

# Le SiC améliore efficacité et fiabilité dans les applications aéronautiques

Comme dans d'autres secteurs stratégiques de l'électronique, l'ensemble de l'industrie aéronautique évolue rapidement vers des solutions d'alimentation légères, petites, à rendement élevé et à haute densité. Ces nouveaux paradigmes de taille, de poids, de puissance et de coût imposent des exigences strictes et rigoureuses aux concepteurs qui s'efforcent de répondre à la demande du marché tout en s'appuyant des solutions d'alimentation fondées sur des circuits SiC (carbure de silicium). Explications de Microchip Technology.

Les onduleurs et convertisseurs continu/continu et continu/alternatif traditionnels s'avèrent souvent inadéquats ou inefficaces pour les applications les plus critiques et les plus difficiles, comme les satellites de dernière génération, les drones ou les avions électriques. Pour surmonter ces défis, l'approche fondée sur la conception de modules d'alimentation à haute densité s'avère efficace pour assurer une fiabilité et une densité de puissance élevées tout en conservant une grande flexibilité.

La troisième génération de semi-conducteurs à « grand gap » (WBG, Wide Band Gap) en carbure de silicium (SiC) donne à ce niveau une impulsion sans précédent à l'ensemble du secteur des applications énergétiques dans l'aéronautique.

En effet, si les propriétés du carbure de silicium sont connues depuis la fin du XIXe siècle, ce n'est que relativement récemment que ce matériau de type WBG a été utilisé comme semi-conducteur. Par rapport aux dispositifs de puissance traditionnels à base de silicium, les transistors MOSFET (transistor à effet de champ à grille isolée) en SiC présentent une tension de claquage élevée (3 à 5 MV/cm, soit presque dix fois plus que le silicium) et une bande interdite environ 3 fois plus large que celle du silicium (3,26 eV contre 1,11 eV). De plus, la gestion thermique est améliorée grâce à la conductivité thermique du SiC qui

## AUTEUR

Alain Calmels,  
Microchip  
Technology.

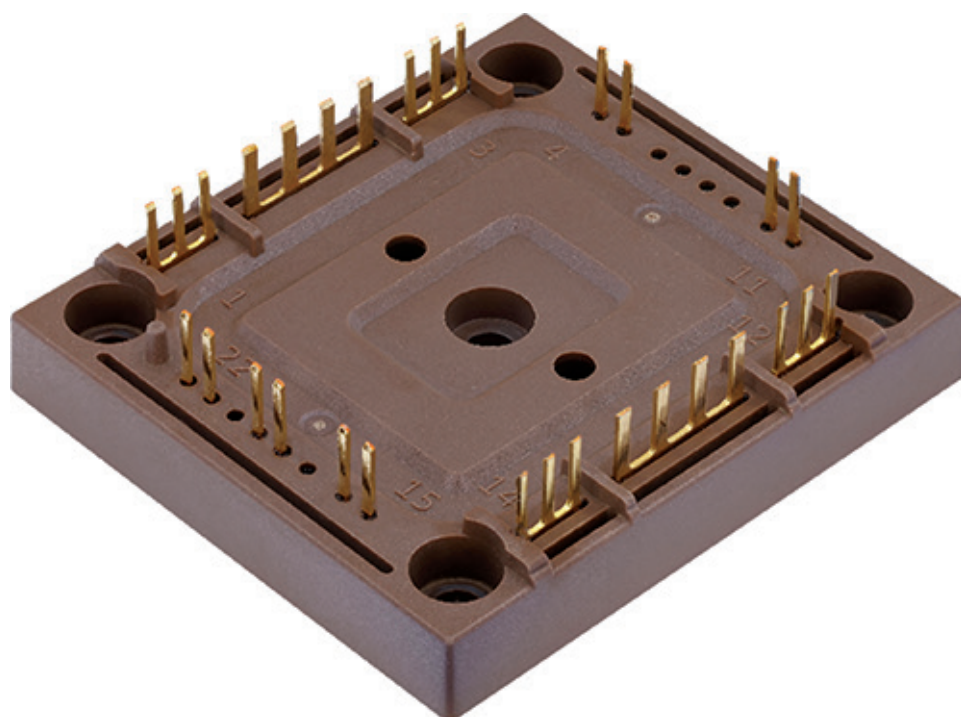
est près de trois fois supérieure à celle du silicium (4,9W/cmK contre 1,5W/cmK) et à sa résistance spécifique qui est bien inférieure à celle du silicium (0,3 mΩ/cm<sup>2</sup> contre 400 mΩ/cm<sup>2</sup> pour une tension de claquage de 1200V à température ambiante). De plus, la résistance à l'état passant ( $R_{DS(on)}$ ) des dispositifs de puissance SiC du commerce est jusqu'à 300 à 400 fois inférieure à

celle d'un dispositif équivalent à base de silicium à la même tension de claquage.

Par rapport à leurs équivalents silicium, les MOSFET SiC peuvent fonctionner à des fréquences de commutation plus élevées, avec moins de pertes de conduction et de puissance, ce qui permet d'utiliser des composants passifs plus compacts dans les systèmes de puissance et

## 1 MODULE D'ALIMENTATION SANS FIL BL3

Ces modules disposent d'un substrat modifié, ce qui entraîne une réduction de 40% du poids et de 10% du coût par rapport aux solutions standard qui font appel à des plaques de base en métal et nécessitent un dissipateur thermique. De plus, ce boîtier à faible inductance peut être soudé directement sur un circuit imprimé.



d'obtenir des solutions de puissance globalement plus légères. Des caractéristiques qui ont permis de remplacer les dispositifs IGBT actuels par des MOSFET SiC dans des applications haute puissance à volume limité, notamment dans l'aéronautique.

**Le SiC investit le monde de l'aéronautique**

Le driver de grille des MOSFET SiC nécessite une tension de commande de grille positive élevée (environ 20 V) et, selon l'application, une tension de grille négative dite « d'arrêt » de -2 V à -6 V afin d'assurer une immunité dV/dt et d'obtenir la vitesse d'arrêt la plus rapide. Dotés aussi d'une faible capacitance de sortie et d'une faible résistance à l'état passant  $R_{DS(on)}$ , les dispositifs à base de SiC sont attrayants pour les conceptions à découpage comme les alimentations, les onduleurs triphasés, les amplificateurs et les convertisseurs de tension (AC/DC ou DC/DC). L'utilisation de dispositifs SiC permet également de réaliser d'importantes économies et de réduire la taille des composants magnétiques (transformateurs et inductances) utilisés dans de nombreuses applications de puissance dans l'aéronautique.

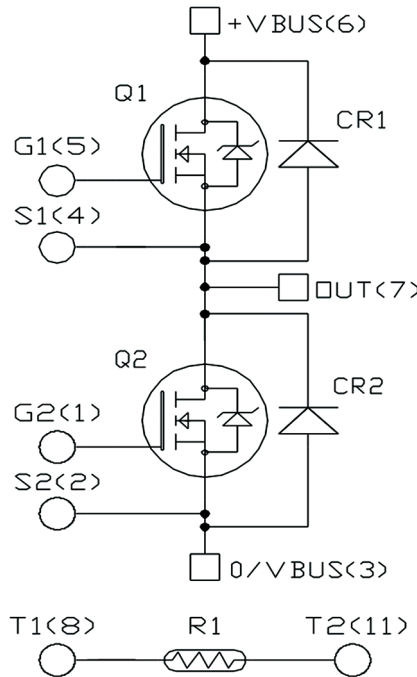
Dans cette industrie, le concept d'avion « plus électrique » (More Electric Aircraft) est devenu très populaire. Il vise à électrifier les systèmes auxiliaires de bord des avions auparavant alimentés par des moyens mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques. L'approche MEA apporte des avantages clés tels que l'amélioration du rendement, la réduction des coûts et une fiabilité accrue.

Conséquence, de nouveaux dispositifs de puissance sont conçus pour répondre aux exigences MEA, y compris, et surtout, des systèmes de puissance AC et DC, qui nécessitent des convertisseurs de puissance pour leur fonctionnement.

Concrètement, plusieurs fonctions de conversion de puissance requises par un système de puissance MEA sont assurées par des convertisseurs DC/AC, comme le démarrage de moteur, la commande de pompes et de générateur, les actionneurs de commande de vol, etc. Pour répondre à ces exigences, il faut des convertisseurs à haute densité de puissance, capables de fonctionner

**2 TOPOLOGIE DE BRANCHE DE PHASE POUR LE MODULE D'ALIMENTATION BL1**

On voit ici une topologie de branche de phase du module d'alimentation BL1 (1200V, 79A,  $R_{DS(on)}$  typique 25mΩ). Le MOSFET de puissance SiC se caractérise par un faible  $R_{DS(on)}$  et une fréquence de commutation élevée, tandis que la diode Schottky SiC assure un courant retour nul, ainsi qu'un réamorçage et une commutation indépendants de la température.



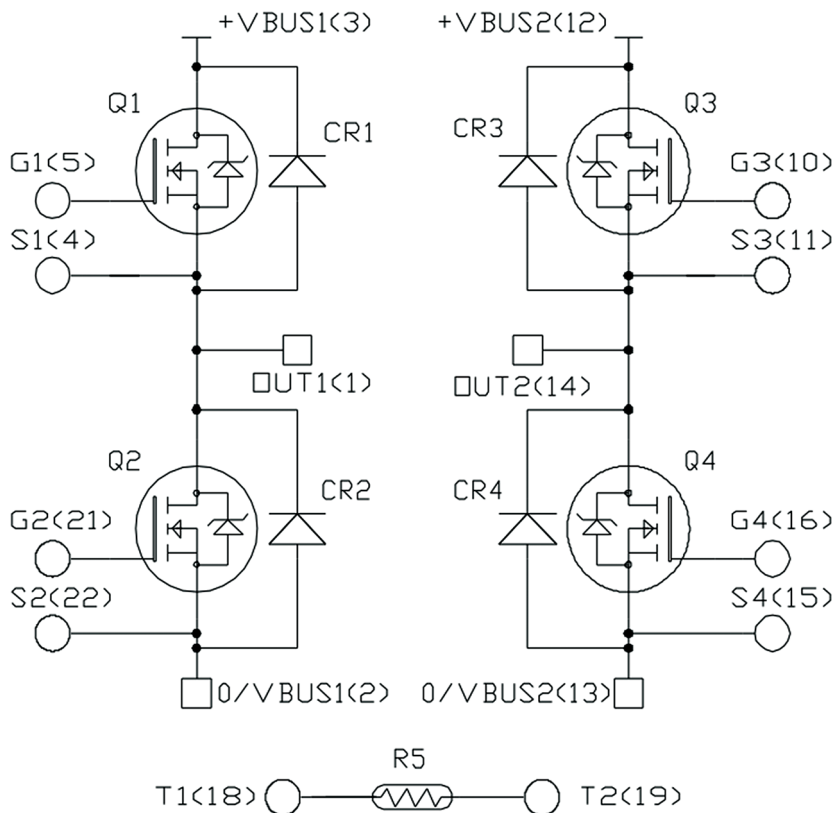
à des fréquences de commutation élevées. Le rendement est également un facteur clé, car il permet de réduire à la fois la taille et le poids du convertisseur, ce qui simplifie la gestion thermique. En raison de leurs pertes de conduction et de commutation réduites, les dispositifs de puissance SiC sont des candidats sérieux pour remplacer les IGBT et les MOSFET silicium dans les convertisseurs de puissance avioniques.

Parallèlement, l'ensemble de l'industrie aéronautique s'oriente vers des objectifs d'émissions nulles, en développant de nouvelles technologies capables de réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre, tout en encourageant l'utilisation de carburants durables.

En Europe, le Clean Sky Consortium, un partenariat entre la Commission européenne et l'industrie aéronautique européenne, vise à développer des technologies de transport aérien plus propres, capables de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, de NOx et de bruit. Une initiative similaire a été prise par l'Association internationale du transport aérien (IATA) qui a approuvé en octobre dernier une

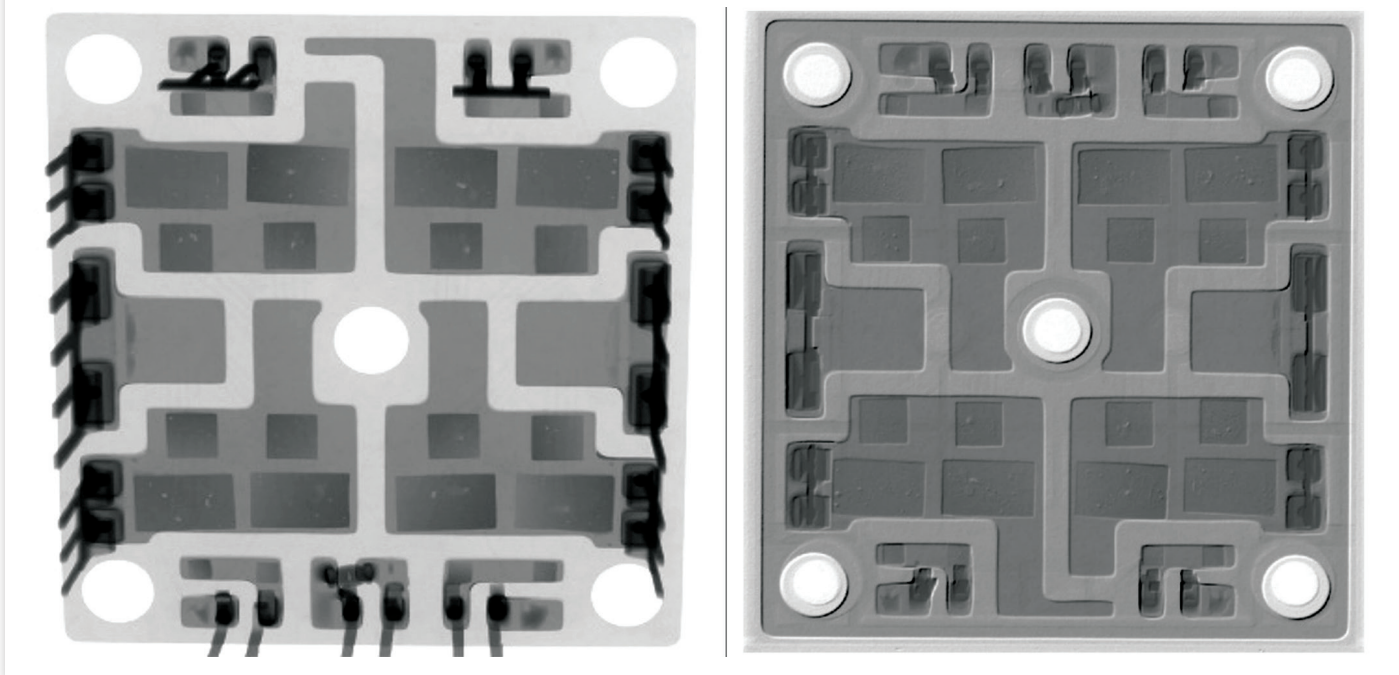
**3 TOPOLOGIE DITE « PONT COMPLET »**

Ces modules présentent une tension drain-source de 1,2kV, un courant de drain jusqu'à 150 A continu à température ambiante (jusqu'à 300A de courant de drain pulsé) et une résistance à l'état passant drain-source de seulement 16mΩ.



**4 ANALYSE AUX RAYONS X AVANT ET APRÈS 1 000 CYCLES DE TEMPÉRATURE**

Les analyses effectuées ne montrent aucune dégradation au niveau des joints de soudure, ni du substrat, susceptible de réduire les performances du dispositif.



résolution visant à ce que le secteur du transport aérien mondial atteigne des émissions nettes nulles en carbone à horizon 2050.

Pour répondre à ces exigences, les systèmes de commande pneumatiques et hydrauliques doivent être progressivement remplacés par des systèmes de commande électriques et électroniques à haut rendement. Un meilleur rendement est ici indispensable pour réduire la consommation de carburant, le poids et la taille.

**Les modules de puissance SiC arrivent**

Microchip Technology a récemment introduit une série de modules de puissance AC/DC et DC/DC qui offrent une efficacité de conversion d'énergie plus élevée grâce au SiC. Capable de délivrer une puissance de 100W à 20kW, la famille BL1, BL2 et BL3 a été développée en collaboration avec le consortium européen Clean Sky pour répondre aux nouvelles exigences de pollution de l'industrie aéronautique. Cela inclut la conformité à la procédure d'essai RTCA DO-160G (Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, version G). Un appareil conforme à la norme DO-160G peut à ce niveau offrir un fonctionnement fiable et précis dans toutes les conditions de vol.

Ces nouveaux modules de puissance

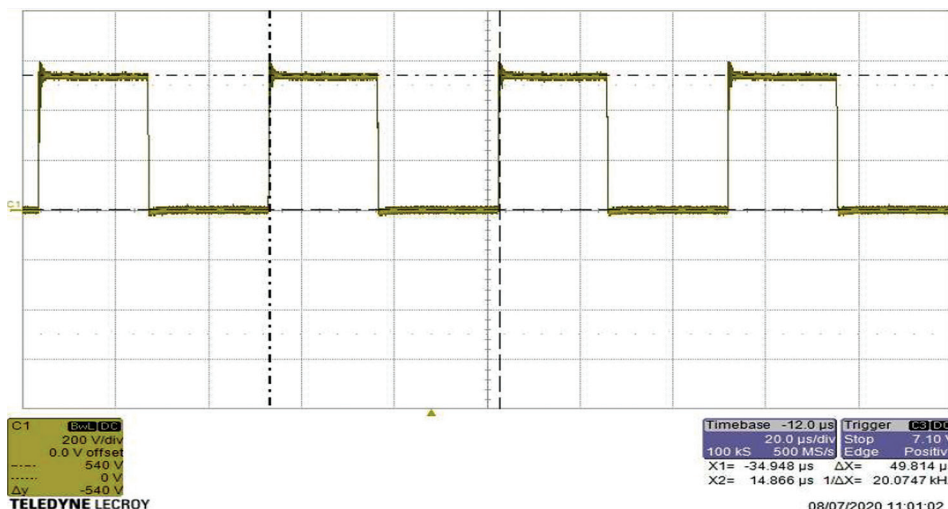
(figure 1) disposent d'un substrat modifié, ce qui entraîne une réduction de 40% du poids et de 10% du coût par rapport aux solutions standard qui font appel à des plaques de base en métal et nécessitent un dissipateur thermique. En outre, le boîtier bas profil à faible inductance peut être soudé directement sur le circuit imprimé, ce qui accélère le développement tout en augmentant la fiabilité.

S'appuyant sur cette technologie de module de puissance sans base, qualifiée pour les applications aéronautiques, cette famille comprend trois

tailles. Leur configuration standard intègre des topologies dites « full-SiC » à 1,2 kV, avec ou sans diodes. Les modules sont disponibles sous forme de MOSFET SiC 75 A et 145 A, d'IGBT 50 A et de sorties à diode de redressement 90 A. Des solutions à base d'IGBT et des solutions personnalisées dotées de dispositifs avec des tensions nominales de 700 V à 1 700 V sont également disponibles. Selon la version spécifique, différentes topologies sont prises en charge, comme le pont complet, le pont asymétrique, la branche de phase, la source commune double,

**5 COURBE DU TEST CMB**

On voit ici la courbe du test CMB (Chopper Mode Bias) après 1000 heures (200V/division).



le « buck » et le « boost » (figure 2).

La topologie dite « pont complet » (figure 3) est prise en charge par les modules d'alimentation BL2 et BL3. Ces modules présentent une tension drain-source de 1,2 kV, un courant de drain jusqu'à 150 A continu à température ambiante (jusqu'à 300 A de courant de drain pulsé) et une résistance à l'état passant drain-source de seulement 16 mΩ. Le MOSFET SiC est ici doté d'une source Kelvin pour un pilotage facile et les diodes Schottky SiC offrent aussi une tension de récupération en sens inverse et en sens direct nulle. La puissance maximale est de 560 W, tandis que la tension maximale grille-source est de -10 V (à l'état « Off ») et 24 V (à l'état « On »).

Tous les modules de puissance BL1, BL2 et BL3 ont subi des tests de qualification réalisés par Microchip pour démontrer leur capacité à servir les applications aéronautiques avec le niveau requis de fiabilité, de performance et de rendement attendus. La procédure de test d'acceptation, fondée sur les conditions spécifiées dans la norme RTCA DO-160G, et conforme aux conditions environnementales des avions civils, comprenait un essai paramétrique sur toute la plage de tension, de courant et de température (-55°C, 25°C et 125°C), un essai de décharge partielle (10 pC max à 1 200 VCA) et un test de résistance d'isolement (> 100 MR à 500 VCC).

### Une approche validée par les tests

Pour valider ces architectures mises en place sur des modules de puissance, il est donc nécessaire de réaliser une série de tests complets, les modules SiC de Microchip étant passés sous les fourches Caudines de ces essais, parfois sophistiqués.

**- Biais de grille à haute température.** Le but de ce test, réalisé à la fois à VGS=20V et VGS=-8V, est de vérifier que les performances du dispo-

sitif ne sont pas affectées par la polarisation de la grille à haute température. À une température de jonction de 175°C, les mesures de Vth avant et après 1 000 heures de contrainte de polarisation de grille à haute température mettent en évidence des variations négligeables.

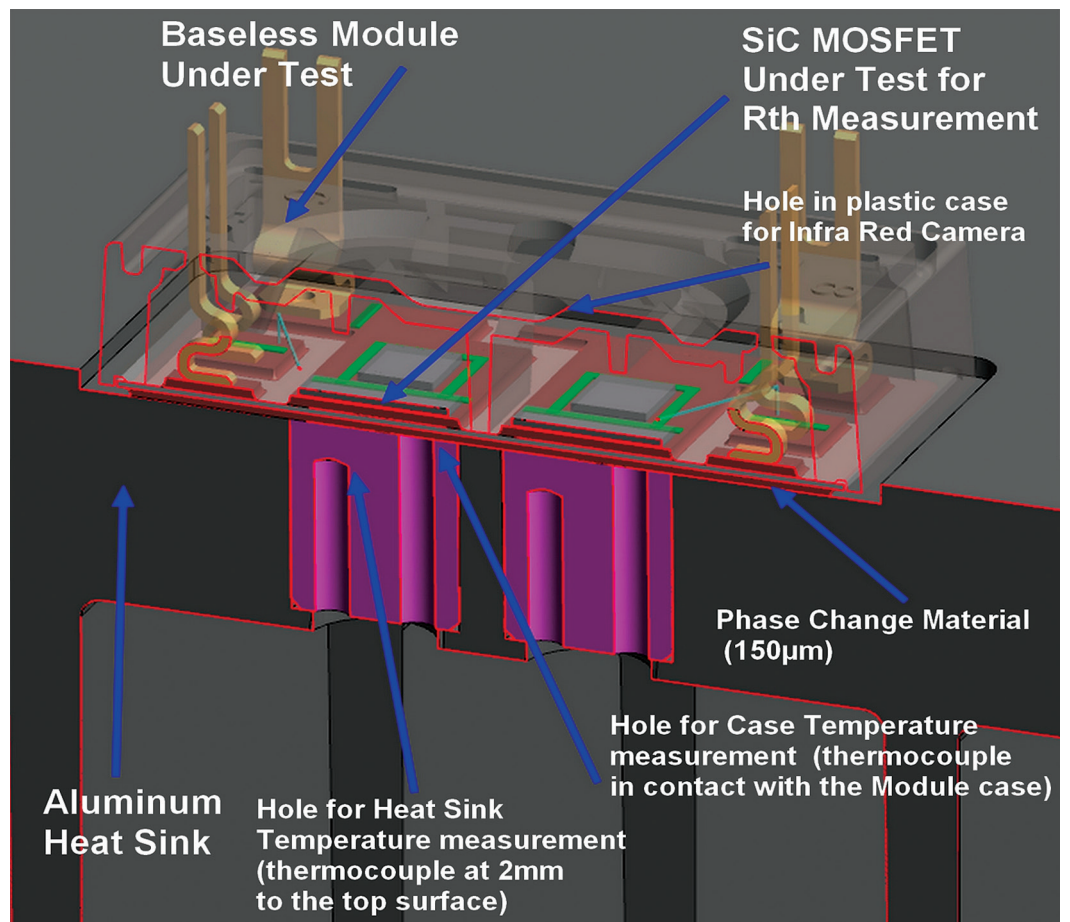
**- Cycle de température.** Ce test vise à évaluer la résistance du dispositif à des températures extrêmes, hautes ou basses. Les analyses par rayons X et par microscopie électronique à balayage, effectuées après 1 000 cycles (figure 4), ne montrent aucune dégradation au niveau des joints de soudure, ni du substrat, susceptible de réduire les performances du dispositif.

**- Vibrations et chocs.** Après avoir fixé les modules d'alimentation sur une plaque montée sur un vibreur, ceux-ci ont été soumis à des tests de vibrations et de chocs selon trois axes.

**- Biais en mode hacheur (CMB, Chopper Mode Bias).** Le but de ce test est de vérifier la robustesse du dispositif lorsqu'il fonctionne en

## 6 CONFIGURATION POUR UNE MESURE THERMIQUE

Un générateur de courant constant a produit une augmentation de la température de la jonction afin de calculer la résistance thermique. Les résultats de mesure ont confirmé les simulations thermiques.



mode hacheur à haute température. Les conditions de test sont les suivantes : VGS=-5V, fréquence de commutation=20 kHz, rapport cyclique=0,5, T=150°C, durée du test=1 000 heures (figure 5).

**- Décharge partielle.** Ce test vise à vérifier la santé de l'isolation de l'objet sous test (DUT) et il est important pour les modules de puissance SiC qui fonctionnent à des tensions élevées et avec des taux dV/dt élevés.

**- Simulations et mesures thermiques.** La simulation thermique détermine les valeurs de résistance thermique et d'impédance thermique du système sous test, tandis que la mesure thermique confirme la résistance thermique jonction-dissipateur calculée pendant la simulation. Le commutateur testé, préalablement préparé avec un boîtier modifié (figure 6), a été mis sous tension et un générateur de courant constant a produit une augmentation de la température de la jonction afin de calculer la résistance thermique. Les résultats de mesure ont confirmé les simulations thermiques. ■



# Solutions de puissance au carbure de silicium

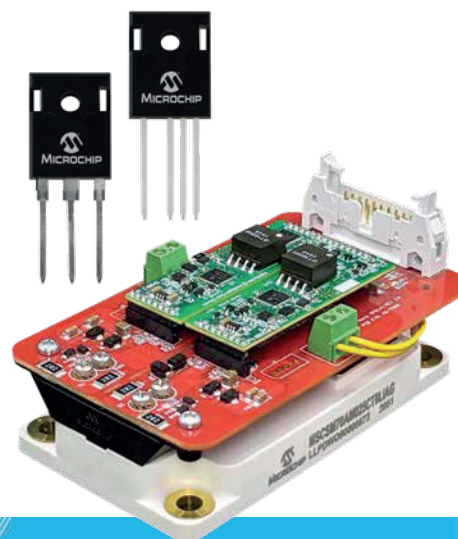
## Passez au SiC facilement, rapidement et en confiance

Le marché mondial du carbure de silicium (SiC) connaît une croissance rapide. Gardez une longueur d'avance avec Microchip. Notre gamme de solutions de puissance SiC, à la pointe de l'industrie, vous assure les coûts système les plus bas, les délais de lancement les plus rapides, et le risque le plus faible.

La robustesse et les performances hors-pair de nos produits évitent tout recours aux dispositifs redondants et aux diodes anti-retour, ce qui réduit le nombre de composants, et vous permet de développer des applications plus compactes, plus légères, et moins coûteuses. Nos drivers de grille numériques et nos solutions système complètes vous feront gagner jusqu'à six mois de développement, en accélérant d'autant le lancement de vos produits et de vos ventes.

De plus, notre stratégie de double fabrication et de sources multiples pour l'approvisionnement de wafers épitaxiés, nous permet de livrer des dispositifs de puissance SiC à nos clients en 8 à 20 semaines, soit au moins un an plus tôt que nos concurrents. Non seulement nous sommes en mesure de fournir les produits SiC que vous voulez dès maintenant, mais notre politique d'obsolescence axée client garantit que nous continuerons de fournir ces produits aussi longtemps que vous en aurez besoin.

- Pertes de commutation extrêmement faibles améliorant le rendement système
- Haute densité de puissance pour une empreinte plus petite permettant de réduire la taille et le poids
- Trois fois plus thermoconducteur que le silicium
- Exigences inférieures en matière d'absorption de courant pour obtenir une taille et un poids réduits
- Température opérationnelle élevée renforçant la fiabilité aux densités de puissance accrues



[microchip.com/esc](https://microchip.com/esc)



Le nom et le logo Microchip sont des marques commerciales déposées de Microchip Technology Incorporated aux États-Unis et dans d'autres pays. Toutes les autres marques commerciales citées appartiennent à leurs entreprises respectives.  
© 2022 Microchip Technology Inc. Tous droits réservés.  
MEC2440A-FRE-10-22