. La conversion et la gestion de l'énergie sont des éléments tout aussi essentiels pour un capteur IoT de nœud périphérique alimenté par batterie que pour un grand convertisseur d'énergie solaire commercial. Ce qui les distingue, c'est le niveau de puissance impliqué : un capteur ne délivre que quelques milliwatts, tandis que l'unité solaire peut fournir plusieurs milliers de watts. La conversion de puissance est incontournable pour passer d'un niveau de tension à un autre. S'agissant d'un capteur IoT, par exemple, la tension requise est généralement définie par le microcontrôleur (le plus souvent 3,3 V ou 5 V). Cependant, en vertu de leur chimie, les batteries généralement utilisées pour ce type d'application fournissent une tension nominale de 3,7 V. Il en va de même pour les applications à plus forte puissance telles que les convertisseurs de charge solaires, les onduleurs et les chargeurs pour véhicules électriques. La conversion de la tension est dès lors une étape obligatoire. Malgré la considérable différence de puissance entre ces deux exemples, l'efficacité du processus de conversion est tout aussi essentielle dans un cas comme dans l'autre. Dans le cas d'applications de conversion de puissance élevée, une conversion inefficace entraîne des pertes d'énergie qui se manifestent sous la forme de chaleur. Si elle est trop forte, la chaleur résiduelle doit être dissipée afin de maintenir les circuits électroniques à une température de fonctionnement correcte et d'en préserver la fiabilité. Or, la dissipation et l'évacuation de cette chaleur représentent un véritable défi sur le plan thermique.

La technologie des semi-conducteurs à large bande interdite en carbure de silicium

Dans les applications de conversion de puissance élevée, l'efficacité de la conversion dépend avant tout des propriétés des semiconducteurs de puissance. Certaines de ces propriétés entraînent des pertes d'énergie à l'intérieur du dispositif, ce qui se traduit par un dégagement de chaleur. Bien qu'elle ne se mesure qu'en milliohms ($m\Omega$), la résistance de conduction du semiconducteur ($R_{DS(on)}$) n'en est pas moins un facteur important, y compris dans des applications à plusieurs centaines voire milliers d'ampères. Du fait que les technologies reposant sur des semiconducteurs à base de silicium (Si) ont atteint la limite de

leurs propriétés thermiques et électroniques, mais aussi parce que la tendance actuelle est à l'efficacité énergétique, de nouvelles technologies de traitement des semi-conducteurs ont vu le jour.

Les semi-conducteurs à large bande comme le carbure de silicium (SiC) possèdent des propriétés thermiques et électroniques nettement supérieures au silicium (Si), ce qui leur permet de fonctionner à des fréquences de commutation, des tensions et des températures plus élevées. La figure 1 compare les caractéristiques de transmission de puissance et de fréquence de commutation de différents matériaux semi-conducteurs et cas d'utilisation.

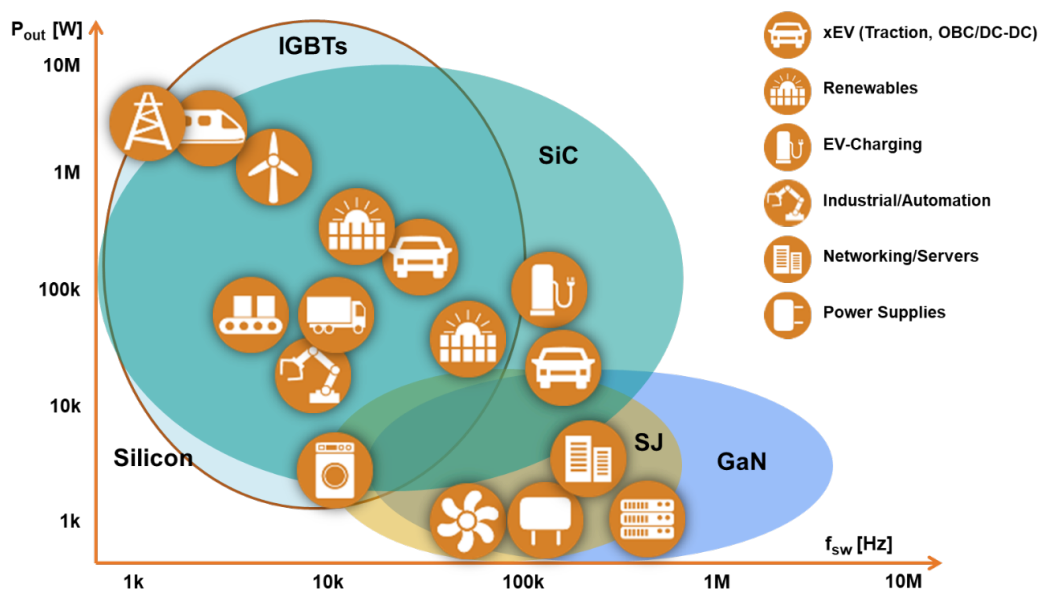


Figure 1 : puissance, fréquence de commutation et cas d'utilisation de différents matériaux semi-conducteurs (Source : onsemi).

Le SiC présente de nombreux avantages par rapport au Si, notamment une conductivité thermique et une bande interdite d'énergie trois fois plus importantes. Les applications basées sur du SiC peuvent utiliser une tension de commutation de 1 200 V, tandis que le Si n'autorise que 600 V. Rien d'étonnant donc à ce que les semi-conducteurs SiC comme les MOSFET SiC soient de plus en plus utilisés dans des applications de conversion de puissance élevée comme les chargeurs de véhicules électriques. Les dispositifs SiC peuvent également fonctionner à une densité de puissance plus élevée, ce qui permet de réaliser des conceptions plus compactes – une aubaine pour la conception des chargeurs de véhicules électriques et des infrastructures de recharge en bordure de route, dont l'espace est très restreint.

En outre, les technologies de traitement du SiC étant arrivées à maturité, de plus petits nœuds de processus fournissent des MOSFET plus petits et à prix compétitifs, ce qui favorise bien sûr l'adoption de cette technologie sur le marché.

Exploration de l'architecture d'un chargeur rapide à courant continu pour véhicule électrique

Un des principaux facteurs du succès des véhicules électriques fut bien sûr le fait de disposer d'un vaste réseau de bornes de recharge. Les chargeurs embarqués offrent un moyen simple – mais lent – de recharger son véhicule électrique chez soi durant la nuit en le connectant au réseau électrique domestique. Afin de réduire le temps de charge, les chargeurs CC requièrent une infrastructure électrique considérable, car ils fonctionnent à des niveaux de puissance plus élevés que ce que peut fournir une prise de courant domestique. Les chargeurs CC rapides commencent à 20 kW, avec une durée de

charge estimée à deux heures. Les stations de charge à plus grande capacité peuvent aller jusqu'à 350 kW pour un temps de charge réduit à moins de dix minutes.

Les ingénieurs chargés de concevoir les chargeurs CC rapides pour véhicules électriques se trouvent confrontés à plusieurs contraintes de développement. En tout premier lieu, il y a le fait que l'infrastructure de recharge des véhicules électriques doit pouvoir fonctionner sans surveillance humaine et dans des conditions aussi diverses que la pluie, la poussière et des températures extrêmes. La fiabilité est un autre point primordial. Il ne faudrait pas qu'un usager se retrouve immobilisé à cause d'un chargeur défectueux dans un endroit éloigné de toute infrastructure de recharge.

La conception doit tenir compte de critères stricts en matière d'efficacité énergétique, de sécurité des usagers et de gestion thermique efficace, et ce, quelle que soit la température ambiante. Une borne de recharge doit non seulement prendre en charge tous les aspects de la conversion de puissance à partir du secteur, mais elle doit également surveiller le processus de charge, interagir avec le système de contrôle du véhicule et communiquer avec le système de facturation du fournisseur de services. Cependant, elle ne dispose que d'un espace limité, ce qui n'est pas pour faciliter la tâche des ingénieurs en mécanique qui doivent prévoir une surface suffisante pour une gestion convenable de la chaleur dans la station de charge. Par ailleurs, l'infrastructure de charge doit être conforme à toutes les normes de sécurité électrique, de sécurité fonctionnelle et de charge des véhicules (CCS, CHAdeMO, Tesla, etc.). Un autre élément dont il convient de tenir compte pour les convertisseurs de puissance élevée à haute fréquence de commutation est la conformité aux normes régionales et nationales sur les interférences électromagnétiques (EMI).

La figure 2 illustre l'architecture de base d'un chargeur CC rapide pour véhicule électrique. Les deux composants principaux sont une fonction de correction du facteur de puissance (PFC) ou Active Front End (AFE) triphasée CA/CC et un convertisseur de puissance élevée CA/CC isolé. Les bornes de recharge haute puissance utilisent généralement plusieurs sous-unités de 15 kW à 75 kW pour atteindre la capacité souhaitée.

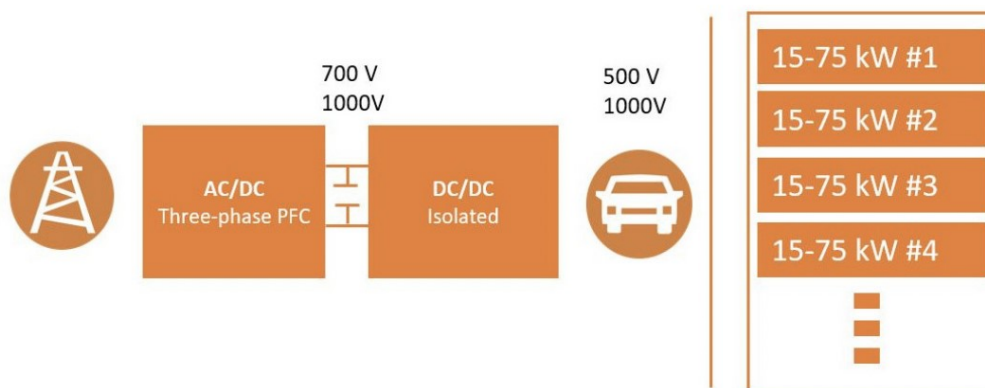


Figure 2 : architecture d'un chargeur rapide à courant continu pour véhicule électrique (Source : onsemi).

Chaque bloc fonctionnel peut être mis en œuvre dans une topologie différente. Par exemple, un point neutre clampé de type T (T-NPC) pour l'étage de correction du facteur de puissance (PFC) et une commutation à tension nulle LLC à pont complet (ZVS) pour la conversion CC/CC.

La figure 3 montre un convertisseur élévateur de tension à correction de facteur de puissance triphasé couramment utilisé pour un chargeur de véhicules électriques utilisant des modules MOSFET SiC de 1 200 V dans une topologie T-NPC.

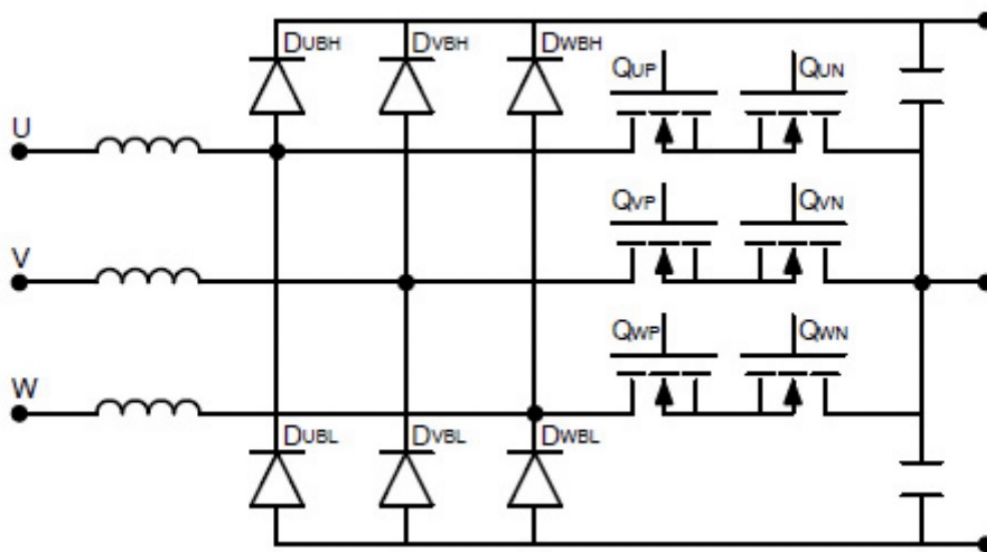


Figure 3 : un étage de correction de facteur de puissance triphasé typique avec topologie T-NPC (Source : onsemi).

En ce qui concerne l'étage de convertisseur CC/CC, la topologie à double pont actif mise en œuvre avec des modules SiC MOSFET en demi-pont offre un agencement compact et efficace.

Les modules SiC constituent une solution efficace et parfaitement adaptée aux infrastructures de recharge de véhicules électriques.

Bien que les ingénieurs électriciens puissent construire les étages de conversion PFC et CC/CC d'un chargeur de véhicules électriques sur la base de MOSFET SiC discrets, les modules de puissance intégrés (PIM) MOSFET SiC encapsulés permettent une meilleure gestion de la chaleur et sont moins encombrants. Le module 2-pack MOSFET SiC NXH006P120MNF2PTG d'onsemi en est un bon exemple. Ce module demi-pont intègre un MOSFET de 1 200 V avec une $R_{DS(on)}$ de 6 mΩ et une thermistance dans un boîtier F2 compact et thermiquement efficace (voir la figure 4).

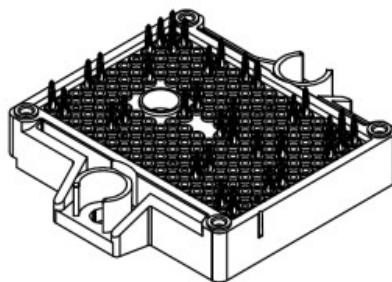


Figure 4 : MOSFET SiC 1 200 V – 10 mΩ et thermistance intégrée onsemi dans un boîtier F1 encapsulé thermiquement efficace (Source : onsemi).

Le module MOSFET SiC en demi-pont convient aux onduleurs solaires, aux chargeurs de véhicules électriques et aux solutions d'alimentation industrielle.

La figure 5 illustre l'utilisation NXH010P120MNF1 dans les étages de conversion PFC et CC/CC d'un chargeur pour véhicules électriques de 25 kW. La fonction PFC 6-Pack (à gauche) fournit une correction

du facteur de puissance et une conversion CA/CC et porte la tension d'entrée CC à 800 V pour le convertisseur CC/CC.

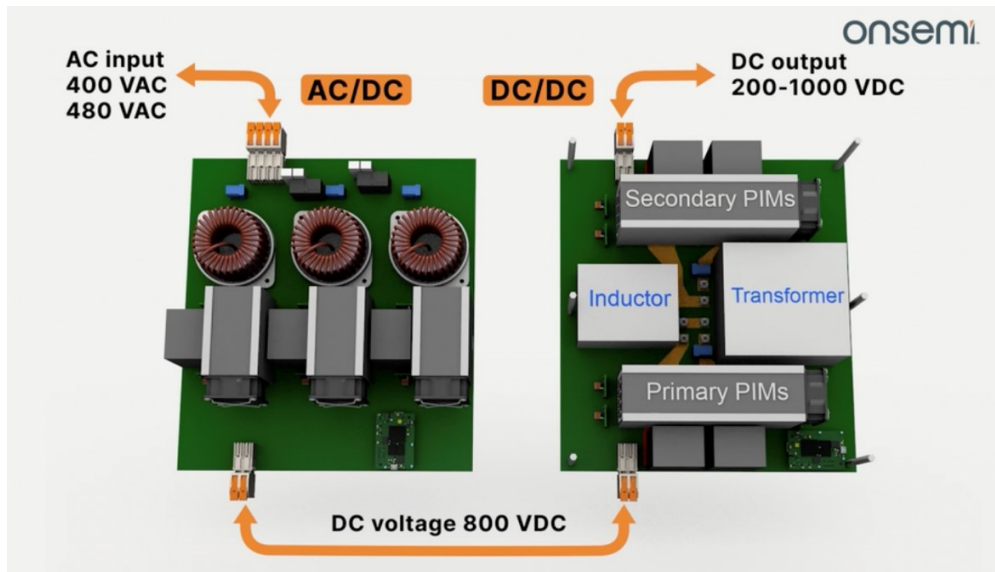
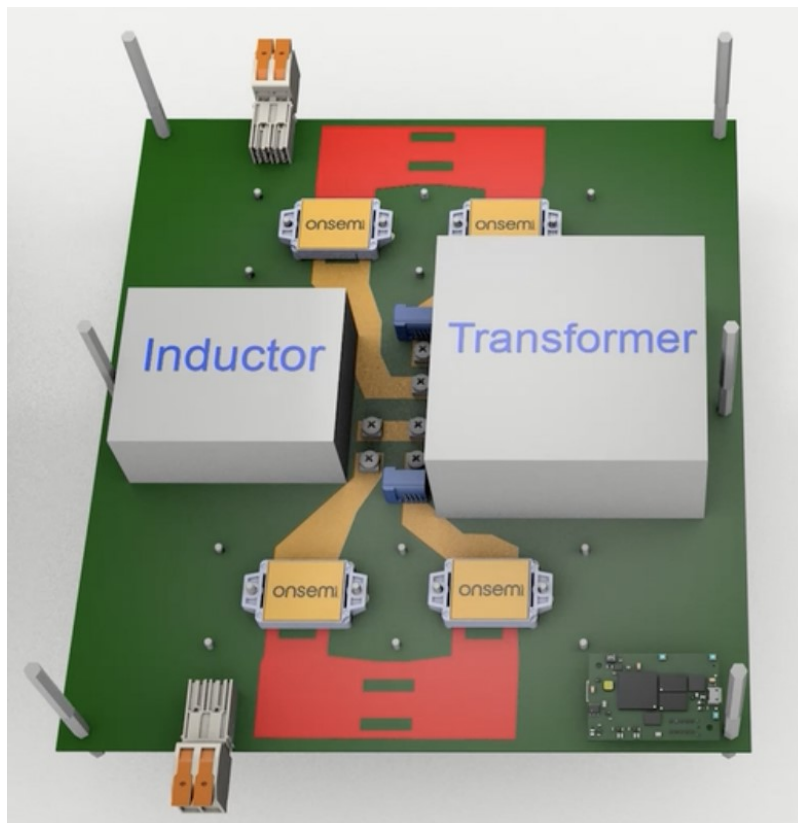


Figure 5 : architecture fonctionnelle d'un chargeur pour véhicules électriques de 25 kW utilisant des modules MOSFET SiC NXH010P120MNF1 d'onsemi (Source : onsemi).

La figure 6 illustre l'agencement de double pont actif avec des modules intégrés d'alimentation primaire et secondaire (PIM) représentés ici sans leur dissipateur thermique et leurs ventilateurs de refroidissement à air forcé. Le convertisseur CC/CC isole le véhicule de l'alimentation triphasée et ajuste la tension et le courant de sortie en fonction du système de gestion de la batterie du véhicule électrique.



Les modules SiC demi-pont d'onsemi sont compacts, haute fréquence et affichent une faible $R_{DS(on)}$ et une dissipation thermique optimisée. Grâce à ces caractéristiques, ils constituent une solution idéale pour les infrastructures de recharge haute puissance pour véhicules électriques.

Les modules de puissance élevée en SiC permettent d'accélérer le développement d'applications de conversion de puissance efficaces

Dans un contexte de croissance du marché des véhicules électriques, il est essentiel de pouvoir rapidement développer et déployer des infrastructures de recharge fiables. Dans le présent article, nous avons ainsi pu observer à quel point les récents progrès réalisés dans le domaine du traitement des semi-conducteurs ont prouvé que les MOSFET à base de carbure de silicium surpassent leurs homologues en silicium par leurs propriétés distinctes. En regroupant plusieurs MOSFET SiC dans un format compact et optimisé sur le plan thermique, les ingénieurs peuvent commercialiser rapidement des applications de conversion de puissance élevée.

www.mouser.com