Comment choisir les meilleurs MOSFET pour les applications automobiles critiques

par Georges Tchouangue, chief engineer Discrete Marketing & Eiji Shimada, senior manager Automotive Business Unit, Toshiba Electronics Europe

Les MOSFET sont un élément essentiel des automobiles modernes. Alors que la part d'électronique dans les véhicules augmente, et que nous nous rapprochons toujours plus de véhicules sans conducteur, les systèmes électroniques jouent un rôle beaucoup plus important qu'auparavant. Dans ce contexte, les systèmes électroniques à base de MOSFET sont essentiels pour réduire les pertes système, et participent à l'amélioration de la consommation et à la réduction des émissions dans les véhicules conventionnels. Alors que l'e-mobilité gagne en popularité, améliorer le rendement est indispensable pour pouvoir offrir un plus grand nombre de kilomètres entre deux recharges, dans le cas de véhicules EV (électrique) ou HEV (hybride-électrique).

La quantité d'électronique augmente dans les véhicules modernes. Par conséquent, les MOSFET doivent offrir des densités de puissance plus élevées et des performances thermiques en hausse, pour permettre aux concepteurs d'atteindre leurs objectifs de fonctionnalité, de fiabilité et de robustesse dans un espace limité.

Dans cet article technique, nous observons l'évolution des MOSFET de puissance de classe automobile en boîtier DPAK ou D2PAK, et nous montrons comment les derniers progrès, en matière de boîtiers et de processus, répondent aux besoins des applications automobiles actuelles les plus exigeantes.

Présentation générale

Les cahiers des charges de MOSFET varient selon le type d'utilisation et l'emplacement dans le véhicule, qui définissent le niveau de robustesse et de performance thermique nécessaires. Les grands fabricants de semiconducteurs proposent en général aux concepteurs, une gamme de produits avec plusieurs options de rendement électrique et de performance thermique, selon le type de boîtier. Pour convenir aux environnements automobile difficiles, ces MOSFET doivent être qualifiés selon les normes automobiles, telles que AEC-Q101.

Etant donné qu'il existe de plus en plus de fonctions électriques dans un véhicule, le nombre de dispositifs de puissance déployés dans ce véhicule augmente proportionnellement. Les tensions à bord des véhicules augmentent, de 12V à 24V, voire 48V, ce qui accroit la demande en faveur de MOSFET 100V.

Enfin, dans les espaces de plus en plus denses qui caractérisent les véhicules modernes, les températures ambiantes sont bien plus élevées que dans les applications grand-public, informatiques ou même industrielles. Cela constitue un défi majeur pour les concepteurs de systèmes, dans la mesure où il y a moins de marge de hausse de température pour le dispositif.

Les défis : performances électrique et thermique

Les entreprises de semiconducteurs ont deux objectifs principaux pour relever ces ; électrique et thermique. Du point de vue électrique, les performances des semiconducteurs s'améliorent en permanence, en même temps que la technologie de wafer, afin de réduire les résistances et les capacités au sein du dispositif final. Ces améliorations apportent un meilleur rendement et permettent une commutation plus rapide, ce qui donne des MOSFET convenant aux applications actuelles à haute densité de puissance.

Parallèlement à cela, la technologie des boîtiers bénéficie aussi de gros efforts de développement. L'objectif de miniaturisation des ECU (Electronic Control Unit, ou unité de commande électronique) peut être atteint en utilisant des MOSFET conditionnés en boîtier sensiblement plus petit. Toute la difficulté consiste à obtenir le même niveau de performance thermique sous un volume plus petit. Les entreprises sont de plus en plus à la recherche de moyens innovants de transférer la chaleur de la jonction du semiconducteur, pour obtenir les rendements thermiques supérieurs dont ont besoin des systèmes de puissance confinés, fonctionnant à des températures ambiantes élevées.

En tant qu'entreprise développant des MOSFET de puissance pour l'automobile depuis des années, Toshiba est à la pointe de l'innovation pour les applications automobile exigeantes actuelles. L'offre de MOSFET de puissance pour l'automobile de la société comprend des dispositifs canal-N et canal-P (ces derniers sont particulièrement utiles pour la protection inverse des batteries) basés sur la technologie "trench gate" (grille-tranchée). La technologie trench de Toshiba offre la meilleure combinaison de performances de conduction et de commutation, dans la plage de tension considérée.

Innovation en technologie de boîtier

La technologie du boîtier a un énorme impact sur la fiabilité et la capacité à supporter des courants plus élevés dans le cadre d'applications automobiles haute-puissance. Dans des boîtiers de MOSFET de puissance traditionnels, les liaisons à fil entre la puce et le "lead-frame" (grille de connexion) limitent la capacité de passage de courant, et représentent souvent un point vulnérable. Afin de répondre à ces limitations, Toshiba a développé une nouvelle technologie de liaison.

Toshiba est unique parmi les fournisseurs de MOSFET de puissance pour l'automobile, car il utilise des connecteurs (des clips cuivre) dans les boîtiers grande-puissance, comme les DPAK et les D2PAK. Les autres fournisseurs continuent d'utiliser des liaisons classiques en fil d'aluminium. Toshiba a lancé un boîtier TO-220SM(W) à connecteur cuivre dès 2008, il s'agissait du premier boîtier de puissance CMS 10 x 13 mm Toshiba pour l'automobile. Toshiba a introduit les connecteurs cuivre pour boîtiers automobile DPAK (TO-252) et D2PAK (TO-263) sur le marché en 2011 et 2015, en les dénommant DPAK+ et D2PAK+ pour les distinguer de leurs cousins à liaisons à fils.

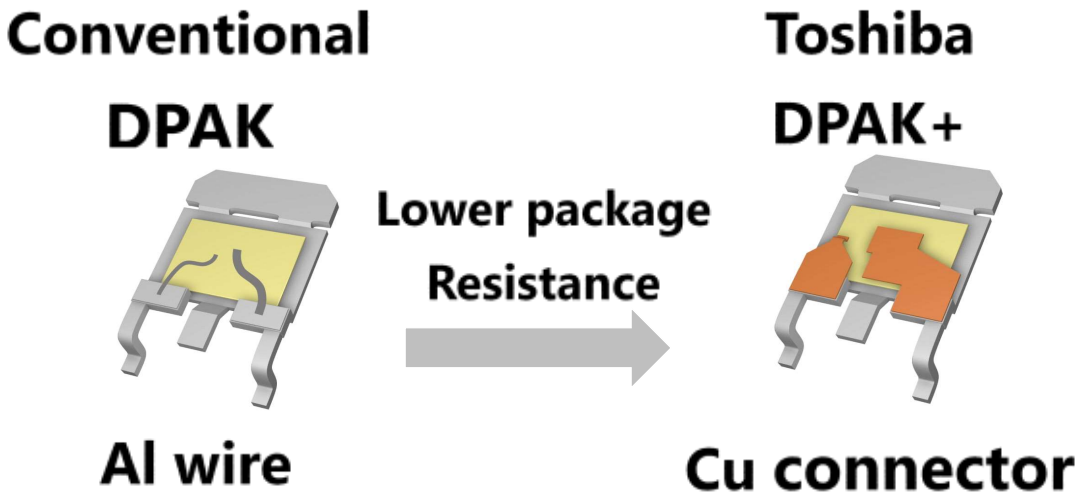


Figure 1 : Les boîtiers évolués Toshiba DPAK+ et D2PAK+ sont dotés de connecteurs cuivre, qui contribuent à réduire la résistance du boîtier, et donc la chaleur générée.

Les connecteurs cuivre offrent plusieurs avantages, en particulier pour les applications automobile. Tout d'abord, la zone de contact entre la plage source et le connecteur cuivre source augmente sensiblement, ce qui se traduit par un courant plane moindre au niveau de la couche de métal de la plage source. La conductivité du cuivre est très supérieure à celle de l'aluminium, tant au niveau thermique qu'au niveau électrique. La conductivité thermique du cuivre est de 401 W / (m K), contre 237 W / (m K) pour l'aluminium. La résistivité électrique (à 20°C) du cuivre est de 16.8 nΩ m, contre 28.2 nΩ m pour l'aluminium. Une conductivité thermique accrue éloigne la chaleur plus rapidement du connecteur du boîtier, et la résistivité inférieure contribue à réduire sa résistance, réduisant ainsi la chaleur générée.

Afin de démontrer et de profiter des avantages de la technologie connecteurs cuivre, Toshiba a développé le TO-220SM(W). Ce boîtier CMS de puissance de 10 x 13 mm ressemble à un D2PAK (TO-263) de 10 x 15 mm. De plus près, on peut voir que le TO-220SM(W) est doté d'une broche source beaucoup plus courte et 3 fois plus large que celle d'un boîtier D2PAK normal (Figure 2).

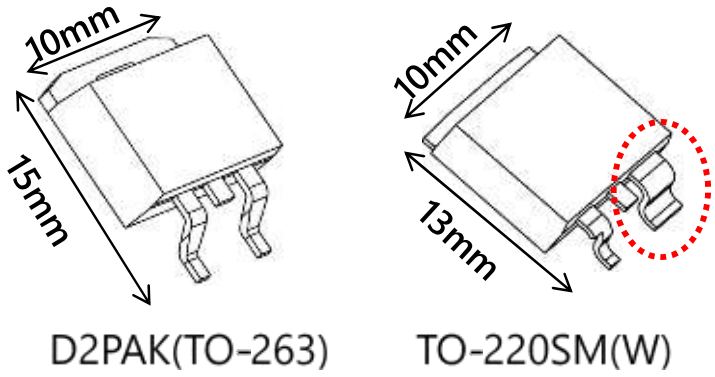


Figure 2 :



Figure 3 : Boîtier TO-220 SM (W) (10 x 13 mm)

Comparaison des résistance à l'état passant des MOSFET

Compte tenu des nouvelles dimensions de la broche source, la résistance du boîtier se trouve réduite d'environ 0.15 mΩ. Si l'on compare le MOSFET 40V, 1.35 mΩ (maxi) TK1R4F04PB en boîtier TO-220SM(W), au MOSFET 40V, 1.5 mΩ (maxi) en boîtier D2PAK+, TK1R5R04PB, l'amélioration est évidente. Alors que ces deux dispositifs sont basés sur la même puce, la résistance à l'état passant ($R_{DS(ON)}$) du TK1R4F04PB est 0.15 mΩ plus faible que celle du TK1R5R04PB. Même une petite amélioration de 0.15 mΩ reste très significative avec des valeurs $R_{DS(ON)}$ de seulement quelques milliohms. Le TK74F04PB est un MOSFET 40V en boîtier TO-220SM(W) avec une $R_{DS(ON)}$ de seulement 0.74 mΩ (maxi). Cette valeur extrêmement faible ne peut être obtenue que grâce à la combinaison des technologies Toshiba de connecteurs cuivre, de boîtier TO-220SW(W) et de production de wafer très avancée.

$R_{DS(ON)}$ est le paramètre le plus important pour de nombreuses applications, y compris l'automobile. Les systèmes à batteries 12V utilisent beaucoup de MOSFET 40V. Le DPAK est un boîtier MOSFET standard, et les utilisateurs peuvent facilement comparer les valeurs $R_{DS(ON)}$ entre fournisseurs.

Le TK1R4S04PB est un MOSFET automobile 40V 1.35 mΩ (maxi) en boîtier DPAK+. Il présente la plus faible $R_{DS(ON)}$ parmi tous les MOSFET 40V en boîtier DPAK du marché, selon une étude Toshiba de décembre 2016. La seconde meilleure valeur est de 1.7 mΩ (maxi) chez un autre fournisseur.



Figure 4 : Boîtier DPAK+ (6.5 x 9.5 mm)

Compte tenu de la croissance attendue sur les systèmes à batterie 48V, les MOSFET 100V sont de plus en plus importants pour les concepteurs. Le TK55S10N1 est un MOSFET 100V 6.5 mΩ (maxi) en boîtier DPAK+ proposé par Toshiba. Selon une étude Toshiba (Décembre 2016), il s'agit de la plus faible valeur $R_{DS(ON)}$ du marché des MOSFET 100V en boîtier DPAK pour l'automobile. Toshiba prévoit de lancer un MOSFET 100V 6.1 mΩ (max) en boîtier DPAK+ en 2017.

Fonctionnement parallèle

Dans un système à batterie 48V typique, la puissance moteur est généralement comprise entre 1 et 10 kW. Pour pouvoir piloter un moteur de 5 kW, des MOSFET doivent en général être mis en parallèle pour obtenir les courants élevés nécessaires. Bien qu'il n'ait rien de nouveau, le fonctionnement de MOSFET en parallèle exige une conception rigoureuse, notamment en ce qui concerne les éventuels déphasages entre MOSFET parallèles lors de la commutation. De gros décalages de synchronisation conduisent à des déséquilibres de pertes de commutation importants, qui sont préjudiciables. Si un MOSFET s'allume plus tôt, ou s'éteint plus tard, que les autres en parallèle, les pertes de commutation se concentrent sur ce MOSFET en particulier. Pour éviter ce problème, Toshiba a lancé son TK160F10N1L - un nouveau MOSFET de puissance 100V 160A, offrant une tension de seuil (V_{th}) plus serrée que celle des dispositifs précédents. Avec une tension V_{th} entre 2.5V (mini) et 3.5V (maxi), à comparer aux 2V (mini) et 4V (maxi) de son prédécesseur, le TK160F10N1L est parfait pour les applications de commutation de puissance automobile utilisant plusieurs MOSFET en parallèle,

puisque la valeur V_{th} plus serrée assure une meilleure répartition des pertes de commutation entre les différents MOSFET.

Bruit de commutation

Quand il s'agit de commutation, l'EMI (Electro Magnetic Interference, ou parasite électromagnétique) est une autre sujet important. Ci-dessous, on peut observer deux signaux de MOSFET Toshiba lors de la coupure, qui montrent que le temps de "ringing" (mini-oscillations parasites) du TK100S04N1L, qui fait appel au processus semiconducteur Toshiba UMOS8, est égal à la moitié de celui du TK80S04K3L, issu d'un processus UMOS4 plus ancien. Les meilleures caractéristiques dynamiques d'UMOS8 se traduisent par un niveau d'émission de bruit bien moindre.

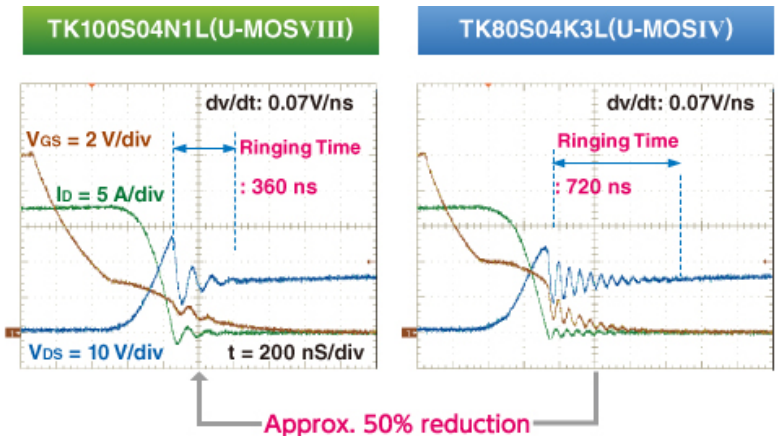


Figure 5 : Le Toshiba TK100S04N1L présente un temps de ringing beaucoup plus court

Utilisation de MOSFET canal-P

Toshiba dispose d'un vaste catalogue de MOSFET canal P, qui sont souvent utilisés pour la protection inverse de batterie, ou comme commutateur côté haut dans des circuits demi-pont, pont en H, ou pont B6. Comme aucune pompe de charge potentiellement source de bruit n'est nécessaire pour piloter un MOSFET canal P, le circuit de commande de grillé est simple et offre un relativement bon rapport performances/coût.

Résumé

Les MOSFET sont des composants critiques dans la conception automobile moderne, puisqu'ils jouent un rôle déterminant dans la plupart des fonctions électriques des véhicules modernes. Au fur et à mesure que leur importance augmente, les attentes des concepteurs, qui se trouvent confrontés à des exigences automobile toujours plus sévères, augmentent aussi.

Heureusement, les récentes innovations réalisées par Toshiba, y compris un nouveau concept de clip cuivre, et certaines améliorations au niveau wafer, qui permettent d'obtenir les meilleures valeurs $R_{DS(ON)}$ du marché, apportent aux concepteurs les performances supérieures dont ils ont besoin.

- F I N -