Essai d'isolation et de décharge partielle des convertisseurs DC-DC pour circuits de commande.

Paul Lee, Directeur du développement des activités, Murata Power Solutions, Royaume-Uni

Pour garantir leur fiabilité durable, les convertisseurs DC-DC conçus pour alimenter les "high side" des circuits de commande doivent présenter des performances d'isolation et de décharge partielle. Nous donnons ici le détail des résultats d'essais comparatifs réalisés sur différents types d'isolation.

Les convertisseurs DC-DC sont souvent utilisés pour alimenter les circuits de commande à IGBT ou MOSFET dans les applications "high side" où la barrière du convertisseur connaît une forte tension continuellement commutée. Voir figure 1. Pour les IGBT, la tension des systèmes de faible à moyenne puissance peut dépasser 1 kV à 10 kHz, avec des vitesses de montée (dV/dt) d'environ 30 kV/µs. Pour les MOSFET, qu'ils soient en silicium ou en carbure de silicium, les fréquences peuvent excéder 100 kHz avec des vitesses de montée dV/dt avoisinant les 80 kV/µs. Si les convertisseurs DC-DC généraux peuvent subir un essai de claquage à tension élevée, il n'est pas certain qu'ils puissent supporter ces valeurs en continu. La tension étant commutée à haute fréquence, un courant de déplacement indésirable est poussé à travers la capacité de la barrière DC-DC, risquant de provoquer des interférences électromagnétiques et, dans le pire des cas, une défaillance à plus ou moins long terme du matériau constituant la barrière. Les convertisseurs DC-DC destinés aux commandes high side doivent donc être spécifiquement étudiés et qualifiés pour l'application envisagée.

Il existe diverses méthodes pour réaliser l'isolation d'un transformateur DC-DC conciliant les critères de dimensions, de coût et de complexité. Si la couche d'air peut donner l'assurance d'une isolation efficace, la distance requise, même dans le cas de faibles tensions de travail, peut ne pas s'avérer très pratique. Elle peut donc être remplacée par une matière solide ou plusieurs couches d'un matériau plus mince. Si la barrière doit présenter une protection normalisée, il faudra se référer à la norme en question pour le type de matériau et les épaisseurs à respecter en fonction des différents niveaux d'isolation, de la tension de travail, des catégories de surtension, du degré de pollution et de l'altitude.

Murata a récemment sorti pour ces applications des convertisseurs DC-DC avec des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite définies et a soumis leurs performances d'isolement à un programme d'essais de résistance dans des circuits-type en conditions contrôlées. Comme on trouve parmi les applications-types un inverseur 10-100 kW, Murata a choisi de faire équipe avec le département Électronique de puissance de

l'université de Nottingham, au Royaume-Uni, afin qu'il teste les convertisseurs DC-DC sur ses bancs d'essai, normalement utilisés pour la recherche sur les circuits haute puissance de toute dernière technologie.

Les alimentations, tensions de la liaison DC et fréquences d'essai ont été choisies avec des vitesses de montée optimisées pour les dispositifs utilisés. Un convertisseur DC-DC a été sélectionné dans la gamme Murata pour alimenter le circuit de commande, et l'intégrité de sa barrière a été inspectée pendant et après des tests de longue durée par radiotomographie 3D. La Figure 2 montre un résumé des conditions d'essai. Aucune défaillance n'a été constatée, et les essais de longue durée se poursuivent.

Même si les composants DC-DC ont résisté à des milliers d'heures de test en conditions extrêmes, la possibilité persiste d'une dégradation très lente de la barrière d'isolation pouvant se manifester sur une période plus longue. Pour les applications à forte valeur ajoutée, l'utilisateur est en droit d'escompter un fonctionnement fiable pendant plus de dix ans, et il faut donc lui prouver que cela est possible d'une façon ou d'une autre.

Le principal facteur de dégradation lente de la barrière isolante est la "décharge partielle", c'est-à-dire la rupture de micro vides dans l'isolant. Les décharges occasionnelles n'ont que peu d'incidence à long terme, mais les décharges continuelles, même si elles sont de l'ordre du pico coulomb, peuvent conduire à une carbonisation du matériau isolant ; les vides créent des courts-circuits qui réduisent progressivement l'épaisseur de l'isolant jusqu'au claquage. La décharge partielle se produit uniquement en cas d'application d'une tension élevée avec des valeurs d'ionisation et d'extinction spécifiques qui dépendent de la taille du vide et de la pression de l'air dans ce vide d'après l'équation non linéaire de Paschen (courbe A de la figure 3).

Pour un isolant-type spécifié de 0,4 mm et une tension d'ionisation minimum de 4 kVDC, par exemple, pour une fiabilité à long terme, la contrainte de tension est de 10 kV/mm, comme le montre la courbe B de la figure 3. Le point d'intersection des courbes A et B correspond à la taille limite du vide à laquelle la décharge peut se produire, les vides de plus de 200 µm provoquant un claquage. Il est relativement simple de spécifier des plastiques moulés ou des couches de fibre de verre dans les circuits imprimés de transformateurs planaires de façon à obtenir des vides de moins de 200 µm. Cependant, un isolant multicouche est généralement beaucoup moins épais, les organismes de sécurité autorisant généralement comme équivalent à un solide de 0,4 mm trois couches de film pour une épaisseur de 150 µm. Le matériau a alors une contrainte de tension d'environ 27 kV/mm, représentée par la courbe C qui croise la courbe de Paschen à environ 15 µm. Des vides entre couches de cette dimension, voire d'une dimension supérieure, sont virtuellement garantis de sorte que ce système d'isolation, s'il supporte la tension dans le cadre d'un bref essai de production sans défaillance majeure, connaîtra de multiples décharges partielles qui dégraderont lentement les zones autour du claquage.

Les essais révélant une tension d'ionisation supérieure à la tension de travail type d'un isolant sont donc de bons indicateurs de fiabilité à long terme. On utilise alors un équipement d'essai spécialisé capable d'enregistrer les minuscules impulsions de courant correspondant aux décharges en pico coulomb.

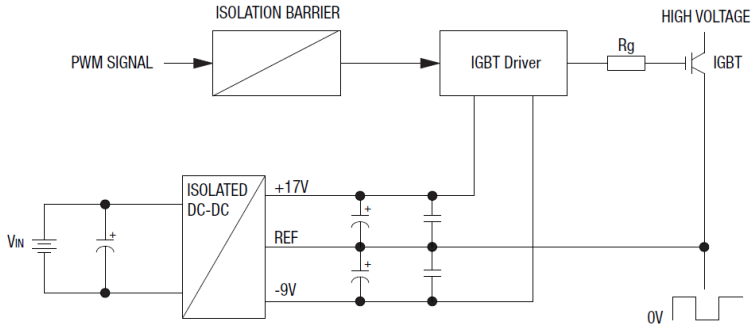
Pour illustrer les performances de différents isolants en présence de décharges partielles, nous avons mesuré les tensions d'ionisation de différents convertisseurs DC-DC Murata utilisant des isolants dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Série MGJ2, lignes de fuite/distances dans l'air 2mm dans une encapsulation degré de pollution 1, classé "200 VAC de base", tension fonctionnelle1,5kV, rigidité diélectrique 5,2 kVDC
- Série MGJ3, solide 4mm, classé "250 VAC renforcée", tension fonctionnelle3kV, rigidité diélectrique 5,2 kVDC
- Série NXJ, double couche de 0,077 mm chacune, classée "200 VAC renforcée", rigidité diélectrique 4,2 kVDC
- Série NCM6, câble du commerce à triple isolation de 0,04 mm chacune, classé "250 VAC renforcée", rigidité diélectrique 5,2 kVDC
- Série NDS6, fil sur fil verni classé "fonctionnel", rigidité diélectrique 1,5 kVDC

Plusieurs unités ont été testées, et les plus mauvais résultats ont été consignés, comme illustré à la Figure 4. Les produits MGJ2 et MGJ3, conçus pour les applications "high side", donnent d'excellents résultats, avec des tensions d'ionisation de décharge partielle sensiblement supérieures aux tensions de travail "fonctionnelles". La série NXJ, de construction monolithique, donne également de bons résultats, alors que la NDS6 dont la seule isolation est le vernis du fil, présente la tension d'ionisation la plus basse, ce qui conforte l'idée que ce type de produit doit être réservé aux applications avec isolation de basse tension. Chose intéressante, et peut-être compréhensible, le NCM6 avec son fil à triple isolation du commerce, présente une tension d'ionisation relativement basse de l'ordre de 2 kV, de sorte qu'il ne peut être utilisé pour les applications à circuit de commande "High side". Le fil est donné pour une tension d'essai de 4 KVAC, de sorte qu'en deçà, il connaît sans aucun doute des décharges partielles significatives et se dégrade en partie. Cela justifie la mise en garde insérée par les fabricants de convertisseurs DC-DC comme Murata dans leurs fiches techniques selon laquelle répéter inutilement les tests de rigidité diélectrique des barrières d'isolation ne fait que provoquer leur dégradation et n'est donc pas à conseiller.

Pour résumer, c'est l'espacement physique entre le primaire et le secondaire du transformateur qui permet d'obtenir la meilleure immunité contre les décharges partielles, suivie par la barrière solide simple avec

surveillance étroite des vides. Une isolation solide surdimensionnée est intéressante parce qu'elle réduit la puissance du champ dans la masse de la matière, augmentant la taille des vides au-delà de laquelle le claquage peut survenir d'après la loi de Paschen. Superposer des couches d'isolant mince est déconseillé.



Convertisseur DC-DC	Commutateurs	Type	Fréquence de l'inverseur	Tension de la liaison DC	dV/dt	Durée de l'essai
MGJ2D121509SC	CREE-C2M1000170D	SiC	100 kHz	1600 V	>65 kV/us	>2200 heures
MGJ3	IXGH6N170A	IGBT	20 kHz	1600 V	>80 kV/µs	>2200 heures
MGJ3	CREE-C2M1000170D	SiC	100 kHz	1600 V	>60 kV/µs	>2200 heures
MGJ6	IXGH6N170A	IGBT	20 kHz	1600 V	>80 kV/µs	>1000 heures
MGJ6	CREE-C2M1000170D	SiC	100 kHz	1600 V	>60 kV/µs	>2200 heures
MGJ3/6	IXEL40N400-ND	IGBT	20 Hz	3000 V	>30 kV/ µs	>1000 heures

Figure 2 - Conditions d'essai de fiabilité du convertisseur DC-DC

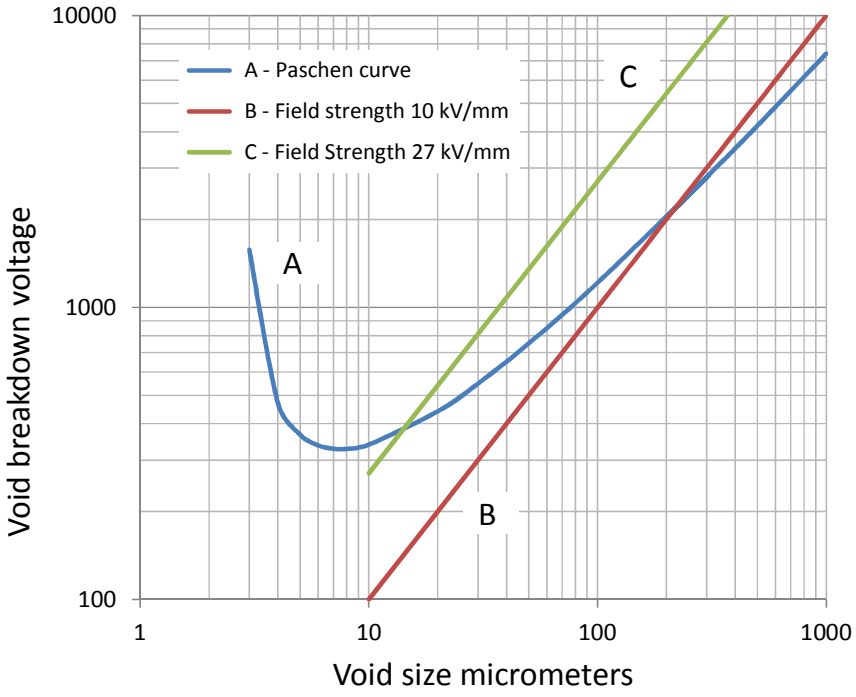


Figure 3.
Paschen curve for air at standard pressure and temperature with two field strengths

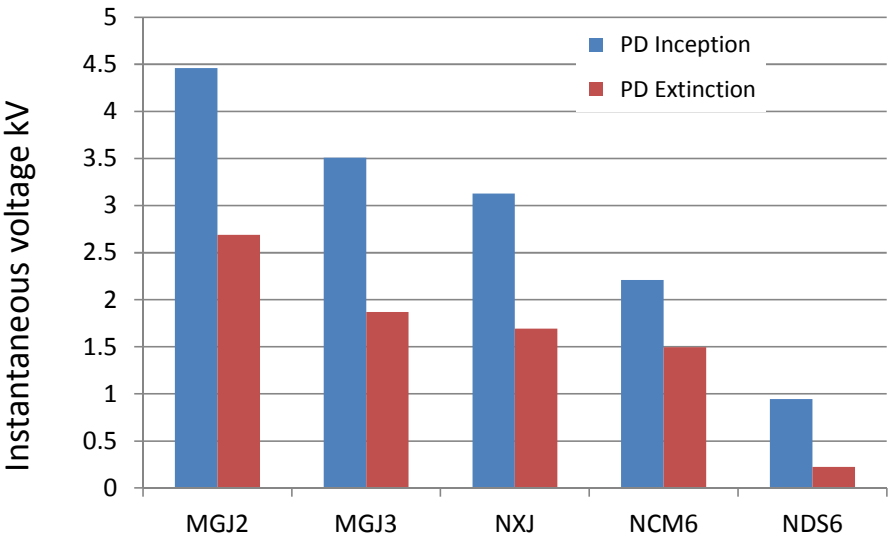


Figure 4.
Partial Discharge inception and extinction voltages for various Murata DC-DC converters