

Optimiser la commande de grille des MOSFET SiC

Auteur : Didier Balocco, Ingénieur Marketing Technique, onsemi

Les MOSFET au carbure de silicium (ou SiC) présentent de nets avantages par rapport aux MOSFET et IGBT traditionnels au silicium pour les applications de commutation de puissance haute tension. La commutation à haute fréquence (de l'ordre de la centaines de kHz) est possible avec les MOSFET au silicium, mais ils n'autorisent pas de tensions très élevées ($> 1\,000\text{ V}$). À l'inverse, si les IGBT peuvent fonctionner aux tensions élevées, leur « courant résiduel à l'ouverture » et leur lenteur de coupure les limitent aux applications de commutation basse fréquence. Les MOSFET SiC offrent le meilleur des deux mondes : commutation haute fréquence et haute tension. Toutefois, les caractéristiques uniques des MOSFET SiC font qu'ils imposent des exigences particulières au niveau commande de grille. Bien comprendre ces caractéristiques permet aux concepteurs de sélectionner des circuits de commande de grille capables d'améliorer la fiabilité du dispositif et ses performances de commutation globales. Dans cet article, nous abordons les caractéristiques des transistors MOSFET SiC et les exigences qu'ils imposent à leurs circuits de commande de grille, avant de proposer un circuit intégré répondant à ces préoccupations, ainsi qu'à d'autres considérations système.

Caractéristiques des MOSFET SiC

Par rapport aux dispositifs silicium, les MOSFET SiC ont une transconductance (gain) plus faible, une résistance interne de grille plus élevée, et leur seuil de mise en conduction par la grille peut être inférieur à 2 V . Par conséquent, la tension de grille doit être maintenue à une tension négative (en général -5 V) à l'état bloqué. Les transistors SiC nécessitent généralement une tension grille-source (V_{GS}) comprise entre 18 V et 20 V , pour réduire leur résistance à l'état passant ($R_{DS(ON)}$). Le fonctionnement d'un MOSFET SiC à V_{GS} faible peut entraîner un stress thermique ou une défaillance à cause d'une R_{DS} élevée. D'autres effets associés au faible gain peuvent avoir un impact

direct sur plusieurs caractéristiques de commutation dynamiques, qui sont importantes à prendre en compte lors de la conception d'un circuit de commande de grille. Ces effets sont notamment la résistance à l'état passant, la charge de grille (le plateau Miller), et la protection contre les surintensités (DESAT).

Résistance à l'état passant

Aux faibles tensions V_{GS} , la caractéristique de résistance à l'état passant en fonction de la température de jonction de certains transistors SiC peut apparaître parabolique* (du fait de la combinaison de certaines caractéristiques internes du transistor). (*Ceci s'applique aux MOSFET SiC M1 et M2 d'onsemi) Lorsque $V_{GS} = 14\text{ V}$, R_{DS} semble avoir un coefficient de température (CT) négatif (la résistance à l'état passant diminue quand la température augmente). Cette caractéristique unique des MOSFET SiC est directement imputable à leur faible gain, ce qui signifie que si deux MOSFET SiC ou plus étaient montés en parallèle, tout en fonctionnant avec une faible tension V_{GS} (et donc un CT négatif), le résultat pourrait être catastrophique. Par conséquent, le fonctionnement en parallèle de MOSFET SiC n'est recommandé que si la tension V_{GS} est suffisante pour garantir un fonctionnement fiable avec un CT positif (c'est-à-dire $V_{GS} > 18\text{ V}$).

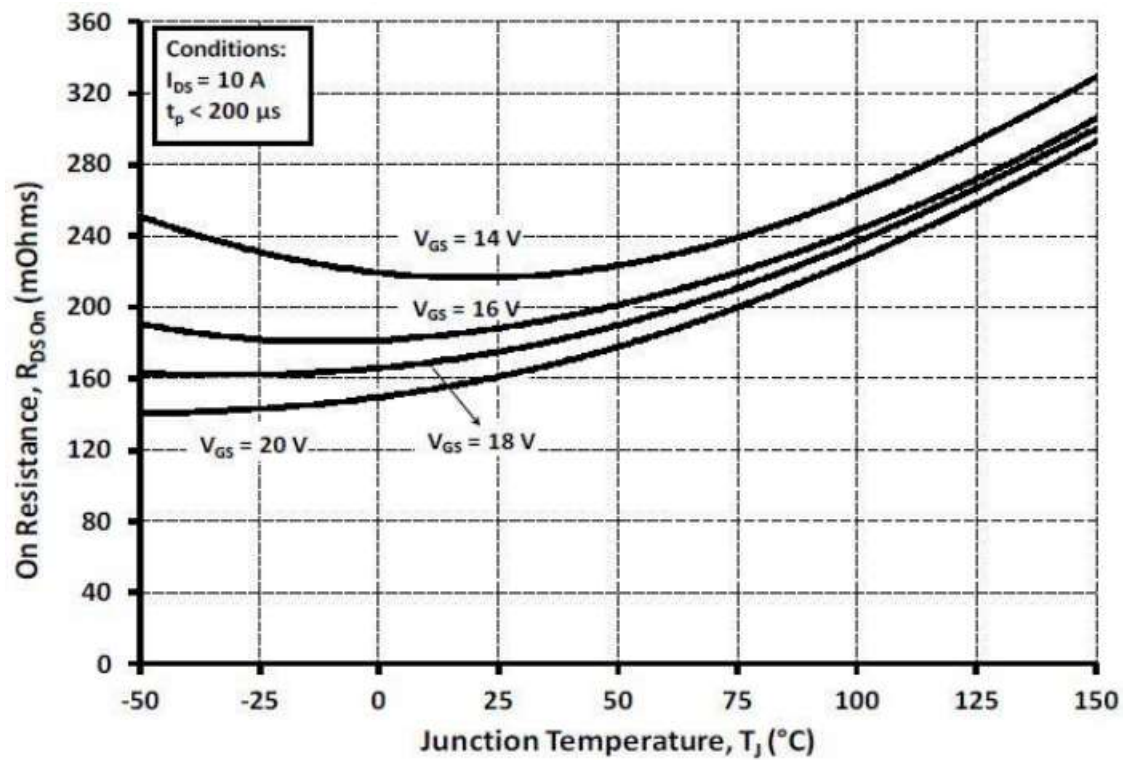


Figure 1 : Résistance à l'état passant en fonction de la température de jonction pour un MOSFET SiC M1 ou M2

La nouvelle génération SiC M3 présente un coefficient de température positif pour toutes les valeurs de V_{GS} sur toute la plage de température de fonctionnement.

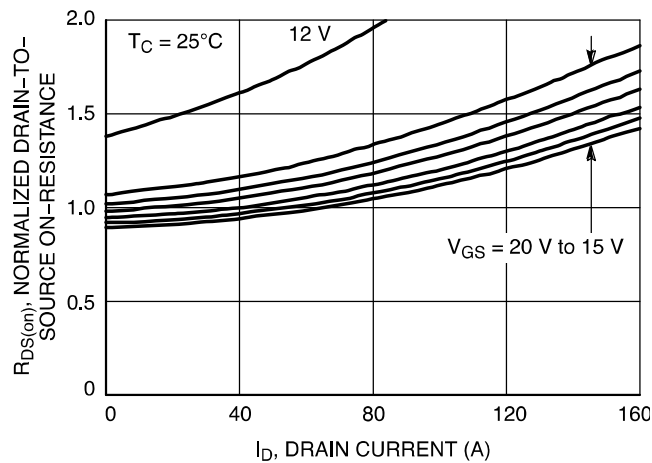


Figure 2 : Résistance à l'état passant en fonction de la température de jonction pour un MOSFET SiC M3

Charge de grille

Lorsqu'une tension de grille (V_{GS}) est appliquée à un MOSFET SiC, la grille se charge et la tension de grille varie de $V_{GS(MIN)}$ (VEE) à $V_{GS(MAX)}$ (VDD) aussi vite que possible. Les capacités internes du transistor n'étant pas linéaires, une courbe V_{GS} en fonction de Q_G (charge de grille) permet de déterminer la valeur de charge de grille à fournir pour une tension V_{GS} donnée. Ce « plateau Miller » pour un MOSFET SiC se produit à des tensions V_{GS} plus élevées, et sa valeur n'est pas constante comme dans le cas d'un MOSFET silicium. Un plateau Miller qui varie signifie que la tension V_{GS} n'est pas constante sur la plage de charge correspondante au Q_G , ce qui est une autre conséquence du faible gain du dispositif. Pour bloquer complètement le transistor au carbure de silicium, une tension négative doit être appliquée sur la grille, et donc, la grille possède une charge négative au blocage. Pour faciliter la compréhension et les calculs, sur la courbe, la charge de grille Q_G est la variation de charge nécessaire ou la charge injectée dans la grille en partant de $V_{GS} = -5V$ jusqu'au V_{GS} correspondant la valeur souhaitée. Cette valeur n'est pas une valeur absolue. C'est pour cette raison que $Q_G = 0C$ pour une tension $V_{GS} = -5V$ sur la courbe.

Pour mesurer la charge électrique nécessaire pour mettre en conduction ou pour bloquer le transistor MOSFET SiC, il suffit de tracer la courbe d'augmentation de Q_G (ou de la charge de Q_G ou de variation de Q_G). Cette valeur est également appelée Q_G . Cela peut s'avérer déroutant. Cette courbe doit être interprétée comme la quantité de charge nécessaire, et non comme la charge absolue stockée dans la capacité vue de la grille.

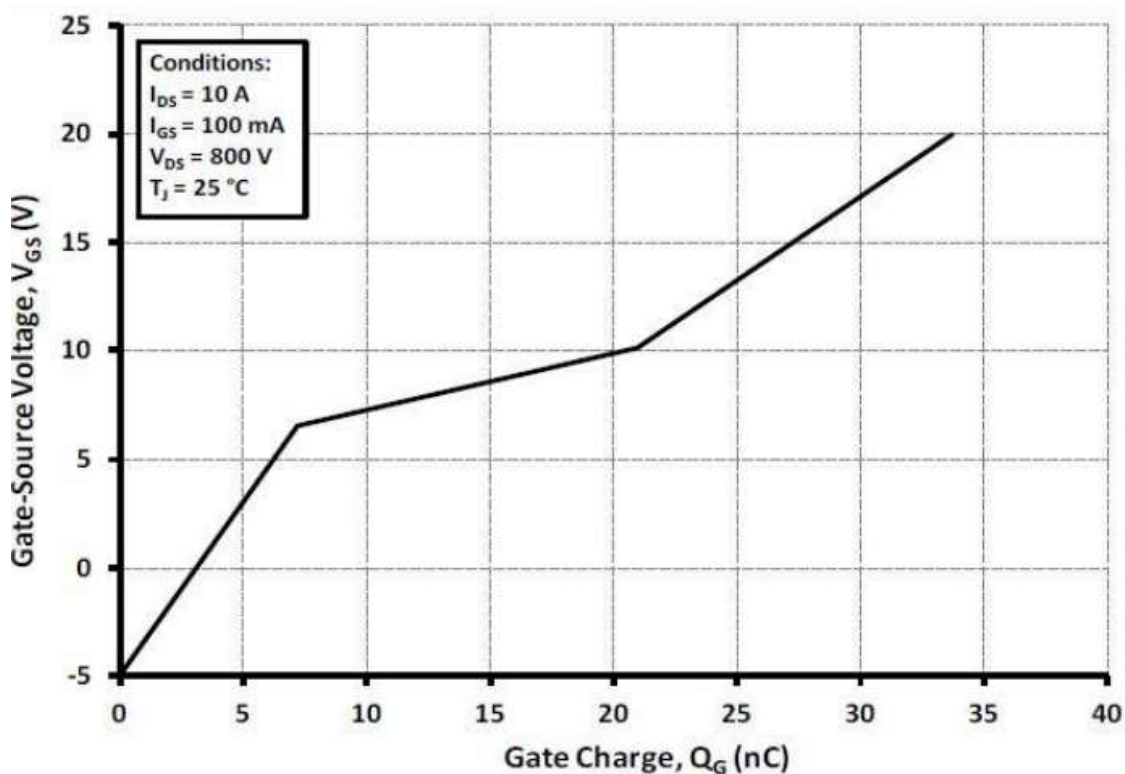


Figure 2 : Tension grille-source (V_{GS}) en fonction de la charge de grille (Q_G) pour un MOSFET SiC

La raison principale pour utiliser une tension de blocage négative pour piloter la grille est de réduire les fuites de courant dans drain quand le dispositif est bloqué. Une autre raison est le faible gain de transconductance. L'utilisation d'une tension de blocage négative réduit également les pertes de commutation, principalement lors du blocage. Par conséquent, pour presque tous les MOSFET SiC, il est recommandé d'utiliser une tension V_{GS} minimum ($V_{GS(MIN)}$) comprise entre -5 V et -2 V à l'état bloqué, certains fabricants spécifiant même des tensions jusqu'à -10 V.

Protection anti-désaturation (DESAT) ou contre les surintensités

La protection DESAT est un type de détection de surintensité qui trouve son origine dans les circuits de commande d'IGBT. Pendant sa phase de conduction, si un IGBT ne peut être maintenu en saturation (et donc une « désaturation » se produit), la tension collecteur-émetteur augmente tandis qu'un courant de collecteur important circule. Cela a clairement un impact négatif sur le rendement et, dans le pire des cas, cela peut

conduire à une défaillance catastrophique de l'IGBT. La fonction dite « DESAT » surveille la tension collecteur-émetteur de l'IGBT et détecte toute condition potentiellement dangereuse. Même si le mécanisme de défaillance d'un MOSFET SiC est quelque peu différent, il se peut aussi que V_{DS} augmente alors qu'un fort courant de drain I_D circule. Cette condition indésirable peut se produire si la tension V_{GS} maximale à la mise sous tension est trop basse, si la montée de la commande de grille n'est pas assez franche, ou encore en cas de court-circuit ou de surcharge. La résistance à l'état passant R_{DS} peut augmenter alors que le courant I_D est important, provoquant ainsi une brusque augmentation de V_{DS} . Lorsqu'un MOSFET SiC subit une désaturation, V_{DS} réagit très rapidement, tandis que le fort courant de drain continue de circuler à travers une résistance à l'état passant ($R_{DS(ON)}$) qui augmente. Lorsque V_{DS} atteint un certain seuil, la protection peut être activée. Une attention particulière est nécessaire pour éviter tout retard de détection de V_{DS} susceptible de masquer le phénomène. DESAT est donc une protection importante et complémentaire du circuit de commande de grille.

Commutation dynamique

Les états de conduction et de blocage d'un transistor MOSFET SiC comportent quatre phases distinctes. Les formes d'onde de commutation dynamique décrites sont représentatives de conditions de fonctionnement idéales. Cependant, dans la pratique, des oscillations dus à l'inductance des fils de connexion et de liaison, certaines capacités parasites, et l'implantation du circuit imprimé peuvent affecter profondément les formes d'onde réelles. Une bonne sélection des composants, de bonnes pratiques de routage de circuit imprimé, et l'utilisation d'un circuit de commande de grille bien conçu sont essentielles pour optimiser les performances des transistor MOSFET SiC utilisés dans les applications de puissance.

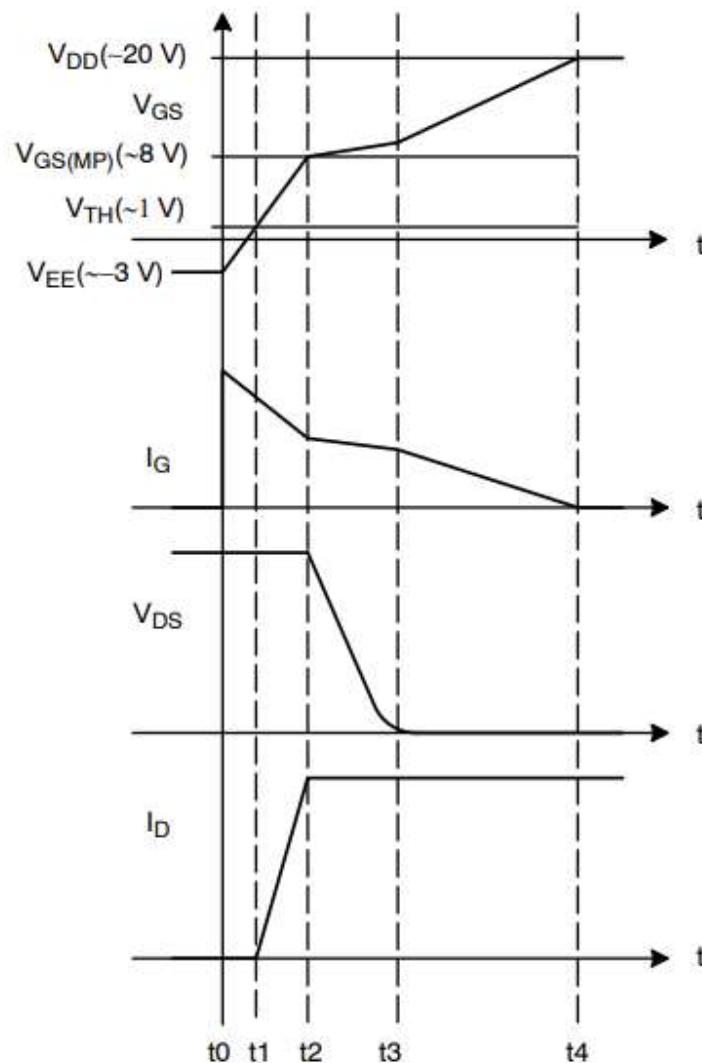


Figure 3 : Séquence d'allumage en 4 phases d'un MOSFET SiC

Ce qui fait un bon circuit intégré de commande de grille

Afin de compenser le faible gain du transistor, tout en assurant une commutation efficace et rapide, les exigences suivantes sont essentielles pour un circuit de commande de grille du transistor SiC :

- La plupart des MOSFET SiC sont plus performants lorsqu'ils sont commandés avec $-5\text{ V} > V_{GS} > 20\text{ V}$. Le circuit de commande de grille doit pouvoir supporter $V_{DD} = 25\text{ V}$ et $V_{EE} = -10\text{ V}$ pour couvrir la plus large gamme de transistors disponibles

- Les fronts de montée et de descente de V_{GS} doivent être très rapides (quelques ns)
- Un courant de grille crête élevé (plusieurs ampères) doit pouvoir être fourni et absorbé dans toute la région du plateau Miller
- La capacité d'absorption de courant est déterminée par la nécessité de fournir un blocage ou « clamp » à très faible impédance quand la tension V_{GS} chute en dessous du plateau de Miller. Le courant absorbé doit dépasser ce qui serait nécessaire pour seulement décharger la capacité d'entrée du MOSFET SiC. Un courant absorbé crête minimum de l'ordre de 10 A semble approprié pour couvrir les topologies de puissance en demi-pont
- Le niveau de verrouillage en cas de tension d'alimentation V_{DD} insuffisante (UVLO) doit être adapté à la condition $V_{GS} > \sim 16$ V pour une bonne mise en conduction
- La surveillance de tension d'alimentation V_{EE} insuffisante (UVLO) doit garantir que le rail de tension négatif soit dans une plage acceptable
- Une fonction de désaturation doit être capable de détecter, signaler les défauts, et assurer le fonctionnement fiable à long terme du MOSFET SiC
- L'inductance parasite doit être faible pour permettre une commutation rapide
- Le boîtier de commande de grille doit être compact, pour pouvoir être installé aussi près que possible du MOSFET SiC

Solution de pilotage de grille

Le NCP51705 d'**onsemi** est un CI de commande de grille SiC offrant une grande souplesse de conception et un haut niveau d'intégration, et il est compatible avec quasiment tous les MOSFET SiC du marché. Le NCP51705 comprend de nombreuses fonctions communes aux CI de commande de grille à usage général, notamment :

- Tension d'alimentation positive V_{DD} jusqu'à 28 V
- Courant crête élevé 6 A en mode charge et 10 A en mode décharge

- Tension de référence interne 5 V accessible pour polarisation de charges 5 V de faible puissance (isolateur numérique, optocoupleur, microcontrôleur, etc.) et jusqu'à 20 mA maximum
- Connexions de masse séparées pour la sortie vers la grille et l'entrée de commande
- Broches de sortie pour la charge et la décharge séparées
- Protection par coupure thermique interne
- Entrées TTL et PWM séparées, non-inverseuses et inverseuses

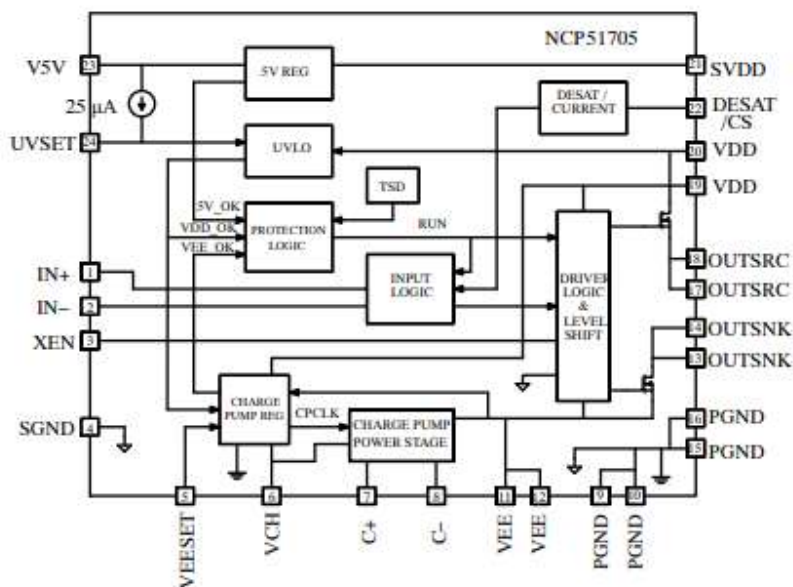


Figure 4 : Schéma de principe du driver de grille SiC, NCP51705

Cependant, ce circuit intégré comprend plusieurs caractéristiques uniques qui permettent de concevoir un circuit de commande de grille de MOSFET SiC fiable, avec un minimum de composants externes. Il s'agit notamment de :

- DESAT
- Pompe de charge (pour établir le rail de tension négative)
- Fonction UVLO programmable
- Synchronisation numérique et signalement d'erreurs

- Un boîtier MLP 24 broches, 4 × 4 mm, avec des performances thermiques améliorées, pour une intégration facile sur la carte

Conclusion

Le faible gain des transistor MOSFET SiC pose un problème aux concepteurs pour la sélection d'un CI de commande de grille. Les circuits intégrés de commande de grille « low-side » ou non-isolé à usage général ne permettent pas de piloter un MOSFET SiC de manière efficace et fiable. Le NCP51705 dispose de plusieurs caractéristiques qui offrent aux concepteurs une solution simple, performante et rapide, pour piloter des MOSFET SiC de manière efficace et fiable.

www.onsemi.com