

Les condensateurs de puissance se renforcent pour cohabiter avec les semiconducteurs à bande interdite large

par Reggie Phillips, Responsable Gamme de Produits, KEMET

Les MOSFET, les diodes de redressement et les IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor, ou transistor bipolaire à grille isolée) de puissance à haut rendement, sont indispensables pour répondre aux contraintes de puissance, de température et de coût, imposées dans le domaine de la conversion d'énergie. Alors que la demande de rendement supérieur passe avant tout, et que le coût de l'énergie continue d'augmenter, des technologies comme que le carbure de silicium (SiC) et le nitrure de gallium (GaN), auparavant considérées comme exotiques et coûteuses, sont devenues plus rentables. En outre, avec le développement des marchés, les économies d'échelle continuent de rendre les transistors et les diodes SiC et GaN plus attractifs sur un plan économique.

Etant donné que ces dispositifs sont de plus en plus souvent présents dans les circuits de puissance, en particulier dans l'électroménager et les commandes moteur de VE (véhicule électrique), les inverseurs d'injection au réseau électrique et les alimentations de centres de données, les concepteurs doivent tenir compte de leurs effets sur les autres éléments du circuit, notamment sur les composants passifs comme les condensateurs, et considérer la manière dont ils doivent être conçus pour optimiser les gains de rendement et assurer la fiabilité.

Semiconducteurs de puissance haut-rendement

Il existe plusieurs mécanismes permettant aux semiconducteurs de puissance tels que les diodes et les MOSFET de contribuer de manière significative aux économies d'énergie. Les diodes SiC offrent un temps de récupération inverse beaucoup plus court que leurs homologues classiques au silicium, ce qui permet une commutation plus rapide. En outre, la charge de récupération inverse est beaucoup plus faible, ce qui diminue les pertes de commutation. Les MOSFET SiC, pour leur part, ne présentent pas le courant de trainée qui caractérise le comportement à la coupure des IGBT silicium conventionnels, et ils peuvent ainsi réduire les pertes à la coupure jusqu'à 90%, tout en autorisant une fréquence de commutation supérieure, qui réduit la dépendance vis-à-vis de la capacité externe pour le lissage. De plus, la bande interdite large du SiC permet aux transistors haute-tension de faire appel à un canal extrêmement étroit, ce qui se traduit par une faible $R_{DS(ON)}$ par unité de surface, qui permet ainsi aux dispositifs SiC en boîtier de puissance standard de présenter des pertes de conduction inférieures à celles d'un dispositif silicium comparable dans le même type de boîtier.

La combinaison de faibles pertes de commutation et de conduction, et d'une tension de claquage élevée, permet de concevoir des circuits haute-tension à haut rendement, avec de faibles courants de distribution et de faibles pertes RI^2 associées. Ceci est de plus en plus important pour certains circuits comme les alimentations de centres de données, car les serveurs ont besoin de davantage

de puissance pour gérer des charges de calcul croissantes, du fait de l'augmentation du nombre d'abonnés, de la demande des consommateurs pour des services de "streaming" (lecture de contenus multimédia stockés à distance), de notre dépendance croissante vis-à-vis de l'analytique et du stockage Cloud, et de la montée en puissance de l'IoT (Internet of Things, ou internet des objets).

Effets de la conception sur les autres composantes

Etant donné que les dispositifs à bande interdite large permettent une tension de fonctionnement et des fréquences de commutation plus élevées, des condensateurs externes de valeurs plus faibles suffisent pour filtrer et lisser la tension et les ondulations de courant. D'un autre côté, des fréquences de fonctionnement élevées exigent une attention particulière lors de l'implantation du circuit, afin de minimiser les effets indésirables comme les inductances parasites au niveau des pistes du circuit imprimé ou des câbles.

En ce qui concerne les contraintes imposées aux condensateurs, si les valeurs de capacité requises peuvent être inférieures, des tensions nominales élevées ainsi que des boîtiers de petite taille sont nécessaires, car les circuits de puissance sont souvent soumis à des contraintes de taille extrêmes. Par exemple, les concepteurs de serveurs Cloud veulent disposer du maximum de place sur les cartes pour les processeurs et les FPGA chargés des calculs, tandis que les concepteurs de VE veulent de petits inverseurs pour faciliter le design global du véhicule.

Concevoir en utilisant des semiconducteurs à bande interdite large exige aussi des composants capables de fonctionner à des températures ambiantes plus élevées. Les dispositifs SiC ou GaN peuvent fonctionner à des températures plus élevées que leurs homologues silicium conventionnels, avec une fiabilité équivalente. Les semiconducteurs SiC sur le marché aujourd'hui sont capables de fonctionner à plus de 200°C, sous des tensions comprises entre 400V et 3500V. Les concepteurs système peuvent en tirer parti pour simplifier la gestion thermique et donc réduire les coûts et l'encombrement global : un dissipateur thermique plus petit et moins coûteux peut permettre à un fabricant d'appareils ménagers de réaliser des économies importantes ; les opérateurs de centres de données peuvent profiter de coûts de climatisation moins élevés pour leurs salles de serveurs ; ou un système de refroidissement d'inverseur de VE plus petit peut permettre de réduire le poids et le coût du véhicule.

Étant donné que les fréquences de commutation plus élevées généralement utilisées avec les dispositifs à bande interdite large imposent des conducteurs plus courts pour minimiser les inductances parasites, certains composants comme les condensateurs seront plutôt implantés plus près des semiconducteurs de puissance dégageant de la chaleur. Par conséquent, il faut non seulement augmenter la température nominale des condensateurs, mais aussi disposer d'une meilleure stabilité en température pour garantir une capacité adéquate à la température de fonctionnement typique en régime permanent. L'inductance série équivalente (ESL) et la résistance série équivalente (ESR) doivent également être très faibles pour minimiser l'échauffement et les tensions induites par la haute-fréquence.

Améliorations apportés à la conception des condensateurs

La demande pour des condensateurs capables de fonctionner jusqu'à 200°C était jusqu'ici limitée à certains marchés spécialisés comme la défense ou les têtes de forage. Différentes technologies de condensateurs sont utilisées, comme celle au tantale avec électrolyte à l'acide sulfurique liquide. Ces produits ne conviennent pas à une utilisation générale dans des équipements grand-public. Bien que des condensateurs tantale à électrolyte solide plus sûrs aient été développés en boîtiers CMS (pour montage en surface) utilisables jusqu'à 200°C, leurs tensions nominales sont en général comprises entre 10V et 35V, et leurs boîtiers sont au format 7343, ce qui les destine plutôt à servir de condensateurs de stockage.

Les condensateurs MLCC (Multi Layer Ceramic Capacitor, ou condensateur céramique multicouches) ont été développés pour les applications de tête de forage, avec des électrodes internes en métaux précieux capables de supporter des températures nominales de 260° ou plus. Toutefois, d'un point de vue coût, la technologie à métaux précieux n'est pas viable dans le cas d'applications grand-public ou gros volume.

KEMET a mis au point des MLCC utilisables jusqu'à 200°C, à diélectrique C0G et électrodes BME (Base Metal Electrode, ou électrode en métal de base) nickel, offrant une alternative économique avec une tension nominale de 200V, ainsi que des versions 500V et 2000V, pour répondre aux besoins du marché des têtes de puits de forage. Ces dispositifs bénéficient d'un faible courant de fuite, d'un faible facteur de dissipation, de valeurs ESR et ESL très faibles, et d'une durée de vie relativement longue à des températures allant jusqu'à 300°C. De plus, il a été démontré que leur capacitance effective varie très peu avec la température et la tension appliquée, ce qui a permis de garantir aux concepteurs une capacité stable et une fiabilité élevée, à des températures d'utilisation élevées et soutenues.

La Figure 1 montre la comparaison entre un condensateur BME nickel de 33 nF à diélectrique C0G en boîtier CMS 2824, et un condensateur radial à électrodes en métal précieux de 10 nF 500V continu à diélectrique X7R, en fonction de la température, avec une polarisation de 500V continu appliquée en permanence. Lorsque la tension est appliquée, la capacité du condensateur X7R chute de 25% par rapport à sa valeur nominale. A 200°C, sa capacité a diminué de plus de 50% par rapport à sa valeur nominale. En revanche, le condensateur céramique multicouches BME C0G affiche une variation de capacité minimale sur toute la plage de température.

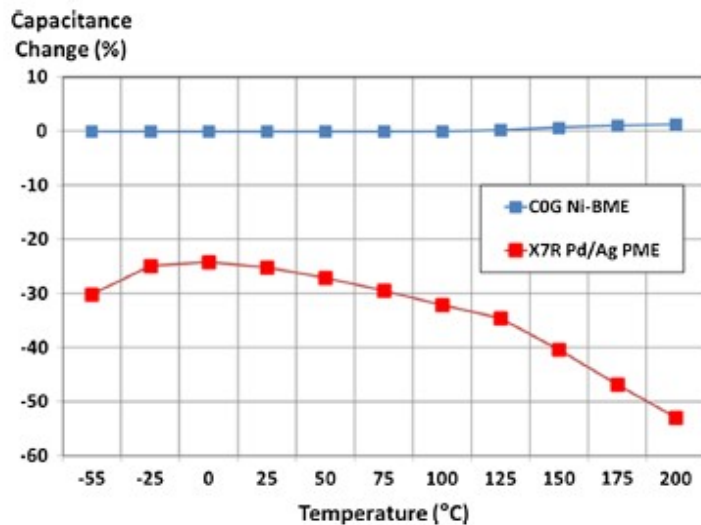


Figure 1. Le MLCC (condensateur céramique multicouches) C0G BME affiche une très bonne stabilité de capacité en température sous 500V continu

En plus de supporter les températures élevées et d'offrir une capacité stable, les MLCC BME peuvent aussi être conçus de telle sorte à minimiser les pertes de capacité et les défaillances provoquées par la fissuration des couches en cas de flexion de la carte électronique. Pour les applications où les coefficients de dilatation thermique du condensateur et du circuit imprimé sont très différents, les condensateurs traversants ou empilés peuvent tolérer des contraintes mécaniques ou de flexion plus importantes.

Procédé TLPS (Transient Liquid Phase Sintering, ou frittage en phase liquide transitoire)

Dans le cas du procédé TLPS, un alliage à point de fusion bas réagit avec un alliage à point de fusion plus élevé, pour former une liaison métallique entre deux surfaces. KEMET utilise deux procédés TLPS pour l'assemblage des condensateurs haute température utilisant sa technologie KONNEKT. L'un de ces procédés TLPS utilise un alliage cuivre-étain (CuSn), porté à une température de frittage de 300°C pendant 30 secondes, et permet de relier des fils radiaux ou axiaux à des MLCC prêts à les recevoir. Par rapport aux condensateurs assemblés à l'aide de fils soudés ou brasés classiques, les interconnexions TLPS CuSn montrent une résistance au cisaillement élevée à la température de surmoulage de 275°C, alors que les joints soudés ou brasés montrent une résistance au cisaillement minime. Un autre procédé à base d'alliage indium-argent (InAg) a également été développé, qui améliore l'immunité à la fragilisation des composants de grande taille, comme les empilages de MLCC.

La technologie KONNEKT de KEMET permet d'obtenir une densité de puissance élevée en combinant plusieurs composants dans un même boîtier CMS, et s'avère intéressante pour un nombre croissant d'applications nécessitant une densité de puissance élevée sous un format réduit.

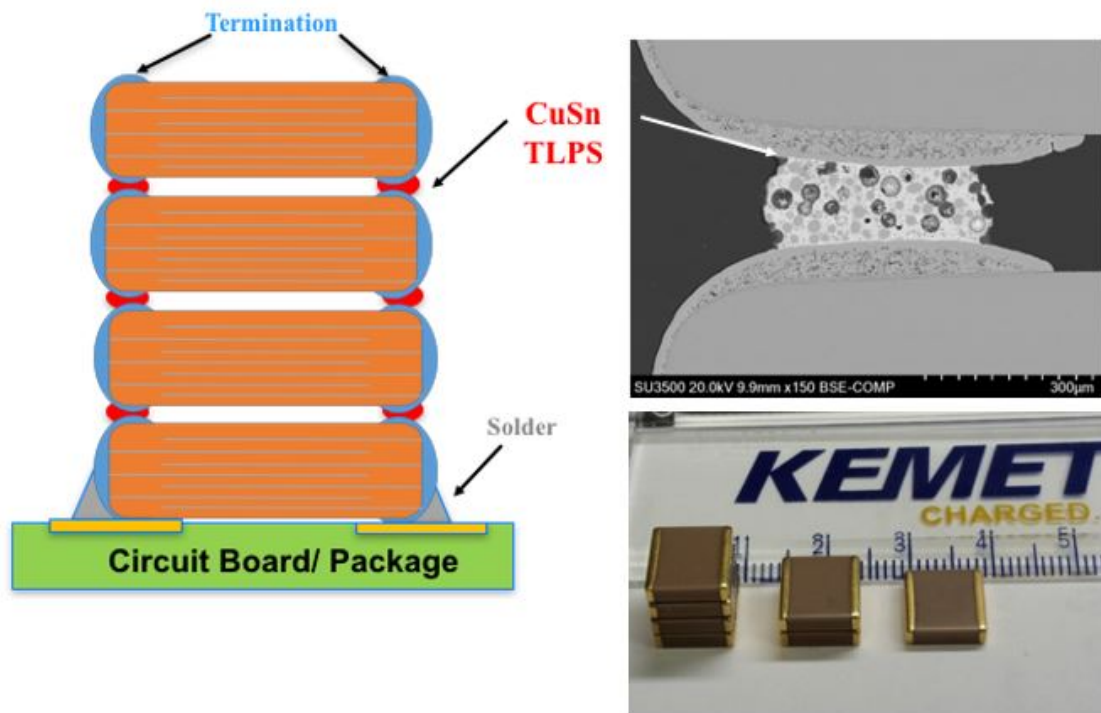


Figure 2 : empilage KEMET sans fils en technologie KONNEKT

Conclusion

Les transistors et diodes de puissance à bande interdite large seront de plus en plus utilisés, pour augmenter le rendement de conversion d'énergie, réduire la taille des circuits, et simplifier la gestion thermique. Concevoir un circuit utilisant de tels dispositifs nécessite une réévaluation de certains des composants externes associés, comme les condensateurs. Ceux-ci doivent supporter des fréquences de commutation, des tensions de fonctionnement et des températures plus élevées. De nouvelles familles de MLCC répondent aux attentes des concepteurs, en tirant parti de la technologie TLPS récemment mise au point pour permettre à des boîtiers traversants de résister aux températures de surmoulage élevées et de fonctionner en permanence jusqu'à 200°C.