

Les mesures contre les arcs électriques protègent les condensateurs MLCC à haute tension

Par: Reggie Philips, Senior Product Manager, KEMET

Une méthode innovante de prévention des arcs électriques permet aux MLCC compacts, à haute tension et à montage en surface, de bénéficier d'une solution économique et peu encombrante pour les applications émergentes comme les véhicules électriques ou la production d'énergie renouvelable

Les applications à haute tension en quête d'économies d'espace

Dans les applications où la conservation de l'énergie est critique, comme les onduleurs éoliens ou solaires, ou les groupes motopropulseurs pour véhicules électriques (*Electric-Vehicle*, EV), la distribution à haute tension de l'énergie peut aider à réduire les pertes I²R. La liaison en courant continu alimentant l'onduleur peut être par exemple de 3-400 V dans une application EV, ou même supérieure comme dans le cas du conditionnement de l'énergie éolienne ou solaire. Cependant, de telles tensions de fonctionnement élevées posent des problèmes sécuritaires supplémentaires, non seulement pour les utilisateurs finaux, mais aussi pour les composants -- même ceux dont le boîtier mentionne une tension nominale appropriée. Voyons comment les condensateurs céramiques multicouches (*Multi-Layer Ceramic Capacitors*, MLCC), souvent utilisés pour filtrer, découpler ou atténuer, peuvent être affectés par une polarisation appliquée de plusieurs centaines de volts.

Les lois de la physique attestent qu'une tension nominale élevée pour un MLCC et une petite taille de boîtier sont incompatibles: l'augmentation de la tension nominale nécessite une couche diélectrique plus épaisse entre les plaques, ce qui augmente à son tour la taille du composant. Malgré cela, la demande pour des unités de puissance petites et légères exige une capacité et une tension nominales élevées, dans des facteurs de forme toujours plus petits. Les concepteurs d'onduleurs pour les EV, ou de microgénérateurs éoliens ou solaires, recherchent généralement des condensateurs tels que des MLCC de type X7R avec des boîtiers de taille 0603 et 0805, et des tensions nominales de 500V, 630V ou 1000VDC.

Prévention des dommages et de la destruction causés par les arcs électriques

Les fabricants de composants peuvent répondre à ces exigences en utilisant des matériaux et des techniques de construction de condensateur plus performantes. Cependant, dans la pratique, des facteurs tels que la fuite (la propagation naturelle d'un champ électrique sur une surface diélectrique) ainsi que la tendance d'un champ électrique intense à provoquer une ionisation de l'air ambiant, comme montré sur la figure 1, menacent la sécurité des composants fonctionnant à haute tension. Lorsque l'ionisation se produit, si la polarisation de tension appliquée dépasse la tension initiale de l'air ionisé, un chemin conducteur peut se former entre les bornes ou les électrodes du dispositif à différents potentiels, entraînant une décharge par effet coronal ou un arc électrique.

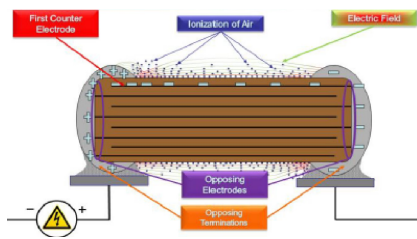


Figure 1. L'ionisation réunit les conditions pour un arc de type borne-à-borne ou borne-à-électrode.

La tension initiale à laquelle un arc peut se produire est influencée par divers facteurs, notamment la température et la pression atmosphériques, l'humidité et la distance à la borne sur laquelle la fuite se produit. La distance de fuite, à son tour, est affectée par la présence de contaminants à la surface du composant, tels que des particules de poussière conductrices ou de l'humidité accumulée. Les matériaux céramiques ayant une constante diélectrique élevée, tels que les matériaux X7R, ont une porosité plus élevée -- se manifestant par des vides à la surface du matériau -- que les autres diélectriques, tels que le COG. Ces vides ont tendance à attirer l'humidité et la poussière, ce qui rend le composant plus vulnérable aux arcs électriques.

Les arcs électriques entre les bornes ne sont pas forcément fatals, bien que des décharges coronales répétées sur la surface du composant entraînent la formation de pistes carbonisées qui vont au fil du temps établir des chemins conducteurs. Au fur et à mesure que les décharges continuent de se produire, cela entraînera éventuellement une panne due à un court-circuit.

Plus immédiatement problématique est la possibilité qu'une décharge se produise entre les parties extérieures du composant et la première contre-électrode interne se trouvant du côté du potentiel opposé, comme le montre la figure 2. Cela provoque généralement une rupture diélectrique rapide, entraînant un court-circuit, souvent accompagné d'une destruction assez spectaculaire du condensateur.

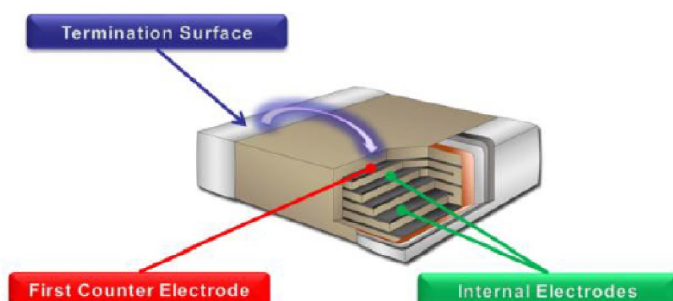


Figure 2. Un arc électrique entre une borne et la première contre-électrode provoque généralement une défaillance rapide du condensateur.

Historiquement, les fabricants de condensateurs et les spécialistes des matériaux ont élaboré diverses techniques pour atténuer les causes de l'ionisation et de la décharge coronale. L'une d'elles consiste à enduire le MLCC d'un revêtement hautement isolant en polymère ou dans un matériau semblable à du verre afin de créer une surface lisse et non poreuse offrant un risque minimal d'accumulation de contaminants ou d'humidité. Bien que cette technologie se soit avérée efficace, elle présente plusieurs inconvénients, dont le coût du matériau et les charges supplémentaires du traitement nécessaire à son application. De plus, l'efficacité du revêtement peut être compromise si le corps du composant n'est pas complètement encapsulé ou si le revêtement est endommagé.

De plus, si le composant est déjà pré-revêtu, le concepteur de carte doit s'assurer que le matériau de revêtement est compatible avec les autres matériaux utilisés dans l'assemblage. En revanche, si le revêtement est appliqué après l'assemblage, il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas de vides ou d'interstices, par exemple dans les zones situées sous les composants. Ceux-ci peuvent compromettre l'intégrité du revêtement et exposer au même potentiel d'arc électrique que dans le cas d'un dispositif non revêtu.

Électrode flottante

Une autre solution consiste à augmenter la capacité du condensateur à résister à l'application d'un champ électrique élevé en adaptant la structure interne.

Un exemple est la conception avec des électrodes internes en cascade. Également connue sous le nom de technologie à électrode flottante ou à condensateurs en série, cette approche augmente la tension nominale de la même manière que la connexion en série de plusieurs condensateurs, et augmente efficacement la distance de fuite, réduisant ainsi le risque de formation d'un arc lorsqu'un champ électrique élevé est appliqué. La conception à électrodes flottantes permet également de limiter efficacement les fissures dues à la flexion en empêchant qu'une fissure ne traverse une paire d'électrodes opposées et ne provoque ainsi un court-circuit. Une fissure causée par la flexion ne peut provoquer qu'une perte de capacité ou une défaillance non critique de type circuit ouvert. Un inconvénient est que l'approche par condensateurs en série réduit la capacité effective, tout comme le ferait la connexion en série de condensateurs discrets.

Blindage interne

Un développement plus récent consiste à ajouter une électrode de blindage à l'intérieur du composant, au même potentiel que la borne la plus proche et qui s'étend vers la broche opposée, comme illustré à

la figure 3. Elle peut être considérée comme une cage de Faraday et permet une disposition des électrodes plus conventionnelle en comparaison, par exemple, à une construction à condensateurs en série. Par conséquent, la capacité peut être plus élevée pour une tension nominale et une taille de composant données. De plus, l'électrode de blindage est compatible avec les terminaisons flexibles pour éviter la fissuration sous contrainte.

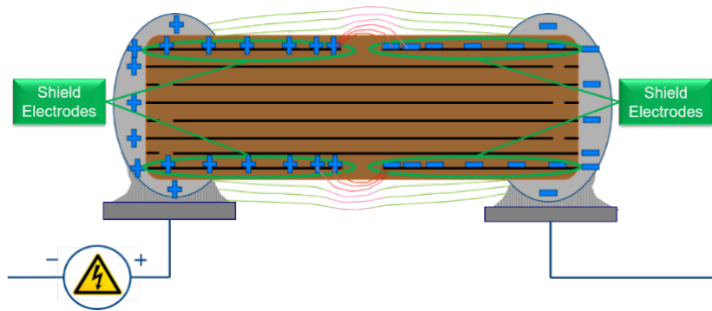


Figure 3. L'électrode de blindage réduit l'intensité du champ dans la région de la surface du condensateur et de la première contre-électrode.

Lorsqu'une polarisation haute tension dépassant la tension initiale de l'air ionisé autour du condensateur est appliquée aux bornes, la présence de cette électrode de blindage empêche la décharge coronale de provoquer la rupture du diélectrique entre la borne et la première contre-électrode, protégeant ainsi contre le mode de défaillance rapide par court-circuit décrit précédemment sur la figure 2.

Comme l'électrode de blindage est au même potentiel que la borne la plus proche, la concentration de champ est localisée autour de l'électrode de blindage plutôt qu'à la surface de la borne et de celle de la première contre-électrode correspondante. Cela permet de minimiser la différence de potentiel le long de la surface de la puce et augmente la capacité de distance de fuite. Par conséquent, même les composants de petite taille ou construits avec un diélectrique à haute porosité tel que le X7R peuvent bénéficier d'une immunité accrue aux arcs électriques et de limiter les risques associés d'endommagement ou de défaillance du composant.

KEMET a breveté cette technologie pour créer la famille ArcShield™ de MLCC résistants aux arcs électriques qui offrent une haute tension et une haute capacité dans des boîtiers de taille standard EIA. Les condensateurs ArcShield dans des tailles de boîtier de 0603 à 1812 sont disponibles dans les grades commerciaux ou automobiles AEC-Q200, avec des valeurs de capacité allant jusqu'à 0,33 μF à 500 Vcc, 0,15 μF à 630 Vcc et 0,10 μF à 1000 Vcc.

Conclusion

Avec l'ajout d'une électrode de blindage, les MLCC de haute capacité jusqu'à 1 000 V dans des boîtiers de petite taille peuvent résister aux décharges d'arc électrique et donc améliorer considérablement la fiabilité des circuits à haute tension dans des applications telles que les véhicules électriques et la

production d'énergie renouvelable. En surmontant les inconvénients des mesures classiques de prévention des arcs électriques, tels que les électrodes en cascade ou les revêtements conformes, les systèmes ArcShield de MLCC à montage en surface de KEMET, avec leur conception brevetée à électrodes blindées, bénéficient d'une protection permanente sans nécessiter de revêtement protecteur. Ils offrent également aux ingénieurs de conception une alternative peu encombrante aux MLCC classiques nécessitant des boîtiers plus grands ou des condensateurs en céramique et film à montage à trou traversant.