

REFLEXION SUR LE TEST DE TERRE DE PROTECTION

Conducteur de terre de protection

Le but d'un conducteur de terre de protection est de protéger une personne d'un choc électrique en favorisant le passage du courant vers la terre en cas de défaut interne du DM.

Dans les Dispositifs Médicaux (DM) de classe I, ce conducteur de terre de protection doit avoir l'impédance la plus faible possible. Ainsi, toutes les parties métalliques accessibles du DM ne pourront pas atteindre une valeur de différence de potentiel suffisamment élevée pour présenter un risque de choc électrique dangereux.

Plusieurs normes nationales (NF) et internationales (CEI) définissent des valeurs d'impédances maximales acceptables pour le conducteur de terre.

On parle alors de résistance de protection. Les dispositifs électriques médicaux n'échappent pas à ces normes, et sont même soumis à des exigences bien plus fortes que dans d'autres domaines comme les dispositifs électriques dans l'industrie.

Ces normes ne définissent pas seulement la valeur maximum de la résistance, mais aussi d'autres critères du test lui-même comme le courant de test, la tension maximum du circuit ouvert et la durée du test. Ces paramètres dépendent du moment où le test est réalisé durant la vie d'un dispositif : phase de développement, test de conformité, en fin de production, en maintenance préventive et/ou curative.

Tous les circuits de terre comprennent un cordon d'alimentation et un circuit à l'intérieur du DM. Parfois ces circuits internes sont en étoile et nécessitent plusieurs points de test.

La mesure du conducteur de terre (mise à la terre) est donc une mesure d'impédance. Cette impédance est en fait l'addition des résistances qui composent ce circuit :

- Les résistances des matériaux
- Les résistances de contact

1) Les résistances des matériaux sont les résistances des matériaux composant le conducteur de terre du câble d'alimentation et du câble interne au DM (celui qui fait la liaison entre la borne d'équipotentialité et la borne de terre du connecteur d'alimentation).

2) La résistance de contact, c'est la résistance qui existe entre deux parties métalliques en contact. Dans le cas présent, nous avons des résistances de contact au niveau :

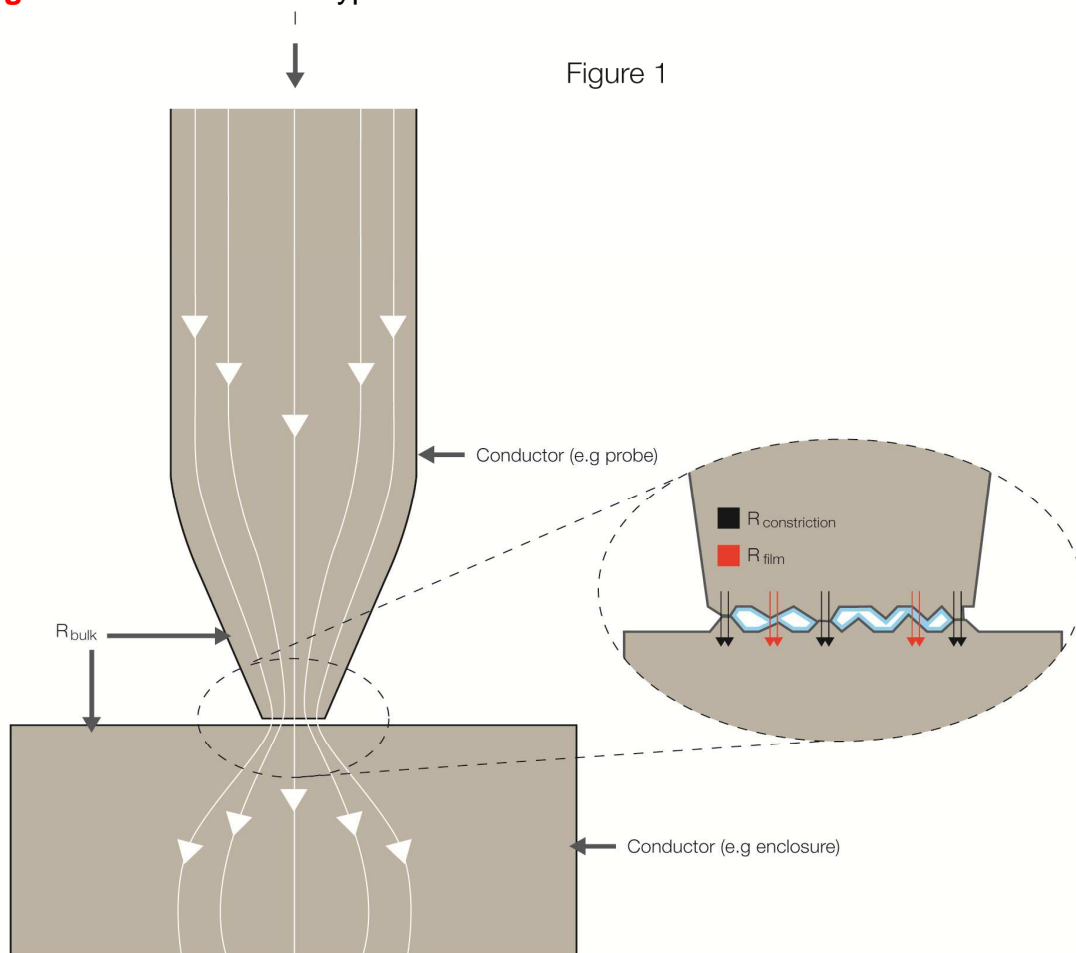
- De la prise murale
- Du connecteur face arrière du DM
- Du connecteur de terre de la prise à l'intérieur du DM
- De la borne équipotentielle à l'intérieur du DM

De plus, la résistance de contact est l'addition de deux résistances :

- La résistance de constriction
- La résistance de film.

Ces deux résistances ont un impact fort sur le choix de méthode de test à utiliser (valeur de courant, de tension et durée) pour effectuer une mesure correcte de la résistance de protection d'un DM.

Figure 1 : Les différents type de résistances constituant la résistance totale.



La Résistance de terre de protection peut être écrite comme suit :

$$R_{\text{protection}} = R_{\text{Bulk}} + R_{\text{Contact}}$$

Sachant que :

$$R_{\text{Contact}} = R_{\text{Constriction}} + R_{\text{Film}}$$

La « **R Bulk** » est la résistance de la masse du matériau constituant les différents conducteurs. A un instant t, cette résistance est fixe mais peut être affectée par la température ou une pression physique exercée sur le matériau.

La « **R Contact** » est la résistance qui existe entre deux surfaces conductrices en contact. Cette résistance de contact est variable. Elle se compose d'une **Résistance de Constriction** et d'une **Résistance de Film**, et sa valeur dépend de la force de contact entre les surfaces en contact.

Une inspection minutieuse des surfaces en contact montre que des surfaces d'apparence plates et régulières sont en fait, à l'observation au microscope, très irrégulières et se composent de nombreux creux et bosses.

En réalité, les deux surfaces en contact ne le sont réellement que par leurs aspérités et par conséquent l'aire de la surface de contact est plus réduite qu'il n'y paraît.

Dans ces circonstances, une résistance de constriction existe puisque le courant ne peut passer d'une surface à l'autre que par ces quelques points de contact.

La valeur de la résistance de constriction dépend étroitement de la force avec laquelle les matériaux sont en contact.

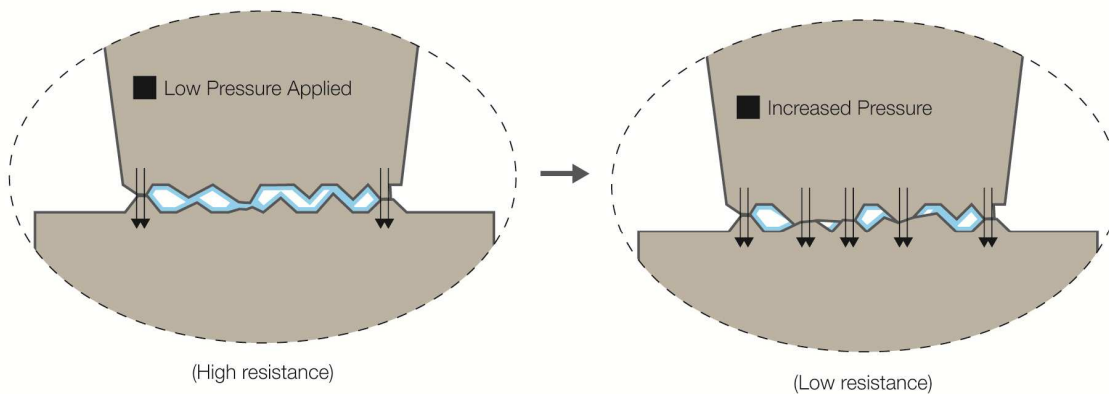
Plus la force de constriction est importante, plus l'aire des surfaces en contact est importante ce qui facilite le passage du courant.

C'est la loi d'Ohm : Plus la quantité de courant qui peut passer est importante, plus la valeur de la résistance est faible.

La résistance de constriction (et donc la valeur de la résistance de terre de protection) peut être diminuée en augmentant la force de contact entre les deux surfaces en contact.

Voir **Figure 2** ci dessous :

Figure 2



La **Résistance de Film** est la conséquence de l'oxydation des matériaux et du niveau de saleté à la surface des matériaux. Ces états de surface créent une impédance qui s'ajoute à celle des matériaux eux-mêmes.

La résistance de Film est généralement éliminée par le nettoyage des surfaces en contact, mais ce n'est pas toujours facile et de l'oxydation peut réapparaître très rapidement après le nettoyage.

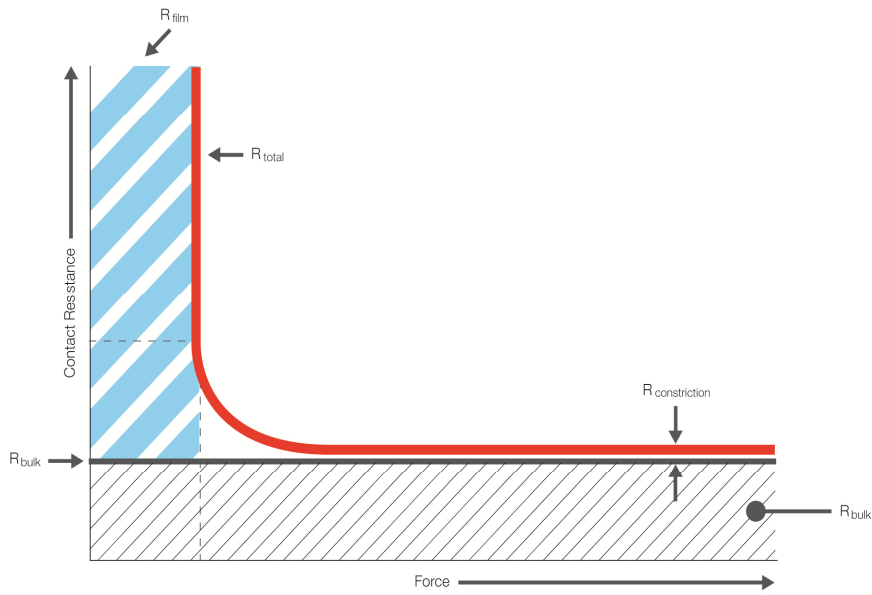
La **Figure 3** suivante montre les conséquences de l'augmentation de la force de contact entre deux surfaces sur la résistance de constriction. On voit bien que la résistance de constriction diminue et si elle diminue, alors la résistance totale diminue.

Conclusion :

La mesure de l'impédance entre deux matériaux en contact dépend de la force de constriction entre les surfaces de ces deux matériaux.

La résistance de film n'est pas affectée par l'augmentation de cette force et par principe, la résistance du matériau est constante.

Figure 3

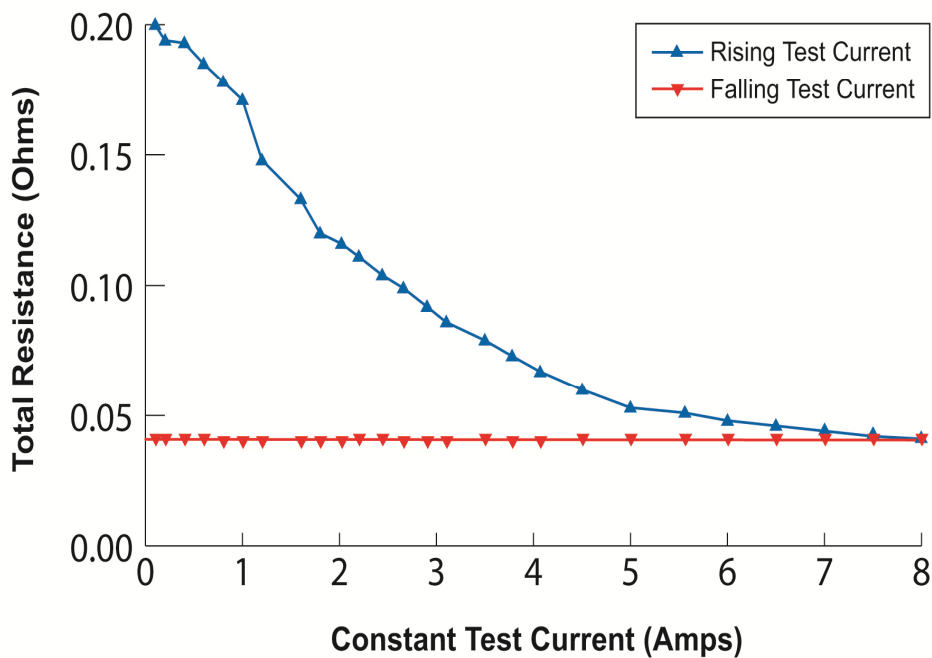


Les tests suivants ont été réalisés dans notre laboratoire et ont montré certains effets du courant de test sur la résistance de film des contacts du circuit de terre de protection.

Voir la **Figure 4** suivante :

Figure 4

Max Current 8A



Plusieurs mesures d'impédance de deux conducteurs en contact ont été réalisées.

Durant ce test la résistance du matériau et la force de constriction sont constantes.

Dans un premier temps (courbe bleue), on augmente le courant de test et on mesure l'impédance du circuit. On observe que lorsque le courant augmente, la valeur de la résistance de film mesurée diminue.

Lorsque le courant de test atteint 8 Ampères, elle est complètement éliminée

A partir de ce point, le courant de test diminue par étapes successives (courbe rouge) et l'impédance du circuit est mesurée. La valeur mesurée ne change plus.

Ce test montre que lorsque la résistance de film entre deux conducteurs "nettoyée" par un courant fort n'affecte plus du tout la mesure de la résistance totale.

L'existence de ces différents types de résistance peut avoir un impact significatif sur les mesures d'impédances en fonction de la valeur des courants de tests utilisés.

Conclusion

La mesure de l'impédance dépend de la valeur du courant utilisé en considérant la résistance de film.

Relations entre les courants de test et les mesures d'impédances

Aujourd'hui, 2 possibilités existent :

Fort courant : Supérieur à 8 Ampère

Dans le cas de test de terre de protection sur des DM, nous considérons donc que le courant fort est un courant supérieur à 8 Amp et allant jusqu' à 25 Amp (CEI60601).

Ce courant fort, comme nous l'avons vu plus haut, a la capacité de « nettoyer » les surfaces en contact en éliminant la **Résistance de Film**.

Ce courant fort a également la capacité de s'affranchir de la **Résistance de constriction**.

Que la force de constriction soit forte ou faible, la quantité de courant qui passe d'une surface à l'autre surface sera exactement la même.

C'est la « force » d'un courant élevé.

Autrement dit, que les surfaces soient beaucoup en contact ou peu, la mesure d'impédance sera la même.

Cela veut dire qu'un test de terre de protection réalisé avec un courant supérieur ou égal à 8 Amp ne peut pas détecter un mauvais contact dans le circuit de terre d'un DM.

La **résistance du matériau** sera bien mesurée.

Faible courant : 0,2 Ampère

Dans le cas de test de terre de protection sur des DM, nous considérons donc que le courant faible est un courant allant de 0,2 Amp (CEI62353) à 1 Amp.

Le courant faible n'a pas la capacité de « nettoyer » les surfaces en contact.

La **Résistance de film** va donc avoir un impact sur la mesure de la résistance totale car sa valeur sera non nulle, voir importante dans des cas extrêmes.

Nous avons vu plus haut que la force de constriction entre les deux surfaces a un énorme impact sur la mesure de la **Résistance de Contact** et donc sur la résistance totale dans le cas de l'utilisation d'un courant faible.

En effet, un mauvais contact au niveau de la borne d'équipotentialité (par exemple) d'un DM sera bien détecté par l'utilisation d'un faible courant car ce mauvais contact, qui représente une force de constriction faible, empêche le courant de passer.

Comme la valeur de courant qui peut passer le contact, la loi d'Ohm (avec une tension fixe) nous dit que c'est donc la valeur de la résistance qui augmente. Un faible courant détecte bien ce mauvais contact, et c'est bien ce que l'on cherche.

De plus, l'utilisation d'un courant faible de test réduit ou élimine le risque de dommages causés au Dispositif Medical en test, par le passage de courants de test importants par des circuits non prévus pour remplir la fonction de protection à la terre.

La **résistance du matériau** sera bien mesurée.

En résumé

Les courants faibles et forts ont chacun des aspects positifs et négatifs. Utiliser l'un ou l'autre n'est donc pas pleinement satisfaisant, mais leur combinaison a des aspects très intéressants.

La solution mise au point par Rigel sur les testeurs de sécurité électrique R288 et R62353 est l'émission d'un pic de courant de 25 Amp de quelques millisecondes suivi par un courant faible de 0,2 Amp avec lequel est effectué la mesure de la résistance de terre de protection.

Ainsi nous combinons les effets positifs des différentes valeurs de courant sans en avoir les inconvénients.

Laurent Olive
Business Development Manager
Rigel Medical
laurento@seaward.co.uk
Tel : 06 12 35 98 16

Remarque complémentaire

L'avantage du test réalisé avec un courant de test élevé de 25A est qu'en cas d'un conducteur de terre endommagé, où plusieurs brins sont cassés, le test détectera l'anomalie en «détruisant» le câble.

Cette destruction est due à l'effet de chauffage du courant de test. La circulation d'un courant, produit de la chaleur. Le fil chauffant, fond et le circuit s'ouvre.

Cette capacité à détruire un câble endommagé dépend de la valeur du courant et la durée de test. Dans les fusibles de protection, cette capacité est donnée par un indice, le I^2t . Le courant le plus élevé ou la plus longue durée de test à la plus haute probabilité de fondre le câble endommagé.

La probabilité de fondre, pendant le test, un câble avec les brins cassés dépendra de :

- a) combien des brins sont cassés
- b) la magnitude du courant de test
- c) la durée du test

Des tests réalisés sur un câble de 1.5mm^2 ($48 \times 0.22\text{mm}^2$) avec un courant réglé de 25A pendant 30 secondes ont montré qu'il est nécessaire que 95% des conducteurs soient cassés pour que le courant détruise effectivement le câble.

Dans la pratique, il faut considérer les points suivants :

- la durée d'un test de terre de protection est de 2 secondes. Cela est très insuffisant pour détruire le câble par l'effet de chaleur du fort courant.
- La majorité des testeurs de sécurité électrique ne sont pas capables de générer un courant de sortie de 25 Ampères pour ce test. Bien souvent le courant de sortie n'est pas réglé et donc le courant réel pendant le test est bien inférieur.

Dans ces conditions réelles de test, aucun câble ne sera détruit par le test.

Pour finir, l'utilisation d'un fort courant introduit un risque de destruction de la Compatibilité Electro-Magnétique du dispositif médical.