

Fausses idées sur le GaN

*Par Jason McDonald, Directeur Marketing Technique,
Produits GaN chez ON Semiconductor*

Quand une nouvelle technologie MOSFET voit le jour, les clients s'attendent à brancher les nouveaux dispositifs et à constater immédiatement un meilleur rendement. Beaucoup ont la même approche s'agissant du GaN pour remplacer un MOSFET dans un design existant, et ont pu être déçus par les performances obtenues. Pour vraiment tirer profit des avantages du GaN, la conception du système doit typiquement évoluer. Le GaN est destiné aux designs à forte densité de puissance, qui nécessitent de revoir la conception de certains autres composants passifs, comme le transformateur ou les condensateurs de sortie. Pour réduire la taille du transformateur, la fréquence de commutation doit être augmentée. Si l'on utilise des transistors MOSFET classiques à Q_g (charge de grille) élevée dans un circuit haute-fréquence, le rendement chute. Si l'on utilise du GaN qui présente une valeur Q_g inférieure dans le même circuit, on peut éviter la chute du rendement. Le GaN ne doit pas être envisagé comme un remplaçant pur et simple de la technologie MOSFET existante, mais comme un outil permettant d'obtenir des conceptions plus denses, avec des rendements plus élevés.

Vous avez entendu parler des performances bluffantes des transistors GaN, et vous êtes enthousiaste. Vos échantillons arrivent enfin, et vous les installez sur votre carte. Vous mettez sous tension, vous connectez la charge, et vous ne constatez... aucune amélioration des performances. Pire encore, vous avez des problèmes de commutation que vous n'aviez pas auparavant. Ces transistors ne sont bons à rien. Quelle arnaque ! A quoi rime donc tout ce buzz ? Se peut-il que vous ayez raté quelque chose ?

Depuis plus de deux décennies, les MOSFET de puissance silicium sont de loin les commutateurs les plus utilisés dans les alimentations à découpage. Dans ce type d'applications, les vitesses de commutation élevées et de faibles pertes quand la fréquence augmente, ne pouvaient être obtenues avec la technologie précédente à transistors bipolaires. Avec le temps, les MOSFET de puissance se sont améliorés, pour se rapprocher des performances d'un commutateur idéal. Cependant, certaines caractéristiques gênantes inhérentes à ces transistors doivent être bien appréhendées, pour que l'application finale puisse en tirer tous les avantages. Au fur et à mesure de l'augmentation des vitesses de commutation des MOSFET de puissance grâce aux progrès de la technologie silicium, les concepteurs de circuit ont dû prendre davantage en compte le positionnement des composants et l'implantation du circuit imprimé, afin d'améliorer le rendement tout en gérant les éléments parasites, pour garder le bruit et les interférences sous contrôle.

Les transistors GaN constituent la prochaine étape sur la route du commutateur idéal, et ils constituent à maints égards une avancée majeure au niveau performances, plutôt qu'une amélioration mineure de plus. Les défis traditionnels posés par le positionnement des composants et le contrôle des éléments parasites obéissent aux mêmes principes qu'auparavant mais sont désormais bien plus prononcés. Les spécifications de base pour l'implantation des cartes se sont durcies, et nécessitent désormais des conceptions plus pointues au niveau pilotage et boucle de puissance, qu'à l'époque des anciens MOSFET de puissance, moins rapides. À cet égard, les utilisateurs qui se contentent d'utiliser un transistor de puissance GaN dans un circuit conçu pour des MOSFET silicium sont souvent déçus de

rencontrer des problèmes, ou au minimum de ne pas observer le gain de performances qu'ils espéraient. Pour tirer pleinement profit de l'implantation d'un transistor GaN, il faut absolument construire le système autour de celui-ci, plutôt que de traiter le commutateur système après coup. Ceci suppose que le concepteur choisisse une topologie de circuit, et une méthodologie de commande, qui tirent profit des avantages du transistor GaN.

Certaines des grandes différences entre les transistors de puissance GaN et les MOSFET de puissance silicium sont présentées dans le Tableau I, dans lequel un dispositif GaN première génération est comparé à un MOSFET silicium de génération récente.

Tableau I

Transistor 600 V	Résistance à l'état passant (mΩ)	Charge de grille - Q_g (nC)	Capacité de sortie - C_o (tr) - (nF)	Charge de sortie - Q_{oss} (nC)	Charge de récupération inverse - Q_{rr} (nC)
Cascode GaN Gén. 1	180	18	116	47	38
MOSFET silicium dernier cri	195	23	321	131	5800

Comme on le voit dans le tableau, le dispositif GaN présente une charge de grille beaucoup plus faible, et une charge de récupération inverse largement plus basse. En plus de cela, la courbe de capacité de sortie en fonction de la tension drain-source est plus plate, ce qui se traduit par une charge de capacité de sortie supérieure par rapport à celle du dispositif silicium. Ces différences aboutissent à des comportements différents du dispositif GaN. Une charge de grille inférieure signifie que le même CI de pilotage peut être utilisé avec des pertes inférieures. Mais cela offre-t'il vraiment un avantage majeur ? Plutôt que de placer le transistor en situation, le mieux est d'examiner les avantages système que permettent le GaN. Avec des pertes de pilotage inférieures, la fréquence de commutation peut être augmentée sans accroître les pertes dues au pilotage lui-même. L'augmentation de la fréquence de commutation permet d'utiliser des composants magnétiques plus petits dans le circuit. Selon le type de circuits et les besoins du système, cela peut aussi être l'occasion de réduire la taille du condensateur. Ces modifications permettent un gain de place et donc une densité de puissance supérieure.

$$P_{drive} = Q_g * V_{gs} * f_{sw}$$

(où : Q_g = charge de grille, V_{gs} = tension grille-source, F_{sw} = fréquence de commutation)

D'autres aspects sont à prendre en compte pour garantir que l'augmentation de densité de puissance est viable. Pendant chaque cycle de commutation, de l'énergie est stockée dans la capacité de sortie du transistor, qui doit ensuite être éliminée pour que le dispositif fonctionne avec une faible résistance, une fois à l'état passant. Si le circuit de commutation fonctionne de telle sorte que l'énergie est recyclée, il n'y a aucun inconvénient à augmenter la fréquence de commutation. A part cela, il faut bien comprendre les pertes de commutation en sortie du transistor, qui sont elles aussi proportionnelles à la fréquence.

Avec la miniaturisation des systèmes, les chemins de conduction thermique doivent être analysés pour assurer une bonne dispersion thermique, et maintenir la température du système et des différents composants sous les valeurs maximum autorisées en cours de fonctionnement. Avec la même dispersion thermique, et une densité de puissance supérieure,

la résistance thermique du système doit rester constante pour maintenir la température opérationnelle des composants au même niveau qu'avec une densité de puissance inférieure. Obtenir la même résistance thermique dans un système de moindre volume peut nécessiter une conception différente ou l'utilisation de matériaux présentant une meilleure conduction thermique.

Une autre idée fausse à propos des transistors GaN vient des MOSFET de puissance. Quand les premiers MOSFET de puissance sont apparus sur le marché, ils avaient une capacité d'énergie très limitée lorsqu'une surtension forçait un courant important dans le dispositif à l'état bloqué. Il a fallu de nombreuses années pour améliorer ces dispositifs et leur permettre de survivre à des surtensions. Néanmoins, les concepteurs ont continué d'utiliser des MOSFET de puissance à cause de leurs autres avantages au niveau performances système. Le même type de situation se présente aujourd'hui avec les transistors de puissance GaN de première génération. Il ne faut pas compter sur eux pour shunter une excursion à haute énergie du système. En fait, même avec les MOSFET de puissance silicium, on pense trop souvent que l'énergie d'avalanche mentionnée sur la fiche technique offre une protection suffisante une fois le dispositif installé dans le circuit. Ceci a pu donner à certains clients un faux sentiment de sécurité. En pratique, le plus souvent l'énergie d'avalanche nominale ne reflète pas la capacité du dispositif en conditions d'utilisation réelle. Parallèlement, avec des transistors GaN, il faut faire attention à limiter l'exposition aux pics de tension et autres événements susceptibles de submerger d'énergie le système et de provoquer des excursions jusqu'à des tensions élevées. Toutefois, à cet égard, les transistors GaN d'aujourd'hui ont un avantage par rapport aux MOSFET silicium. La tension de claquage réelle est bien au-dessus de la tension stabilisée nominale, ce qui signifie que les tensions transitoires peuvent monter beaucoup plus haut sans que le dispositif ne soit endommagé. Une bonne conception doit non seulement comprendre des supprimeurs de transitoires dans le système, mais aussi tenir compte de l'énergie nécessaire pour élever la tension drain-source du transistor GaN, en considérant la capacité du système par rapport à la masse.

L'un des principaux avantages des transistors GaN est leur vitesse de commutation. Cependant, sans considérer les aspects système pour profiter de ce rendement, les avantages du GaN ne peuvent se matérialiser. Grâce aux transitions très rapides permises par les transistors GaN, les concepteurs système peuvent augmenter sensiblement les fréquences de commutation. Si les inductances parasites ont toujours eu une incidence sur les circuits de commutation, elles deviennent de plus en plus déterminantes avec des fronts plus abrupts et des fréquences de commutation plus élevées. Des fronts plus abrupts contiennent davantage d'harmoniques haute-fréquence, qui augmentent le risque de propagation d'e parasites EMI (Electro Magnetic Interference, ou parasite électromagnétique) par conduction ou par rayonnement. Des filtres anti-parasites EMI de conduction doivent être installés et ajustés en fonction du transistor de puissance et du circuit environnant, plutôt que de compter sur une conception toute faite en étant convaincu à tort qu'elle est adéquate. Pour atténuer les parasites EMI de rayonnement, les noeuds de commutation doivent être aussi courts et aussi larges que possible.

Si les inductances parasites présentes au sein des boîtiers des transistors à commutation rapide ont été identifiées comme affectant de manière significative le rendement de conversion d'énergie [1], l'implantation du circuit imprimé est toute aussi déterminante. L'inductance globale des boucles de puissance et de pilotage doit être minimisée pour bien maîtriser les performances de commutation du dispositif. Des exemples de ces inductances sont présentés en Figure 1.

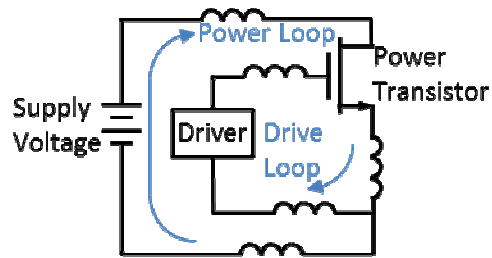


Figure 1. Représentation des inductances parasites dans les boucles de courant de puissance et de pilotage.

Avec des inductances parasites minimisées permettant des fréquences de commutation plus rapides, on peut envisager de modifier d'autres composants. Aux fréquences de commutation plus élevées, il est généralement possible de réduire la taille des noyaux magnétiques des transformateurs et des inducteurs, ce qui contribue à accroître la densité de puissance du système. Si les mêmes matériaux et les mêmes méthodes de fabrication peuvent être utilisés comme avec les versions plus grandes, les composants magnétiques coûteront moins cher. Les exigences de capacité au niveau du système peuvent également être réduites si les besoins système restent satisfaits, mais ceci est loin d'être évident. Si par exemple, il y a besoin d'un temps de maintien, une valeur de capacité minimum peut s'avérer nécessaire.

Réduire les inductances parasites à des niveaux minimum et réaliser la conception autour de cela permet d'obtenir des commutations plus rapides et mieux contrôlées. Ceci permet de tirer profit de la commutation rapide des transistors GaN au niveau du rendement de l'application finale.

Les transistors de puissance GaN promettent aux utilisateurs de pousser leurs conceptions au delà des limites du silicium. Le commutateur système n'est plus le facteur limitatif de la conversion d'énergie, et d'autres aspects du circuit doivent être pris en compte pour obtenir des systèmes plus compacts avec des rendements plus élevés. Il est important de prendre en compte l'implantation du circuit et le choix des composants pour pousser les performances système au delà des limites. Après tout, le GaN n'est pas un remplaçant pur et simple du silicium. Il s'agit d'un nouveau paradigme.

¹ Évaluation d'HEMT haute-tension Cascode GaN dans différents boîtiers, Zhengyang Liu, Xiucheng Huang, Wenli Zhang, Fred C. Lee, Qiang Li, Centre des systèmes électroniques de puissance, Département Bradley d'informatique et génie électrique et, Institut polytechnique et université d'État de Virginie, APEC 2014.