

Utilisez les élastomères conducteurs de façon intelligente pour la liaison électrique dans les connecteurs Mil-Aero

Par Gerard Young, Applications Engineer – Division Parker Hannifin Chomerics Europe

Les joints électroconducteurs améliorent le blindage électromagnétique EMI des boîtiers métalliques et métallisés, tout en améliorant la liaison électrique et, dans certains cas, la mise à la terre structurelle.

Ces connexions sont principalement des liaisons RF et non des raccordements de sécurité électriques conçus pour transporter des intensités élevées en cas de court-circuit ou de dysfonctionnement. Ils peuvent également assurer une partie de la protection contre la foudre (LS/EMP) d'un avion, bien qu'il s'agisse d'une fonction secondaire mineure, car d'autres structures transportent la majeure partie de l'intensité. Cette résistance peut être aussi faible que 2,5 mΩ et n'est pas difficile à obtenir si vous avez des sangles de liaison métalliques reliant les deux parties de la structure. Dans certains cas, cependant, comme un connecteur Mil-C-38999 typique, il est impossible ou peu pratique d'installer des sangles. Au lieu de cela, des vis le long d'un joint plat conducteur ou d'un joint torique facilitent la liaison du connecteur au boîtier.

Malheureusement, un phénomène se produit parfois avec les raccordements de ce type : la résistance électrique commence généralement à une valeur de R mΩ, avant d'augmenter progressivement sur une période de plusieurs jours ou semaines jusqu'à trois ou quatre fois la valeur initiale sans raison apparente, en position dans un environnement totalement inoffensif.

Beaucoup considèrent souvent que la cause de ce problème est l'instabilité du joint, et dans le cas de joints plats, cela peut parfois être dû à une surcompression. Les joints plats conducteurs ont généralement une déflexion maximale d'environ 15 % de leur épaisseur initiale. Il est notoirement difficile d'éviter les dommages causés par un serrage excessif des attaches en raison des variations d'épaisseur de $\pm 10\%$ à $\pm 20\%$. Ce phénomène est également visible lors de l'utilisation de contre-écrous ou de joints toriques ; même s'il existe un contact métal sur métal, la résistance augmente avec le temps.

Les mécanismes

Pour comprendre ce phénomène, nous devons examiner le modèle physique et électrique du joint, identifier les chemins de conduction et quantifier leur contribution à la résistance globale de la jonction. Nous devons également identifier les mécanismes susceptibles d'entraîner une résistance accrue.

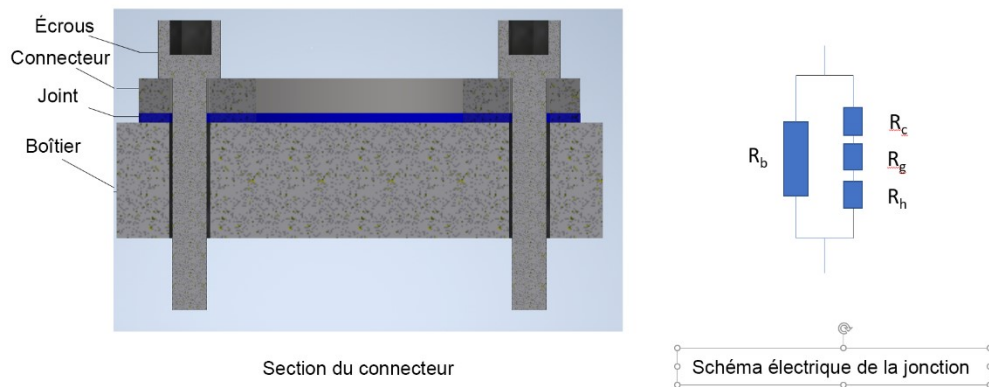


Fig. 1 : Montage test du connecteur et modèle de résistance.

La figure 1 montre un exemple de montage test de connecteur avec le joint en bleu et les plaques supérieure et inférieure représentant respectivement le capot et le boîtier du connecteur, maintenues ensemble par quatre attaches M3. Dans le schéma électrique ci-contre :

- R_b désigne la résistance du boulon
- R_c désigne la résistance du revêtement du connecteur
- R_g désigne la résistance du joint
- R_h désigne la résistance du revêtement du boîtier

Nous pouvons ignorer la résistance du métal dans le boîtier et les connecteurs, car elle est d'un ordre de grandeur plus petite que ces autres résistances.

Dans ce scénario, deux chemins de conduction sont possibles :

- À travers le joint
- Par le contact entre la tête de la vis et le capot du connecteur, puis par le corps de l'attache et les filetages du boîtier

R_b est parallèle aux autres résistances et, s'il existe un contact métal sur métal via les filetages, cela peut initialement entraîner une faible résistance de contact. Cependant, lorsque le contact s'oxyde ou que la pression sur les filetages diminue du fait que le joint acquiert progressivement une déformation rémanente après compression, ce chemin peut disparaître complètement ou présenter une augmentation significative de résistance.

Maintenant, supposons ce qui suit :

- Le boîtier et le connecteur sont fabriqués en alliage d'aluminium
- Les deux sont traités avec un revêtement de conversion MIL-DTL-5541, Type II, Classe 3

- Une résistance spécifique ne dépassant pas 2,5 mΩ/po² est visible sur chaque surface ; un total de 5 mΩ/po² à travers l'échantillon, conformément aux spécifications

Le tableau ci-dessous résume les propriétés du joint et de la surface, ainsi que la contribution de chacun à la résistance de la jonction (en ignorant toute contribution des attaches).

Résistivité volumique du CHO-SEAL® 1285		0,008	ohm cm
Épaisseur du joint		0,081	cm
Zone du joint		4,36	cm ²
Surface de résistance 1 de l'unité		0,016	ohm/cm ²
Surface de résistance 2 de l'unité		0,016	ohm/cm ²

Tableau 1 : Propriétés de la jonction

Résistance du joint	Rg	0,00015	ohm
Résistance 1 de la surface	Rc	0,00367	ohm
Résistance 2 de la surface	Rh	0,00367	ohm
Résistance totale		0,00749	ohm
% de la résistance totale due au joint		1,98 %	

Tableau 2 : Résistances de la jonction

La surface du joint est celle d'un joint de connecteur Mil-C-38999 de taille 19 (environ 4,8 cm² ou 0,75 pouce²). Il est possible de calculer la résistance traversante de ce joint en utilisant la formule $R = \rho L/A$, où :

- ρ est la résistivité volumique en Ω cm
- L est l'épaisseur en cm
- A est la surface en cm²

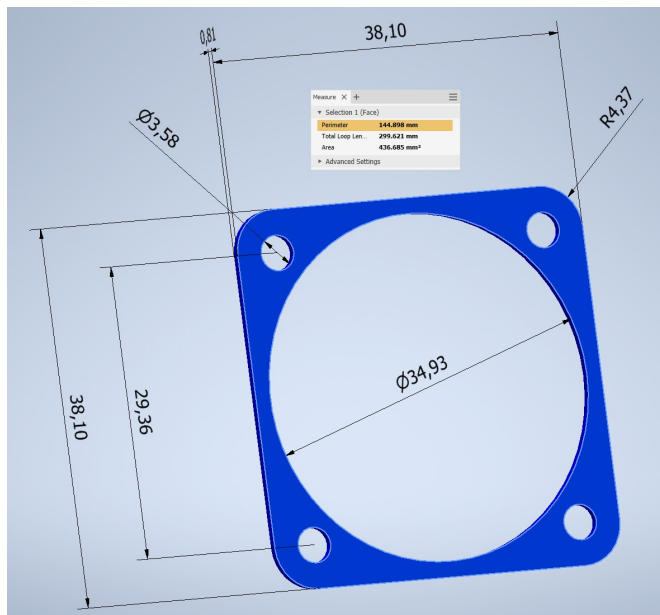


Figure 2 : Dimensions du joint

Éviter la surcompression

Le fait important à noter ici est que si un joint EMI conducteur plat reste intact, sa contribution globale à la résistance de la jonction est très faible, la majorité provenant du revêtement de chromate « conducteur ».

Or, comme mentionné précédemment, certains assemblages parviennent à atteindre des résistances de contact $< 10 \text{ m}\Omega$ (bien que les connecteurs soient très petits), qui augmentent progressivement avec le temps. Avec les joints plats, cela est normalement le résultat d'un raccordement électrique via les boulons, qui gratte tout placage au chromate sur les filetages pour fournir une petite zone de contact métallique lors du serrage.

Résistivité volumique de l'aluminium		2,65E-06	$\Omega \text{ cm}$
Épaisseur de l'aluminium		0,081	cm
Zone de contact du filetage		0,0001	cm^2

Tableau 3 : Propriétés de contact des filetages

Résistance Al/vis	Rb	0,00215	Ω
Joint/résistance de surface	R	0,00749	Ω
Résistance totale	Résistance parallèle	0,001668	Ω

Tableau 4 : Contact fileté en association avec le joint

La résistivité volumique de l'aluminium propre est d'environ $2,65 \text{ E-6 ohms cm}$, soit un peu plus de 3 000 fois inférieure à celle d'un joint à $0,008 \text{ m}\Omega \text{ cm}$. Par conséquent, obtenir la même résistance traversante de $10 \text{ m}\Omega$ uniquement avec un contact métallique via une épaisseur de contact de $0,81 \text{ mm}$ nécessite une surface de $0,01 \text{ mm}^2$. On peut facilement obtenir une zone de cette taille lors du serrage des vis sur le connecteur si les vis ont une finition conductrice et que l'action gratte le revêtement de chromate. Un couple de filetages sur une vis avec cette zone de contact donne une résistance de $2,15 \text{ m}\Omega$ en parallèle avec les $7,49 \text{ m}\Omega$ du joint (436 mm^2).

Comme cette résistance est parallèle aux résistances du tableau 2, l'utilisation de la formule des résistances en parallèle donne un résultat de $1,67 \text{ m}\Omega$.

Un point clé ici est que ces contacts de fixation ne sont pas stables, surtout si une surcompression est évidente. Dans ce cas, le joint se déplace lentement avec le temps, généralement dans les coins, ce qui réduit les charges sur les boulons. Il en résulte une perte de contact sur les filetages, une perte de pression sur le joint et, par la suite, une augmentation de la résistance. Même si le joint reste intact suite à un serrage excessif des vis, il est susceptible de présenter une déformation rémanente après compression, délivrant une charge de compression plus faible sur le joint et une augmentation résultante de la résistance.

Sélection de joints

Les inconvénients d'un joint EMI conducteur plat découpé dans un matériau en feuille peuvent être surmontés de deux manières :

- Utilisez un joint torique ou un joint en D dans une gorge
- Utilisez un joint « plat » moulé avec des caractéristiques associées à des butées de compression, soit sur le boîtier ou le connecteur, soit dans le joint lui-même

En ce qui concerne les joints toriques, deux facteurs doivent être pris en compte (comme pour les joints plats) :

- La zone de contact fournie par le joint torique
- La zone de contact de surface métal sur métal (sans compter les filetages des vis)

Si l'on considère à nouveau un connecteur de taille 19, un joint torique approprié peut avoir un diamètre intérieur d'environ 40 mm et une section de $1,78 \text{ mm}$. Si la conception est correcte, nous pouvons estimer que la zone de contact correspondra à la largeur totale de la gorge. Pour le joint, cela donne une surface de contact d'environ 257 mm^2 et une épaisseur d'environ $1,45 \text{ mm}$, de sorte que la résistance du joint en conjonction avec les surfaces chromées sera de $17 \text{ m}\Omega$. Par conséquent, nous devons calculer une zone de contact métal sur métal parallèle pour obtenir une résistance inférieure à $10 \text{ m}\Omega$. En utilisant la formule des résistances en parallèle,

nous constatons que la résistance de contact métal sur métal doit être d'environ 20 mΩ. Si cela se produit par un contact parfait avec la surface chromée à 5 mΩ/po², nous aurons besoin de 0,25 po² (1,6 cm²) de contact, ce qui est possible mais peu probable. En gardant cela à l'esprit, la jonction doit soit être en contact nu métal sur métal, en admettant qu'il soit nécessaire d'endommager la surface de chromate, soit utiliser par exemple une sangle de liaison à fixer fermement contre la surface métallique nue.

La deuxième option, où nous remplaçons efficacement un joint plat par un joint moulé (éventuellement avec des butées de compression), offre une option plus pratique et plus fiable, mais plus coûteuse.

Taille et personnalisation

En résumé, pour la liaison électrique dans les connecteurs aérospatiaux de spécifications militaires, les joints plats électriquement conducteurs fonctionnent à condition qu'ils soient suffisamment grands et ne soient pas endommagés par la charge appliquée par les vis. Les joints toriques fonctionnent également et offrent une protection contre la compression excessive, mais ont une zone de contact réduite par rapport à un joint plat.

Avec son potentiel de personnalisation, un joint moulé offre la solution optimale pour les applications de connecteurs aérospatiaux. Bien qu'il soit légèrement plus cher qu'un joint plat ou un joint torique en matière de prix d'achat, un joint moulé offre de nombreux avantages de conception et de coût de possession. Par exemple, vous aurez généralement besoin de moins de matériau d'étanchéité par rapport aux joints découpés, ce qui réduit les coûts dans de nombreuses applications, tandis qu'il est également possible de répondre aux exigences de compression/déflexion avec moins d'attaches, ce qui se traduit par une meilleure maintenance. En outre, les ingénieurs de conception peuvent placer les attaches à l'intérieur ou à l'extérieur du joint plus facilement, ce qui réduit les interférences électromagnétiques et les fuites d'humidité dans le boîtier via les orifices de fixation. Des économies de production sont également possibles, car le joint, le capot et les butées de compression deviennent une seule pièce, ce qui réduit le nombre d'articles achetés, les stocks ainsi que la documentation. Enfin, en utilisant des joints moulés, vous pouvez éliminer les opérations de liaison peu fiables et coûteuses.

Résistance du revêtement

Un revêtement MIL-DTL-5541 Type II Classe 3 constituera toujours une partie importante de la résistance de toute jonction conductrice, car le revêtement de conversion a une résistivité volumique d'environ 45 Ω cm et une épaisseur comprise entre 0,25 et 0,5 μm (10–20 micropouces). En comparaison, un joint a une résistivité volumique comprise entre quelques milliohms cm et quelques ohms cm.

Si vous parvenez à obtenir de faibles résistances en milliohm sur de très petits joints de connecteur, il est probable que vous ayez endommagé le revêtement de conversion au chromate sur le boîtier, la surface du connecteur ou dans les filetages des boulons, et cette faible résistance de liaison ne sera probablement pas stable.

En revanche, si votre connecteur est suffisamment grand ou si vous avez, par exemple, quatre connecteurs avec des zones de joint d'environ 3,2 cm² (0,5 po²) ou plus, vous devriez être en mesure d'obtenir une exigence de liaison faible en milliohm. Si vous n'avez pas assez de surface, vous devrez peut-être envisager une finition plaquée plutôt qu'un revêtement de conversion.

www.parker.com/chomerics