

Guide pour les tests de faible résistance

Megger[®]



Guide pour les tests de faible résistance

Table des matières

Introduction	3	Comment mesure-t-on une faible résistance ?	12
Bref historique des ohmmètres à faible résistance	4	Mesures de courant continu à deux, trois et quatre fils	12
Pourquoi mesurer la faible résistance ?	4	Mesures à deux fils	13
Qu'est-ce qu'une mesure de faible résistance ?	5	Mesures à trois fils	13
Qu'est-ce qu'une mesure de faible résistance indique à l'utilisateur ?	5	Mesures à quatre fils	13
Quels sont les problèmes qui justifient la nécessité d'un test ?	5	Courant continu vs courant alternatif	13
Économiser de l'argent grâce aux tests de faible résistance	5	Différence entre continuité et faible résistance	14
Industries faisant face à des problèmes de résistance importants	6	Modes de test	14
Les équipements sur lesquels des tests de faible résistance doivent être effectués	6	Modèles conçus dans les années 1970 et 1980	14
Induit de moteur	6	Modèles 10 ampères	14
Production et distribution d'énergie	7	Modèles 100 A et supérieurs	14
Transformateurs	7	Comment marche un ohmmètre à faible résistance ?	15
Alimentation sans interruption - Barrettes d'accumulateur	7	Sécurité	15
Usines de ciment et autres applications de traitement de matières premières	8	Test sur des échantillons hors tension	15
Disjoncteurs	8	Utilisation et emploi abusif des ohmmètres à faible résistance	16
Assemblage d'avions	8	Sélection du courant	16
Raccords de câbles et de barrettes entre des segments de rail (industrie ferroviaire)	9	Sélection des sondes et des cordons	16
Électrodes de graphite	9	Tests dans la plage inférieure	17
Point ou joint de soudure	9	Types de testeurs - lequel choisir ?	17
Bobines de câble	10	Milli-ohmmètre	17
Mesure de la résistance de câbles multibrins comprenant au moins 3 brins	10	Micro-ohmmètre 10 A	17
Utiliser les mesures de faible résistance pour définir le couple	11	Micro-ohmmètre 100 A et supérieur	18
		Niveaux de courant de test nominal vs. absolu	18
		Plage automatique	19
		Indice de protection	19

Guide pour les tests de faible résistance

Évaluation / interprétation des résultats	20	Annexes	29
Répétabilité	20	Tests de transformateurs	29
Lectures de points / attentes de base pour les relevés	20	Tests de moteur barre à barre	29
Tendance	21	Tests de barrettes d'accumulateur	31
Disjoncteurs	21	Test de rampe	31
Mesure des composants d'un système	23	Ponts de Wheatstone et de Kelvin	32
Courants élevés dans la mesure de faible résistance	23	Pont de Wheatstone	32
Sources possibles d'erreur/garantir des résultats de qualité	23	Pont de Kelvin	32
Cordons de test / sondes	23	Liste des applications du milli-ohmmètre et du micro-ohmmètre DLRO	33
Énoncés de précision	24	Présentation des produits Megger	35
Interférence	24	Série DLRO100	35
Fourniture du courant de test indiqué sous charge	25	DLRO10 / DLRO10X	35
Prise de mesure sur un plateau stable	25	DLRO10HD / DLRO10HDX	36
Résistivité des matériaux	25	DLRO600	36
Effets de la température	26	DLRO200	36
Effets de l'humidité	26	MOM2	37
Bruit de fond, intensité et tension	26	MJÖLNER200 / MJÖLNER600	37
Force électromotrice thermique / compensation de la tension Seebeck	27	MOM690A	38
Contamination par résistance de contact	27	MOM200A / MOM600A	38
Ratio de bruit et courants induits	27	BT51	38
Points chauds	28	Série 247000	39
Étalonnage sur le terrain	28	Système de câbles de test duplex à connecteur	39
		Tableau de comparaison des produits	40

Guide pour les tests de faible résistance

FIGURES

Figure 1 : Courbe de résistance qualitative à la température du Manganin	3	Figure 23 : Pince C1 connectée à l'extrémité du circuit testé	22
Figure 2 : Raccords de jeux de barres	7	Figure 24 : Pointe Duplex utilisée pour effectuer le même test comme indiqué dans la Figure 23	22
Figure 3 : Barrette unique avec deux surfaces de contact	7	Figure 25 : Placements de sonde corrects et incorrects	24
Figure 4 : Barrettes parallèles sur un grand complexe de batteries	8	Figure 26 : Styles basiques de sondes	24
Figure 5 : Mesure de la résistance de la bande de support	8	Figure 27 : Courbes de résistance à la température du fer, du cuivre et du carbone	26
Figure 6 : Test de densité uniforme sur des carottes en graphite (ohms / in)	9	Figure 28 : Corrosion des disjoncteurs	27
Figure 7 : Série de mesures sur un joint de soudure	9	Figure 29 : Bruit	27
Figure 8 : Déterminer la longueur de câble restant sur une bobine	10	Figure 30 : Points chauds	28
Figure 9 : Test conventionnel, une pince kelvin à chaque extrémité d'un brin d'un câble multibrin.	10	Figure 31 : Test barre à barre sur rotor de moteur à courant continu.	29
Figure 10 : Les C2 et P2 sont présentés comme des câbles distincts allant de l'appareil à l'un des brins	11	Figure 32 : Données de test d'enroulement à reprise	30
Figure 11 : C1 connecté à un brin adjacent sur la même extrémité du câble multibrin	11	Figure 33 : Collecteur avec 24 bobines en série	30
Figure 12 : P1 connecté à un autre brin sur la même extrémité du câble multibrin	11	Figure 34 : Données de d'enroulement ondulé	30
Figure 13 : L'autre extrémité du câble montre le brin sans marque portant C1 connecté au brin	11	Figure 35 : Agencement de bobine à enroulement ondulé	31
Figure 14 : Zone de contact réduite en raison d'un serrage excessif	12	Figure 36 : Résistance cible d'une barrette unique	31
Figure 15 : Raccords typiques devant être testés	12	Figure 37 : Résistance cible de barrettes en parallèle	31
Figure 16 : Défauts typiques pouvant être évités par des tests de faible résistance	12	Figure 38 : Circuit de pont de Wheatstone	32
Figure 17 : Sélection de la technique de mesure optimale	12	Figure 39 : Circuit de pont de Kelvin	32
Figure 18 : Exemple simplifié d'une mesure à 4 fils	13	Figure 40 : Série DLRO100	35
Figure 19 : Schéma de fonctionnement de base	15	Figure 41 : DLRO10 / DLRO10X	35
Figure 20 : Norme ASTM B193-65	17	Figure 42 : DLRO10HD	36
Figure 21 : Configurations sonde / cordon	17	Figure 43 : DLRO600	36
Figure 22 : Analyse des tendances des mesures de faible résistance	22	Figure 44 : DLRO200	37
		Figure 45 : MOM2	37
		Figure 46 : MJÖLNER200	37
		Figure 47 : MJÖLNER600	37
		Figure 48 : MOM690A	38
		Figure 49 : MOM200A / MOM600A	38
		Figure 50 : BT51	38
		Figure 51 : DLRO247000	39
		Figure 52 : Câbles de test duplex à connecteur	39

Guide pour les tests de faible résistance

Introduction

L'étude quantitative des circuits électriques prend naissance en 1827, lorsque Georg Simon Ohm publie son célèbre livre « Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet », dans lequel il expose sa théorie complète de l'électricité. Dans cet ouvrage, il présente la relation ou « loi » qui porte son nom :

$$\text{Résistance (R)} = \text{tension (E)} / \text{intensité (I)}$$

À cette époque, les normes pour la tension, l'intensité et la résistance n'avaient pas été élaborées. La Loi d'ohm pose que l'intensité du courant circulant dans un circuit dépend directement des forces ou pressions électriques, et inversement, sur une propriété du circuit appelée la résistance. De toute évidence, cependant, il ne disposait pas d'unités de la taille de nos volts, ampères et ohms actuels pour mesurer ces quantités.

À l'époque, les laboratoires élaboraient des éléments de résistance à base de fer, de cuivre ou d'autres alliages disponibles. Les laboratoires avaient besoin d'alliages stables pouvant être déplacés d'un lieu à un autre pour certifier les mesures à l'étude. La norme pour l'ohm devait être stable à la température avec un minimum d'effets dus au matériel connecté à l'ohm étalon.

En 1861, un comité est créé pour élaborer une résistance étalon. Ce comité comprenait un certain nombre d'hommes célèbres dont les noms nous sont familiers aujourd'hui, notamment James Clerk Maxwell, James Prescott Joule, Lord William Thomson Kelvin et Sir Charles Wheatstone. En 1864, une bobine de fil en alliage de platine-argent scellée dans un récipient rempli de paraffine est utilisée comme étalon. Ce système a été utilisé pendant 20 ans alors que des études se poursuivaient pour trouver un étalon plus fiable. Ces études se sont poursuivies alors que le National Bureau of Standards (NBS), désormais connu sous le nom de National Institute of Standards and Technology (NIST), contrôlait la norme pour « l'Ohm ». Aujourd'hui, l'industrie utilise l'alliage Manganin parce qu'il a un faible coefficient de température, si bien que sa résistance varie très peu avec la température. Les principales propriétés du Manganin sont mises en lumière dans les « Mesures électriques de base » de Melvin B. Stout.

La force électromotrice thermique par rapport au cuivre montre l'activité thermocouple de la matière qui permet de générer une tension simplement en connectant deux métaux différents ensemble. L'objectif est de minimiser l'activité thermocouple car cela introduit une erreur dans la mesure.

Avec le système métrique, les mesures sont en mètres et la résistivité est déterminée pour un mètre cube de matière. Cependant, les unités plus pratiques se basent sur un centimètre cube. Avec le système américain, la résistivité est définie en ohms par mil pied. Le diamètre de fil est mesuré en mil circulaires (0,001)ⁱⁱ et la longueur en pieds.

La Figure 1 montre la courbe de résistance à la température pour un fil de Manganin à 20 °C (68 °F). Pour les shunts en Manganin, la courbe de 20 °C passe à 50 °C (122 °F), étant donné que ce matériel va fonctionner à une température plus élevée en raison de l'application. L'alliage Manganin a été conçu pour être utilisé dans des bobines utilisées pour obtenir des conditions de mesure stables à une température ambiante de 20 °C.

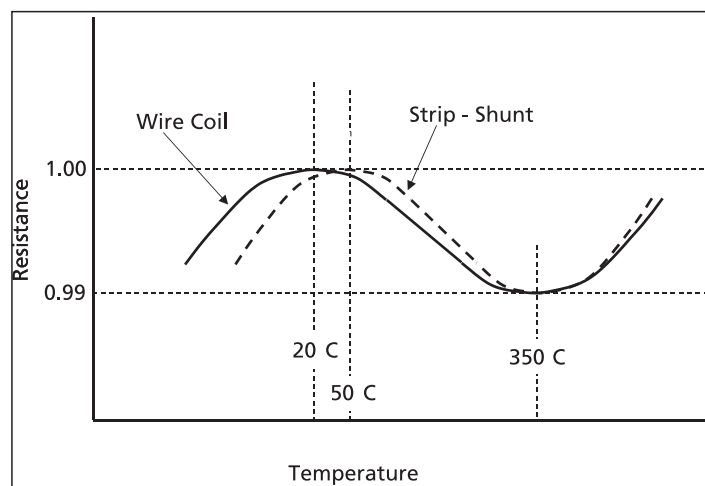


Figure 1 : Courbe de résistance qualitative à la température du Manganinⁱⁱⁱ

Tableau 1 : Principales propriétés du Manganin

Composition %	Résistivité		Coefficient de température par °C	Force électromotrice thermique contre le cuivre $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
	Micro-ohms par cm cube	Ohms pour mil pied circ.		
Cu 84 % Mn 12 % Ni 4 %	44 $\mu\Omega$	264 Ω	* $\pm 0,00001^\circ$	1,7

*Le Manganin ne subit aucun effet de 20 ° à 30 °C.

ⁱ Swoope's Lessons in Practical Electricity ; Eighteenth Edition ; Erich Hausmann, E.E., ScD. ; page 111.

ⁱⁱ Swoope's Lessons in Practical Electricity ; Eighteenth Edition ; Erich Hausmann, E.E., ScD. ; page 118.

ⁱⁱⁱ Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout ; 1950 ; page 61.

Guide pour les tests de faible résistance

L'alliage est modifié pour les bandes de matériau utilisées pour mesurer les shunts qui fonctionnent à une température ambiante plus élevée pouvant aller jusqu'à 50 °C.

L'objectif de ce manuel est d'aider l'ingénieur, le technicien ou l'utilisateur à comprendre :

- **La raison d'être des tests de faible résistance**
- **Comment faire une mesure de faible résistance**
- **Comment sélectionner le bon instrument pour l'application de test**
- **Comment interpréter et utiliser les résultats**

Bref historique des ohmmètres à faible résistance

L'ohmmètre à faible résistance original DUCTER™^{iv} a été élaboré par Evershed & Vignoles (l'une des entreprises à la base de Megger et le concepteur du premier testeur de résistance d'isolement) en 1908, et utilisait un mouvement à bobines croisées déjà utilisé dans le testeur de résistance d'isolement. Cette conception initiale a évolué vers les unités de terrain dans les années 1920, qui exigent une procédure de mise à niveau au moment du test en raison de la sensibilité de la bobine (pour être de niveau). Ces premiers modèles ne voyageaient pas bien et étaient sensibles aux chocs et aux vibrations.

Pendant cinquante ans, les ohmmètres à faible résistance portables de terrain ont été des unités analogiques. En 1976, pour répondre à la demande de nombreux clients, l'entreprise James G. Biddle (l'une des entreprises qui est finalement devenue Megger) a développé et mis sur le marché un ohmmètre à faible résistance numérique. Cette unité était connue sous son nom commercial, le DLRO. L'entreprise James G. Biddle a fini par sortir des versions 10 A et 100 A du DLRO, y compris une conception à boîte unique pour certaines versions qui ont simplifié le processus de test et un modèle avec une plage étendue.

Grâce à l'acquisition de Programma Electric AB, Megger a renforcé le programme d'ohmmètres à faible résistance (LRO) à courant élevé.

À la fin des années 70, le MOM (micro-ohmmètre) fut l'un des premiers produits développés par Programma Electric AB, et au cours des décennies qui ont suivi cette série a été complétée par le MJÖLNER et le MOM2. Le MJÖLNER est passé de la technologie basée sur transformateur à la technologie commutée, ce qui en a fait un instrument de test beaucoup plus léger. La dernière innovation est le MOM2, qui utilise une technologie de supercondensateur breveté pour générer l'intensité élevée, ce qui permet d'obtenir plus de 200 A dans un appareil portable qui pèse moins de 1 kg.

Ce style d'instrument a été très utile dans l'industrie pendant un certain nombre d'années, et les différentes versions continuent d'aider les utilisateurs finaux à résoudre des problèmes. Cependant, les avancées en matière d'électronique et

de batterie ont été telles qu'un nombre considérable d'améliorations ont pu être apportées aux conceptions des années 1970. Les ohmmètres à faible résistance nouvellement conçus par Megger incluent un espace de stockage des données et une capacité de téléchargement, des modes de test supplémentaires, et ils offrent un poids réduit, une grande autonomie de la batterie, etc.

Pourquoi mesurer la faible résistance ?

La mesure de la faible résistance aide à identifier les éléments de résistance dont la valeur a augmenté et dépasse les niveaux acceptables. Le fonctionnement de l'équipement électrique dépend du flux de courant contrôlé dans les limites des paramètres de conception de l'équipement donné. La Loi d'ohm stipule que pour une source d'énergie spécifique fonctionnant sur courant alternatif ou courant continu, la quantité de courant consommé est déterminée par la résistance du circuit ou du composant.

Dans l'âge moderne de l'électronique, des exigences accrues sont placées sur les circuits électriques. Il y a quelques années de cela, la capacité à mesurer 0,01 ohms était acceptable, mais, dans les environnements électroniques industriels actuels, l'ingénieur de test sur le terrain doit maintenant effectuer des mesures qui présentent une répétabilité à quelques micro-ohms près. Les mesures de ce type nécessitent un ohmmètre à faible résistance avec les caractéristiques uniques propres à la méthode de test à quatre fils qui est détaillée en « Mesures à quatre fils » à la page 14.

Les mesures de faibles résistances sont nécessaires pour prévenir les dommages à long terme de l'équipement existant et pour réduire la consommation d'énergie gaspillée en chaleur. Elles montrent les restrictions dans la circulation du courant qui pourraient empêcher une machine de générer sa pleine puissance ou qui ne laissent pas suffisamment de courant circuler pour activer les dispositifs de protection en cas de problème.

Des tests périodiques sont réalisés afin d'évaluer un état initial ou d'identifier des changements imprévus dans les valeurs mesurées, et les tendances de ces données permettent d'indiquer, et parfois de prévoir, des pannes possibles. Des changements excessifs dans les valeurs mesurées font ressortir la nécessité de

^{iv} Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout ; 1950 ; page 61.

Guide pour les tests de faible résistance

prendre des mesures correctives pour empêcher une panne importante. Lorsqu'il prend des mesures sur le terrain, l'utilisateur doit avoir des valeurs de référence qui s'appliquent à l'appareil à l'essai (le fabricant doit inclure ces informations dans la documentation ou sur la plaque signalétique fournie avec l'appareil). Si les tests sont une répétition de tests précédents, ces enregistrements peuvent également être utilisés pour observer la plage des mesures prévues.

Si, lors des tests, l'utilisateur enregistre les résultats et les conditions dans lesquelles les tests ont été effectués, ces informations deviennent le début d'une base de données qui peut être utilisée pour identifier des changements dus à la fatigue, à la corrosion, aux vibrations, à la température ou à d'autres conditions qui peuvent survenir sur le site de test.

Qu'est-ce qu'une mesure de faible résistance ?

Une mesure de faible résistance est généralement une mesure inférieure à 1 ohm. A ce niveau, il est important d'utiliser des instruments de test capables de réduire au minimum les erreurs introduites par la résistance du cordon de test et/ou la résistance de contact entre la sonde et le matériau à tester. De plus, à ce niveau, la tension stationnaire dans l'élément mesuré (p. ex. les forces électromotrices thermiques (femt) aux jonctions entre différents métaux) peut provoquer des erreurs qui doivent être identifiées.

Pour compenser les erreurs dans une mesure, une méthode de mesure à quatre points est utilisée avec un courant de test réversible et un appareil de mesure de pont de Kelvin adapté. Les ohmmètres à faible résistance sont conçus spécifiquement pour ces applications. De plus, la plage supérieure sur un certain nombre de ces appareils est donnée en kilo-ohms, ce qui couvre les plages inférieures d'un pont de Wheatstone (voir « Ponts de Wheatstone et de Kelvin » à la page 34 pour une discussion sur chaque méthode). La plage inférieure sur de nombreux ohmmètres à faible résistance est donnée avec une résolution de 0,1 micro-ohm. Ce niveau de mesure est nécessaire pour faire un certain nombre de tests de résistance dans la plage inférieure.

Qu'est-ce qu'une mesure de faible résistance indique à l'utilisateur ?

La résistance (R) est la propriété d'un circuit ou d'un élément qui détermine, pour un courant donné, la vitesse à laquelle l'énergie électrique est convertie en chaleur selon la formule $W=I^2R$. L'unité pratique est l'ohm. La mesure de faible résistance indique à l'utilisateur quand la dégradation a ou a eu lieu à l'intérieur d'un appareil électrique.

Les changements dans la valeur d'un élément de faible résistance sont l'une des indications les plus sûres et les plus rapides qui montrent qu'une dégradation se produit entre deux points de contact. Sinon, les relevés peuvent être comparés à

des spécimens de test « similaires ». Ces éléments comprennent les connexions de rails, les connexions de terre, les contacts des disjoncteurs, les commutateurs, les enroulements de transformateur, les connexions de barrettes d'accumulateur, les enroulements de moteur, les barres de cage d'écureuil, les jeux de barres avec raccords de câble et des connexions couplées des lits de terre.

La mesure alertera l'utilisateur sur les changements ayant eu lieu depuis la première et/ou les mesures suivantes. Ces changements peuvent se produire en raison d'un certain nombre de facteurs, notamment la température, la corrosion chimique, les vibrations, la perte de couple entre les surfaces de contact, la fatigue et de mauvaises manipulations.

Ces mesures doivent être prises à intervalles réguliers dans le cycle pour représenter les changements éventuels qui se produisent. Les changements saisonniers peuvent apparaître de façon évidente quand les données d'été et celles d'hiver sont examinées.

Quels sont les problèmes qui justifient la nécessité d'un test ?

En supposant qu'un appareil soit correctement installé, la température, le cyclage, la fatigue, les vibrations et la corrosion œuvrent tous à une dégradation progressive de la valeur de la résistance d'un appareil électrique. Ces influences s'accumulent sur une période jusqu'à atteindre un niveau où l'appareil ne fonctionne plus correctement. Le facteur de dégradation critique est déterminé par l'application.

Les attaques chimiques et environnementales sont incessantes. Même l'air oxygène les matières organiques tandis que la pénétration d'humidité, d'huile et de sel dégrade les connexions encore plus rapidement. La corrosion chimique peut attaquer la section transversale d'un élément, ce qui réduit la surface et augmente la résistance de l'élément. Les contraintes électriques, en particulier les surtensions ou impulsions soutenues, peuvent provoquer le relâchement des soudures. La contrainte mécanique due aux vibrations pendant le fonctionnement peut également dégrader les connexions et faire augmenter la résistance. Ces conditions se traduisent par un échauffement excessif lorsque le composant transporte le courant nominal, selon la formule $W=I^2R$. Par exemple :

6 000 A dans un bus de 1 $\mu\Omega$ = 36 Watts.

6 000 A dans un bus de 100 m Ω = 3 600 kWatts, ce qui se traduit par un échauffement excessif.

Non résolu, les problèmes de ce type peuvent entraîner la défaillance du système électrique contenant les composants concernés. Un échauffement excessif aboutira finalement à une défaillance due à un claquage, qui peut ouvrir un circuit sous tension.

Les alimentations de batterie de secours sont un bon exemple pratique de la façon dont la dégradation peut se produire dans des conditions normales d'utilisation. Les

Guide pour les tests de faible résistance

changements dans l'intensité du courant provoquent la dilatation et la contraction des connecteurs de bornes qui finissent par se desserrer ou se corroder. De plus, les connexions sont exposées à des vapeurs d'acide qui provoquent une dégradation supplémentaire. Ces conditions entraînent une diminution de la zone de contact entre les deux surfaces et l'augmentation connexe de la résistance de contact entre les deux surfaces, et cela finit par provoquer un échauffement excessif à la jonction.

Économiser de l'argent grâce aux tests de faible résistance

Si on y réfléchit, un raccord qui transporte du courant finira par chauffer au fil du temps. La quantité de chaleur dépend de la résistance de la connexion, de la quantité de courant qu'elle transporte, et aussi de la durée !

Alors, évidemment, un raccord ou une connexion de câble qui s'échauffe deviendra de plus en plus chaud jusqu'à ce que, si vous avez de la chance, cet échauffement soit identifié par imagerie thermique. Et si vous n'êtes pas aussi chanceux, vous vous en apercevrez lorsque les lumières s'éteignent parce que la connexion a grillé et que le dispositif de protection se met en marche.

Mais que faire si vous ne pouvez pas utiliser l'imagerie thermique parce qu'il n'y a pas de ligne directe du site jusqu'aux connexions. Ces échauffements peuvent se produire à l'intérieur d'un panneau et ne pas être repérés avant qu'il ne soit trop tard.

Les alimentations critiques tombent en panne régulièrement à cause de connexions qui surchauffent parce que les connexions à haute résistance grillent. En raison de leur nature critique, l'isolement et l'entretien réguliers sont presque impossibles.

Pensez aux hôpitaux et aux centres de données. Les installations de santé et de données sont probablement les installations les plus critiques et les plus vulnérables, mais aussi celles qui disposent des temps d'arrêt les plus courts pour la maintenance des appareillages de commutation fermés et des systèmes de jeux de barres du panneau.

En utilisant la formule $W = I^2R$ nous pouvons estimer la puissance perdue sur une ou plusieurs connexions.

Pour un ou plusieurs raccords de 10 kA avec une résistance de 0,1 mΩ, la puissance est de 10 kW. Pour un ou plusieurs raccords de 10 kA avec une résistance de 1 mΩ, la puissance est de 100 kW.

Pour un ou plusieurs raccords de 6 kA avec une résistance de 0,1 μΩ, la puissance est de 36 W. Pour un ou plusieurs raccords de 6 kA avec une résistance de 100 mΩ, la puissance est de 3 600 kW.

Simplement, la puissance se manifeste sous forme de chaleur.

Utiliser un DLRO pour vérifier la résistance de contact de l'appareillage de commutation, de raccords à reprise sur des jeux de barres et de raccords de câbles à

fourche avant la mise sous tension est le seul moyen sûr pour éviter que de mauvaises connexions se traduisent par des pannes potentiellement catastrophiques.

Industries faisant face à des problèmes de résistance importants

Les industries qui consomment de grandes quantités d'énergie électrique doivent inclure des mesures de faible résistance avec un ohmmètre à faible résistance dans leurs opérations de maintenance. Non seulement une résistance anormalement élevée provoque un échauffement indésirable, qui peut devenir dangereux, mais cela provoque également des pertes d'énergie, ce qui fait augmenter les coûts de fonctionnement ; en effet vous payez pour une énergie que vous ne pouvez pas utiliser.

En outre, certaines industries ont des spécifications critiques sur les connexions couplées afin d'assurer des connexions solides à des « lits de terre. » De mauvaises connexions réduisent l'efficacité du lit de terre et peuvent causer des problèmes importants liés à la qualité de l'alimentation et/ou des pannes catastrophiques en cas de surtension. Un certain nombre d'opérations de postes électriques fournissent des composants aux constructeurs aériens qui spécifient les connexions de faible résistance sur le châssis. Les connexions de barrettes entre les cellules sur un système d'alimentation par batterie de secours doivent également avoir une très faible résistance.

La liste générale des industries inclut :

- **Les entreprises de génération et de distribution d'énergie**
- **Les usines chimiques**
- **Les raffineries**
- **Les mines**
- **Les chemins de fer**
- **Les entreprises de télécommunications**
- **Les constructeurs automobiles**
- **Les constructeurs d'avions**
- **Les utilisateurs avec des systèmes d'alimentation sans interruption pour batterie de secours**

Guide pour les tests de faible résistance

Les équipements sur lesquels des tests de faible résistance doivent être effectués

Comme nous l'avons montré, les ohmmètres à faible résistance ont une application dans un large éventail d'industries, et peuvent aider à identifier un certain nombre de problèmes qui pourraient provoquer une panne de l'appareil. Dans les industries manufacturières, les bobinages de moteur, les disjoncteurs, les connexions de jeux de barres, les bobines, les raccords à la terre, les commutateurs, les raccords soudés, les paratonnerres, les petits transformateurs et les composants résistifs doivent tous subir des tests de faible résistance.

Voici quelques-unes des applications les plus courantes.

Induit de moteur

Les enroulements d'induit peuvent être testés pour identifier un court-circuit entre des bobines ou des conducteurs adjacents. Les barres d'une cage d'écurueil dans le rotor peuvent se séparer des plaques d'extrémité, ce qui entraîne une perte de rendement. Si un moteur semble perdre de la puissance, un test de faible résistance doit être effectué. Par ailleurs, des tests peuvent être effectués lorsque les roulements sont remplacés lors d'un arrêt annuel ou périodique.

■ Tests de moteur barre à barre

Les tests de moteur barre à barre sur les rotors de moteur à courant continu sont effectués pour identifier les bobines ouvertes en court-circuit. Ces tests se font avec des sondes portatives à ressort. C'est une méthode dynamique qui permet de déterminer l'état des enroulements et les connexions soudées à la partie verticale des segments du collecteur. Lorsque les données de test sont examinées périodiquement, il est possible d'identifier les effets de la surchauffe due à d'une température excessive.

Pour de plus amples informations, consultez la section « Tests de moteur barre à barre » en annexe.

Assemblage automobile

Les câbles dans un « robot » soudeur par points peuvent durcir en raison des flexions continuelles. Une fatigue peut finalement survenir et provoquer la rupture des brins. Cette condition entraîne une résistance élevée du plomb avec une perte de puissance de la soudure, ce qui provoque un mauvais point de soudure (pépité) ou même une panne complète de la machine.

Production et distribution d'énergie

Raccords, connexions et jeux de barres à courant élevé

Des jeux de barres dans un système d'alimentation composé de raccords à reprise et d'autres connexions sont utilisés pour fournir du courant aux éléments du système. Ces liaisons boulonnées peuvent se dégrader en raison des vibrations et de la corrosion (voir Figure 2). Les boulons sont serrés à une valeur spécifique (couple), et le moyen le plus rapide et le plus économique pour déterminer la qualité de la connexion consiste à mesurer la résistance du raccord. L'utilisateur disposer des données historiques afin de juger de l'adéquation de la connexion. Sans mesure corrective, la perte de puissance et/ou un échauffement excessif pourraient provoquer une fusion du raccord.

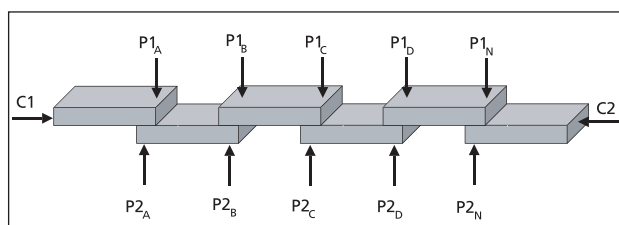


Figure 2 : Raccords de jeux de barres

Transformateurs

Les tests d'enroulement de transformateur sont effectués en usine, puis de façon périodique sur le terrain. Les tests en usine sont effectués à température ambiante. Un deuxième test effectué en usine est le test d'échauffement pour vérifier que, à la puissance nominale, la résistance des enroulements conserve ses caractéristiques de montée en température prévues.

Les gros transformateurs ont des « prises » sur les enroulements primaires et secondaires. L'état de ces prises doit être vérifié, étant donné que les prises secondaires sont utilisées quotidiennement et sont exposées à une usure excessive et aux vibrations lorsque le système de distribution de l'alimentation équilibre la charge transportée sur les différents circuits. Les prises sur le côté primaire sont essentielles pour procéder à des ajustements importants dans la distribution d'énergie et doivent être testées pour s'assurer qu'une connexion à faible résistance est disponible pour la nouvelle condition de puissance. Les connexions de prises peuvent se corroder lorsqu'elles ne sont pas utilisées et peuvent surchauffer en raison de l'intensité élevée (ce qui peut provoquer un incendie).

Pour de plus amples informations, consultez la section « Tests de transformateurs » en annexe.

Guide pour les tests de faible résistance

Alimentation sans interruption - Barrettes d'accumulateur

Sur les batteries industrielles connectées en série, les barrettes (barres de cuivre recouvertes de plomb) sont fixées aux bornes des batteries adjacentes, (+) à (-), avec des boulons en acier inoxydable. Ces surfaces sont nettoyées, graissées et serrées à un couple prédéfini. Comme indiqué précédemment, elles sont soumises à des vibrations, à la corrosion chimique et la chaleur dues à la charge et aux décharges de courant élevé associées à l'application. Le moyen le plus rapide et le plus efficace de déterminer la qualité des connexions consiste à mesurer la résistance entre les deux bornes adjacentes de la batterie (voir Figure 3 et 4).

C'est la seule application de terrain au cours de laquelle l'utilisateur effectue des mesures sur un système sous tension. Pour de plus amples informations, reportez-vous à la section « Test de barrettes d'accumulateur » en annexe.

Veuillez noter qu'il existe différents niveaux de « courant de floating » dans un système de batterie, et la procédure de test doit tenir compte de ce courant. Un test est effectué avec le courant de test ajouté au courant de floating et un deuxième test est effectué avec le courant de test opposé au courant de floating. Une moyenne de ces deux mesures est calculée pour déterminer la valeur « ohmique » de la connexion.

Les procédures standard requièrent des mesures à intervalles réguliers étant donné que l'expérience passée montre que les barrettes d'accumulateur sont l'un des éléments les plus fragiles dans le fonctionnement d'un système de batterie. Lorsqu'aucun programme de tests réguliers n'est mis en place, des connexions à résistance élevée peuvent se développer. Cette situation peut entraîner l'incapacité de la batterie à fournir un courant suffisant lorsque c'est nécessaire, et quand à cela s'ajoute des surtensions et l'hydrogène gazeux qui se dégage des cellules de la batterie, cela peut provoquer un incendie dans le système de batterie, détruisant l'onduleur.

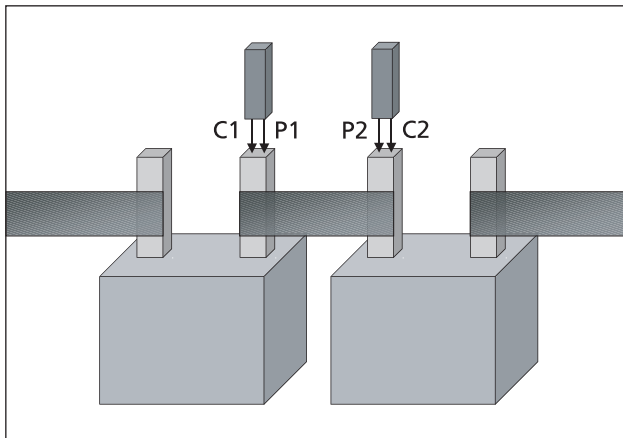


Figure 3 : Barrette unique avec deux surfaces de contact

À l'intérieur d'une cellule, des bandes de support « portent » les plaques. Les plaques sont suspendues à des bandes de support dans le liquide dans la cellule. Si la résistance de la borne aux soudures de la bande de support est trop élevée, la capacité de la batterie à transporter le courant est limitée. En plus de mesurer la résistance de la barrette, un ohmmètre à faible résistance peut également être utilisé pour mesurer la qualité de ces soudures (voir Figure 5).

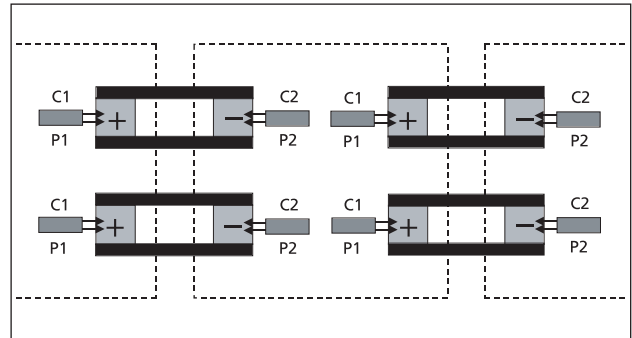


Figure 4 : Barrettes parallèles sur un grand complexe de batteries

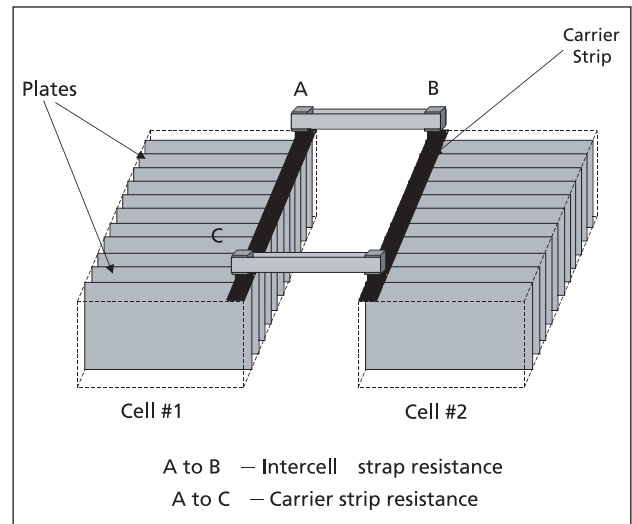


Figure 5 : Mesure de la résistance de la bande de support

Guide pour les tests de faible résistance

Usines de ciment et autres applications de traitement de matières premières

Le système électrique dans une usine de ciment ou dans d'autres installations de transformation de matières premières comprend des moteurs, des relais, des interrupteurs, etc. Pour le bon fonctionnement des installations, il est essentiel de tester ces éléments qui transportent du courant dans le cadre d'un programme ordinaire ou lorsque des rénovations ont lieu. La qualité des connexions électriques peut aider à identifier des éléments ou des connexions faibles dans le système.

Remarque : La poussière de ciment est chimiquement active (corrosive) et attaque les connexions métalliques.

Disjoncteurs

En raison de la formation d'arcs électriques au niveau des plots d'un disjoncteur, des couches de matière carbonisée peuvent s'accumuler et la zone de contact sous tension se réduit ou se pique, ce qui provoque une résistance accrue et un échauffement. Cette situation réduit l'efficacité du disjoncteur et peut entraîner la défaillance d'un système de transmission actif entraînant la perte d'un poste électrique. Lors de la planification d'un test, l'utilisateur doit connaître les normes relatives aux tests de courant CEI62271-100 (minimum 50 A) ANSI et ANSI C37.09 (minimum 100 A). Lorsque des tests sont effectués sur un grand disjoncteur à huile, les meilleurs instruments font augmenter le courant, le maintiennent pendant un certain temps puis le font baisser (voir « Test de rampe » à la page 34).

Lorsqu'un courant continu circule dans un circuit équipé d'un transformateur de courant (TC), le transformateur est magnétisé. Le problème est que le flanc positif dans le courant continu peut provoquer un transitoire susceptible de déclencher le relais. Un courant continu avec une grande ondulation est particulièrement problématique.

Des précautions doivent être prises lors de réalisation d'une mesure sur un TC car des courants continus élevés peuvent saturer le TC et le rendre insensible aux défauts potentiels. De plus, une ondulation dans le courant de test peut déclencher les disjoncteurs.

Une situation de ce genre peut être évitée en positionnant soigneusement les sondes de courant, et l'ondulation présente sur la forme d'onde peut être minimisée en séparant les cordons de test. Vous pouvez également utiliser un ensemble de tests avec une fonction de rampe et un courant continu lissé.

Assemblage d'avions

Il est nécessaire de tester la mise à la terre de toutes ses connexions électriques et mécaniques du châssis pour garantir la stabilité du « plan de masse » à l'intérieur d'un avion. Ces connexions de mise à la terre physiques fournissent un chemin uniforme pour décharger l'électricité statique dans les déperditeurs sur le bord

de fuite des ailes et de l'empennage. Ce chemin permet de réduire le risque d'endommager l'avionique en cas de foudre.

Au fil du temps, la mise à la terre des déperditeurs statiques, de l'antenne, de la tringlerie de commande et des bornes de batterie doit être inspectée. L'intégrité d'un système d'échappement soudé doit également être vérifiée et documentée.

En fonctionnement normal, l'excès d'électricité statique n'aura pas d'effet sur le fonctionnement de la plupart des systèmes de navigation et de communication. Plus la résistance des connexions est faible, plus les performances de ces systèmes sont bonnes.

Raccords de câbles et de barrettes entre des segments de rail (industrie ferroviaire)

Dans l'environnement ferroviaire, les raccords sont exposés à des vibrations car les roues passent sur les rails (chaque clic-clac provoque des vibrations dans l'interface reliant la barrette au rail). Ces raccords font partie du système de contrôle qui indique à l'utilisateur l'emplacement des différents trains. Dans le système ferroviaire, un système téléphonique utilise les conducteurs du rail pour communiquer. La résistance de ces raccords est essentielle pour les performances du système de contrôle. Dans les systèmes qui utilisent trois rails, le troisième rail est la source active de puissance du moteur, et la puissance perdue à cause d'un raccord à résistance élevée (par exemple un mauvais raccord Cadweld) réduit l'efficacité du système de transit. L'utilisateur peut sélectionner une section de cinq pieds (1,5 m) de voie ferrée sans raccord, effectuer une mesure et mesurer ensuite une section de cinq pieds avec un raccord pour déterminer la qualité de la connexion. En règle générale, ces mesures doivent être de l'ordre quelques micro-ohms (ou $\pm 5\%$).

Électrodes de graphite

Les électrodes de graphite ont une caractéristique de température négative (lorsque la température de l'élément augmente, la mesure de résistance diminue). Des carottes de graphite sont extrudées sous forme de cylindres de grand diamètre et peuvent atteindre jusqu'à six pieds (1,8 m) de longueur. Ces grandes carottes sont utilisées notamment dans les raffineries d'aluminium où des courants élevés (150 000 A) sont utilisés pour réduire le minerai de bauxite en aluminium de qualité supérieure.

Des tests de faible résistance sont effectués dans le cadre du contrôle de qualité pour vérifier la densité de l'extrusion de graphite. En raison de la taille des électrodes, ce test nécessite un dispositif de test spécial pour introduire le courant de test sur la surface des extrémités, et garantir une densité de courant uniforme dans tout le volume de l'échantillon. Les sondes de potentiel sont alors connectées à un échantillon d'une longueur connue pour déterminer le nombre « d'ohms par unité de longueur » (voir Figure 6).

Guide pour les tests de faible résistance

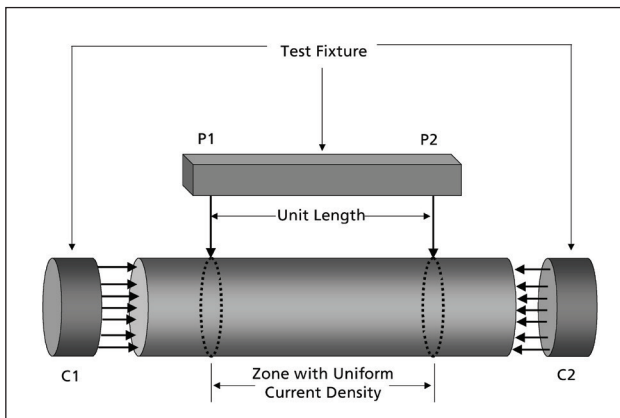


Figure 6 : Test de densité uniforme sur des carottes en graphite (ohms / in)

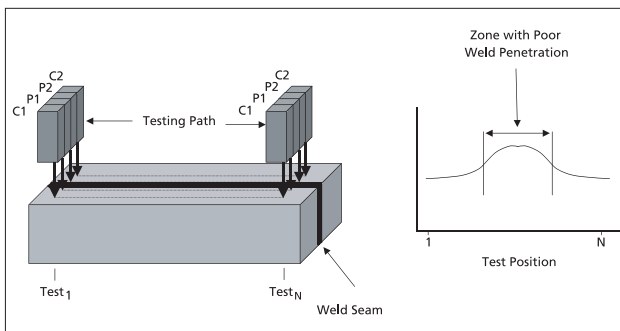


Figure 7 : Série de mesures sur un joint de soudure

Point ou joint de soudure

La qualité d'un point de soudure peut être déterminée en mesurant la résistance à travers les matériaux joints. La qualité d'une soudure peut être déterminée par une série de tests le long du joint de soudure. Les résultats doivent rester dans une bande de valeur étroite. Une hausse puis une baisse dans les mesures montre que l'uniformité de la soudure n'est pas conforme aux spécifications. Pour effectuer correctement cette mesure, l'utilisateur doit fabriquer un dispositif pour maintenir les sondes dans une relation fixe. Les mesures sont ensuite prises sur un certain nombre de points au niveau du joint de soudure puis tracées (voir Figure 7). Ces mesures sont normalement de l'ordre du micro-ohm et une attention particulière doit être portée à la conception du dispositif de test.

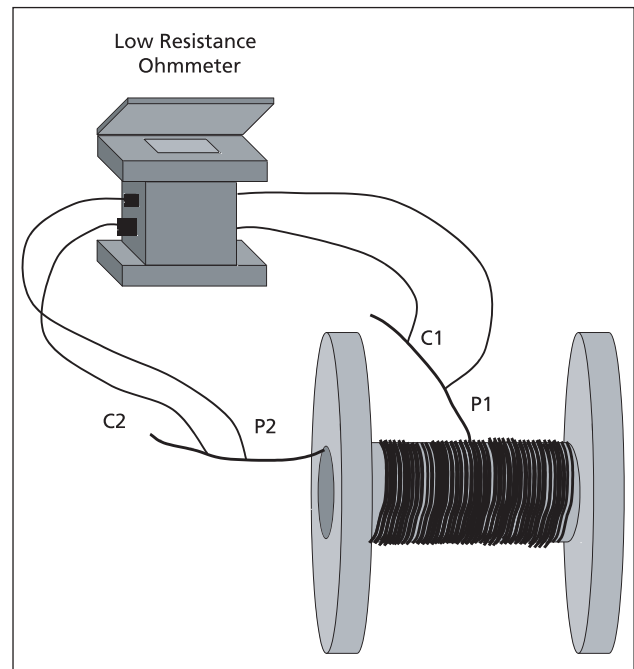


Figure 8 : Déterminer la longueur de câble restant sur une bobine

Bobines de câble

Une bobine de fil de cuivre isolé peut porter une étiquette qui indique la section de fil et les ohms par unité de longueur. Quand du fil reste sur la bobine après une utilisation partielle, la longueur restante peut être calculée en mesurant la résistance du fil et en faisant un calcul à l'aide des spécifications d'ohms par unité de longueur (voir Figure 8).

Autrement, si l'étiquette a été détruite, l'utilisateur peut couper une longueur de fil connue, mesurer cet échantillon et déterminer le nombre d'ohms par unité de longueur. Cette valeur peut ensuite être utilisée avec le relevé pris lors de la mesure de l'équilibre du fil sur la bobine pour calculer la longueur restante. La température de la bobine de câble sera à peu près la même que celle de l'échantillon. Même si la température interne de la bobine peut être légèrement différente, il est possible de calculer une estimation raisonnable de la quantité de câble restante. Si l'utilisateur se réfère aux tableaux de température dans la section « Effets de la température » à la page 27, il est possible d'estimer l'imprécision. Cette méthode s'utilise aussi pour les fils en aluminium et en acier à condition que le fil dispose d'un revêtement isolant pour éviter un court-circuit entre des boucles de fil adjacentes.

Guide pour les tests de faible résistance

Mesure de la résistance de câbles multibrins comprenant au moins 3 brins

Lorsqu'on mesure la résistance d'un câble, la méthode standard consiste à connecter le courant et le cordon de potentiel à chaque extrémité du brin de câble à tester (voir Figure 9).

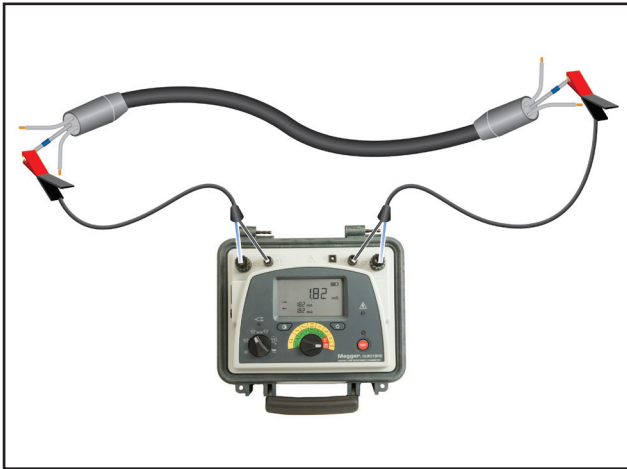


Figure 9 : Test conventionnel, une pince kelvin à chaque extrémité d'un brin d'un câble multibrin.

Lorsque le câble est trop long pour utiliser les rallonges de cordon de test, ou quand le câble passe à travers le plancher d'un bâtiment, la méthode ci-dessus ne peut pas être utilisée. Cependant, il existe un moyen de configurer les cordons de test pour mesurer la résistance de chaque brin du câble en positionnant le DLRO à une extrémité du câble à tester. Les cordons de test de courant et de potentiel doivent être branchés séparément et non pas comme une connexion unique de type kelvin.

Étape 1 : Branchez les cordons de courant et de potentiel C2 et P2 au brin testé. Dans la Figure 10 c'est le brin avec la marque bleue.

Étape 2 : Connectez le cordon de courant C à un brin adjacent. Dans la Figure 11 c'est le brin sans marque.

Étape 3 : Branchez le cordon de potentiel P1 sur l'autre brin. Dans la Figure 12 c'est le brin avec la marque rouge.

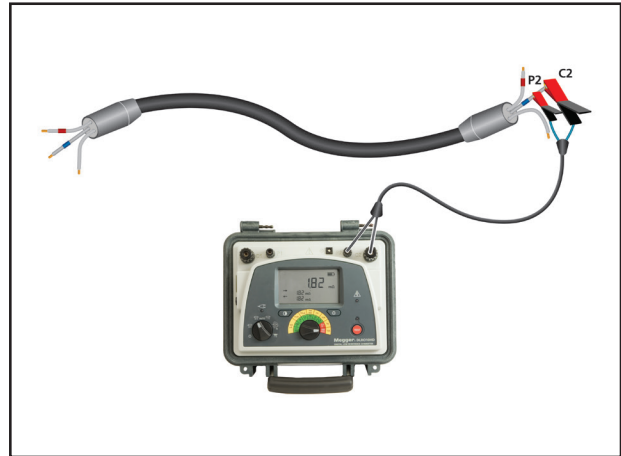


Figure 10 : Les C2 et P2 sont présentés comme des câbles distincts allant de l'appareil à l'un des brins

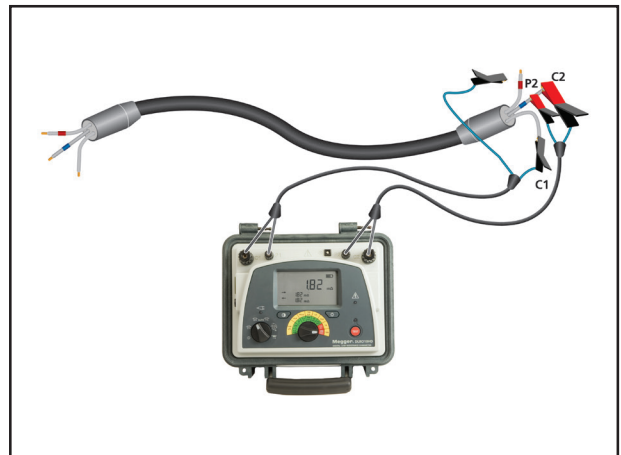


Figure 11 : C1 connecté à un brin adjacent sur la même extrémité du câble multibrin

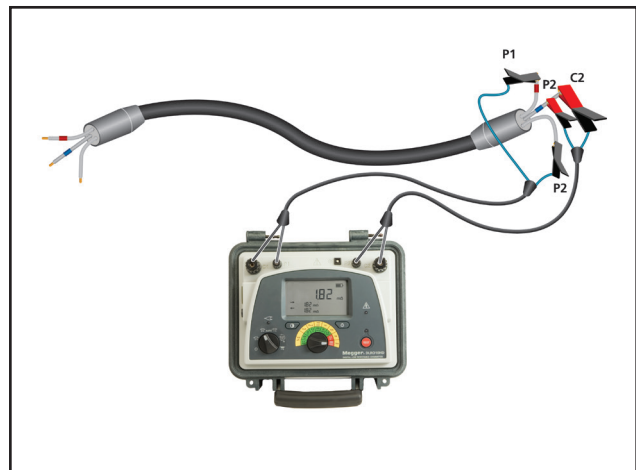


Figure 12 : P1 connecté à un autre brin sur la même extrémité du câble multibrin

Guide pour les tests de faible résistance

Étape 4 : À l'autre extrémité du câble, connectez le brin C1 au brin 1 et le brin 3 au brin 1 à l'aide d'un cordon de raccordement court en veillant à ce que le brin portant la connexion P1 se trouve sur le côté interne du câble.

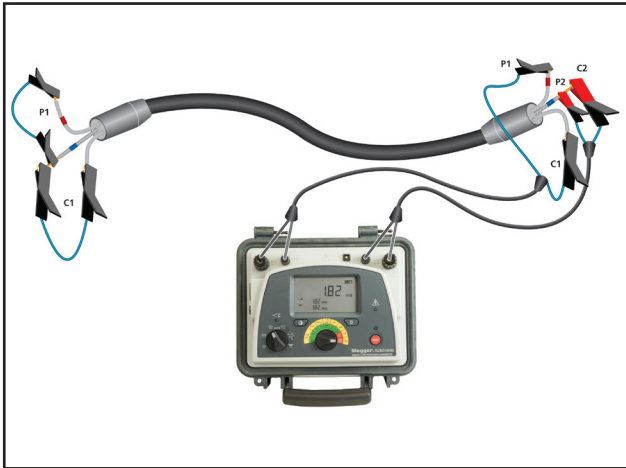


Figure 13 : L'autre extrémité du câble montre le brin sans marque portant C1 connecté au brin avec la marque bleue (le brin à tester) et le brin avec la marque rouge portant P1 connecté au brin avec la marque bleue (le brin à tester) les connexions étant faites avec des câbles de raccordement courts

La configuration simple (voir Figure 13) montre que la résistance de câbles multibrins longs peut être mesurée en utilisant 2 brins du câble dans le cadre du circuit de mesure.

Utiliser les mesures de faible résistance pour définir le couple

Une application du DLRO dont on se sert rarement est l'utilisation de mesures de faibles résistances dans l'assemblage d'éléments boulonnés pour définir un couple.

Lorsque les raccords à reprise des jeux de barres ou les cosses de terminaux sont trop serrés, le matériau du raccord devient concave et au lieu d'assurer une meilleure connexion, la résistance commence à augmenter à mesure que la surface de contact se déforme. C'est pourquoi chaque raccord et chaque connexion dans un système a normalement un couple de serrage défini par le fabricant.

Mais ce n'est pas tout. Si le raccord subit une contamination lorsqu'il est serré à son couple de serrage, la résistance plus élevée peut passer inaperçue et la connexion commence la spirale conduisant à la surchauffe, à la formation d'arcs électriques et à une défaillance éventuelle.

Mais que faire si le fabricant n'a pas indiqué de couple pour la connexion ? Le DLRO peut être utilisé pendant le serrage afin de vérifier que la résistance du raccord est à sa valeur optimale avant de le mettre sous tension et de le faire fonctionner.

Les connexions à boulon simple rencontrent toujours des problèmes liés à la relation entre le serrage et la surface de contact optimale.

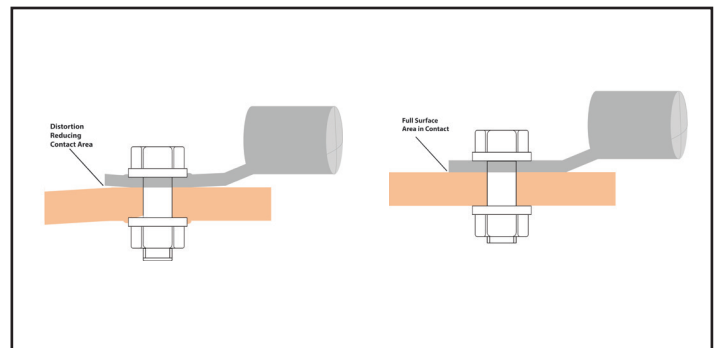


Figure 14 : Zone de contact réduite en raison d'un serrage excessif

Pour cette raison, et afin d'augmenter la surface de contact, de nombreux panneaux et systèmes de jeux de barres utilisent des raccords par serrage, à reprise ou de type sandwich (voir Figure 14). Dans les assemblages soumis à une chaleur et des vibrations excessives, les questions abordées peuvent devenir dramatiques très rapidement, c'est pourquoi on utilise davantage des mécanismes de verrouillage élaborés pour maintenir la résistance de contact une fois celle-ci définie.

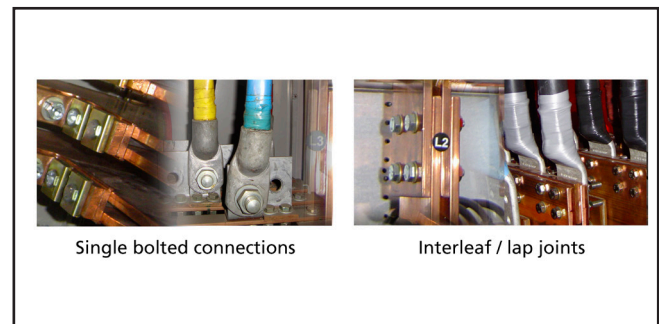


Figure 15 : Raccords typiques devant être testés

Lorsqu'on utilise le DLRO pour mesurer l'efficacité de ces types de connexions (voir Figure 15), les données peuvent être recueillies. En utilisant des techniques de maintenance prédictive, elles permettent de dégager la tendance au fil du temps afin d'identifier les défaillances potentielles dans un raccord ou un assemblage

Guide pour les tests de faible résistance

de pièces reliées par une détection précoce d'une augmentation des niveaux de résistance (voir Figure 16).

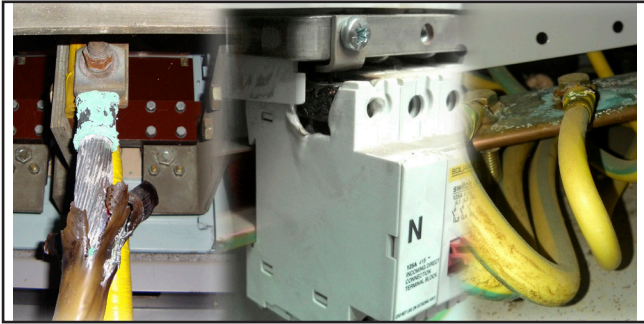


Figure 16 : Défaits typiques pouvant être évités par des tests de faible résistance

Comment mesure-t-on une faible résistance ?

Mesures de courant continu à deux, trois et quatre fils

Pourquoi certains instruments de mesure de la résistance ne possèdent-ils que deux cordons de test, d'autres trois cordons de test, et d'autres même quatre ? La réponse dépend du degré d'information requis pour la mesure et de l'amplitude de la résistance à mesurer. Les mesures de résistance couvrent un large éventail de valeurs qui va du micro-ohm à des milliers de méga-ohms. La Figure 17 montre la plage de mesure dans laquelle chaque type d'instrument fonctionne de façon optimale.

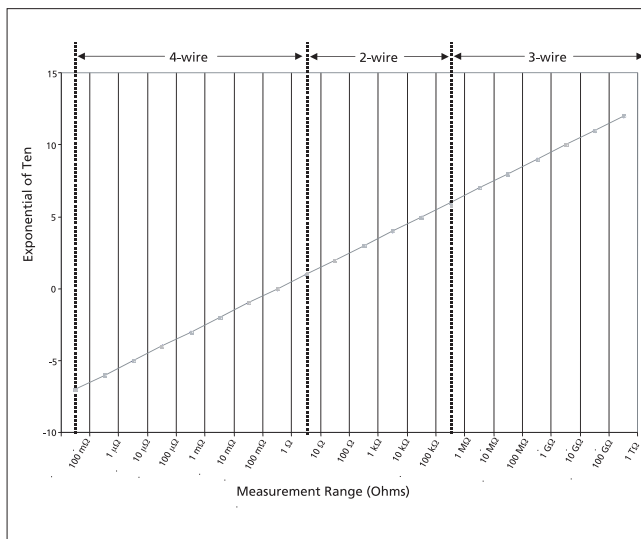


Figure 17 : Sélection de la technique de mesure optimale

Mesures à deux fils

Les tests à deux fils sont la méthode la plus simple et sont utilisés pour faire une évaluation générale d'un élément du circuit, d'un conducteur ou le routage d'un conducteur dans un circuit. La configuration à deux fils est celle que les utilisateurs connaissent le mieux, car c'est la configuration utilisée sur la plupart des multimètres. Elle est généralement utilisée lorsque la résistance de contact de la sonde, la résistance du câble série ou les résistances de fuite parallèles ne dégradent pas la qualité de la mesure au-delà d'un point acceptable pour l'utilisateur.

La valeur mesurée comprend les valeurs de la résistance du cordon de test et de la résistance de contact de la sonde, ce qui a une incidence sur la mesure car cela ajoute quelques dizaines de milli-ohms à la résistance réelle. Dans la plupart des cas, cela fait peu de différence sur la valeur mesurée, mais lorsque la mesure est inférieure à 1 ohm la méthode à deux fils peut facilement introduire une erreur dans la valeur de résistance mesurée qui peut s'élever à quelques pour cent.

Les spécifications sur certains appareils portatifs donnent une plage de 200 milli-ohms avec une sensibilité d'un milli-ohm. La résistance du cordon peut être remise à zéro, mais cela laisse l'incertitude liée à la résistance de contact, qui peut changer à chaque mesure. Les valeurs de résistance de contact peuvent être de l'ordre de 35 milli-ohms à chaque sonde et peuvent varier avec la température du matériau à l'étude.

Il est préférable d'utiliser la méthode de test à deux fils pour des mesures supérieures à 10 ohms jusqu'à 1 à 10 méga-ohms.

Mesures à trois fils

Les tests de courant continu à trois fils sont réservés à des résistances très élevées et sont généralement utilisés pour les mesures supérieures à 10 méga-ohms. Nous associons normalement ces types de tests au diagnostic de résistance d'isolement. Cette méthode de test utilise un troisième cordon de test comme garde, et permet d'éliminer de la mesure les résistances en parallèle avec le circuit de test. Cette résistance parallèle est habituellement beaucoup plus faible que la résistance d'isolement mesurée. En fait elle peut, dans les cas graves, finir par court-circuiter la résistance d'isolement tant et si bien qu'il n'est pas possible de prendre une mesure significative sans utiliser un circuit de protection.

Cette méthode de test est décrite et illustrée dans les brochures Megger « Un point d'isolement à temps » et « Guide de test de diagnostic d'isolement supérieur à 1 kV ».

Guide pour les tests de faible résistance

Mesures à quatre fils

Les tests à quatre fils sont la méthode la plus précise pour mesurer des circuits inférieurs à 10 ohms car cette méthode élimine les erreurs dues à la résistance de contact et à la résistance des fils. C'est la méthode de test utilisée par les ohmmètres à faible résistance. Les mesures de courant continu à quatre fils utilisent deux cordons de courant et deux cordons de potentiel (voir Figure 18). La mesure de courant continu à quatre fils neutralise les erreurs dues aux valeurs de résistance du cordon de sonde et de toute autre résistance de contact dans le résultat final, ce qui garantit des mesures plus précises.

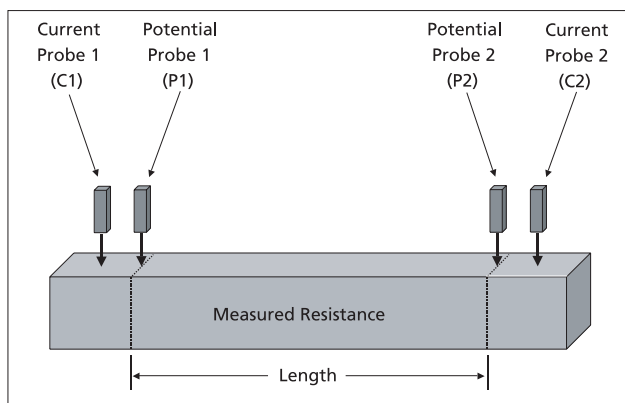


Figure 18 : Exemple simplifié d'une mesure à 4 fils

COURANT CONTINU vs COURANT ALTERNATIF

La question ici concerne la sélection du type de courant de test. On utilise un instrument à courant continu pour mesurer la résistance pure d'un circuit ou d'un appareil. On utilise un instrument à courant alternatif pour des applications telles que des tests de lit de terre ou des tests d'impédance.

Un impédancemètre spécial est utilisé pour faire des tests sur des batteries industrielles. Le mot impédance est utilisé pour montrer qu'une mesure est composée d'une résistance et d'une réactance, qui peut être une composante soit capacitive, soit inductive. Ces mesures sont effectuées dans le cadre d'un programme de maintenance de la batterie ; on utilise généralement un ohmmètre à faible résistance pour faire les tests de vérification de la connexion de la barrette.

Les systèmes de mesure de courant alternatif à trois ou quatre fils sont utilisés pour effectuer des tests sur des « lits de terre » avec des fréquences spécifiques qui excluent les erreurs de mesure dues aux courants de masse de 50/60 Hz. L'utilisation d'un courant alternatif empêche le courant de test de polariser les ions du sol, ce qui modifie les conditions et donc les valeurs mesurées. C'est une question qui concerne les installations de distribution électrique et le secteur des

télécommunications. Le chemin de faible résistance de terre est nécessaire pour maintenir le potentiel du fil de mise à terre au potentiel de « terre ». Le rendement électrique du système d'alimentation réduit les risques de choc puisqu'un chemin à la terre est disponible pour l'énergie de la foudre et autres tensions statiques qui peuvent affecter le système de contrôle de l'énergie. Les mêmes conditions s'appliquent aux systèmes de téléphonie, étant donné que des terres à résistance élevée peuvent provoquer un bruit excessif sur la voix et les liaisons de données (voir le manuel Megger « Getting Down to Earth (mise à la terre) » pour plus d'informations sur les tests de résistance de terre). Ces deux industries exigent non seulement une faible résistance de terre, mais aussi des « liaisons C.A./C.C. » de faible résistance entre le lit de terre et les circuits actifs.

Différence entre continuité et faible résistance

En termes simples, la continuité nous montre que nous sommes connectés aux deux extrémités du même câble. Cela se fait normalement sous forme d'un test à 2 fils avec une mesure de résistance de 10 mΩ ou supérieure. Dans de nombreux cas, cette valeur est acceptable et peut être enregistrée sur la certification. Mais il convient de garder à l'esprit que la continuité peut également être prouvée avec une indication, par exemple un buzzer ou une lampe témoin.

Les mesures de faibles résistances peuvent commencer à 0,1 μΩ, et révèlent souvent des problèmes de connexion dans des raccords et des contacts qui peuvent s'avérer être des points de défaillance en devenir. Ce test utilise la méthode de test à 4 fils qui n'est pas sensible à la résistance de cordon ou sonde/pinces de connexion de l'appareil testé comme peut l'être la méthode de continuité à 2 fils.

Modes de test

Les ohmmètres numériques à faible résistance conçus dans les années 1970 et 1980 proposaient généralement deux modes de fonctionnement, chacun étant conçu pour des applications spécifiques. La technologie récente de microprocesseur a permis à de nouveaux instruments d'inclure des modes de test supplémentaires, et ainsi d'augmenter les capacités de ces modèles. Voici un bref aperçu des types de modes de test disponibles sur différents instruments de l'époque :

Guide pour les tests de faible résistance

Modèles conçus dans les années 1970 et 1980

Mode continu : Permet au courant de test de circuler et de prendre une mesure lorsque les sondes de courant et de potentiel sont en contact avec le spécimen de test. Ce mode de fonctionnement est généralement mis en œuvre lorsque les jeux de cordons à point à ressorts hélicoïdaux sont utilisés. C'est la méthode normale lors de la réalisation de tests sur le terrain. La durée de vie de la batterie est prolongée, étant donné que le courant de test circule uniquement lorsque les tests sont en cours.

Mode momentané : Les deux jeux de cordons de test doivent être connectés au spécimen. La mesure est effectuée lorsque l'interrupteur est mis en position « Momentané ». Ce mode de fonctionnement est utilisé lorsque des cordons distincts de courant et de potentiel sont connectés au spécimen.

Modèles 10 ampères

Mode normal : L'utilisateur branche les quatre cordons de test et appuie sur le bouton de test de l'instrument pour démarrer un test. L'instrument vérifie la continuité des connexions de test et applique ensuite un courant direct et inverse. Le relevé est affiché pendant une courte période (10 secondes).

Mode automatique : Permet d'effectuer des mesures de courant direct et de courant inverse (la valeur moyenne est affichée) en faisant contact avec les quatre sondes. Chaque fois que les sondes sont retirées et reconnectées à la charge, un autre test est effectué. Ce mode, similaire au mode continu des instruments plus anciens, est un excellent moyen pour gagner du temps lorsque les barrettes d'accumulateur sont testées avec des pointes. Avantage supplémentaire, lorsque des pointes sont utilisées, la détection de contact assure un bon contact avant que des courants élevés ne soient appliqués. Cela évite la formation d'arcs électriques quand le contact se fait, ce qui érode les pointes de la sonde et risque d'endommager la surface de l'élément testé.

Mode continu : Permet d'effectuer des mesures répétées sur le même échantillon. Une fois les fils de test connectés et le bouton de test enfoncé, une mesure est effectuée à intervalle régulier de plusieurs secondes jusqu'à ce que le circuit se coupe.

Mode unidirectionnel : Applique un courant dans une seule direction. Bien que ce type de mesure n'annule pas les forces électromotrices stationnaires, cela accélère le processus de mesure. Dans de nombreuses conditions de test, comme les tests de barrettes d'accumulateur, il n'est pas nécessaire de faire un test de courant inverse sur l'échantillon. Ce mode est également utilisé lorsque des objets avec des propriétés inductives sont testés, par exemple des moteurs et des transformateurs.

Modèles 100 A et supérieurs

Mode normal : L'utilisateur branche les quatre cordons de test et appuie sur le bouton de test de l'instrument pour démarrer un test. L'instrument vérifie la continuité des connexions de test et applique ensuite le courant de test.

Mode continu : Utilisé pour surveiller les conditions de test sur une période définie. Une fois les fils de test connectés et le bouton de test enfoncé, les tests sont enregistrés à intervalle régulier de plusieurs secondes jusqu'à ce que le bouton de test soit enfoncé à nouveau ou que le contact avec l'une des sondes de test soit rompu.

Mode automatique : En raison des courants de test élevés utilisés, l'utilisateur branche les cordons de courant, sélectionne le courant de test voulu et appuie sur le bouton test. Dès que les cordons de potentiel sont branchés, un test démarre. Pour faire un autre test, il suffit de couper tout contact avec les sondes de tension et de recréer le contact. C'est un excellent mode pour mesurer des raccords individuels dans un jeu de barres.

Guide pour les tests de faible résistance

Comment marche un ohmmètre à faible résistance ?

Un ohmmètre à faible résistance utilise deux circuits de mesure internes. L'alimentation injecte un courant dans l'échantillon de test à travers deux cordons, habituellement représentés par C1 et C2, et l'amplitude de l'intensité est mesurée. Dans le même temps, deux sondes (généralement appelées P1 et P2) mesurent le potentiel dans l'échantillon. L'instrument fait ensuite un calcul interne pour déterminer la résistance de l'échantillon de test.

Pourquoi cette approche permet-elle d'obtenir une mesure indépendante de la résistance du cordon et la de résistance de contact ?

Nous avons représenté le circuit de mesure complet en Figure 19. Le courant est injecté dans l'élément testé via les cordons C1 et C2. Le courant qui circule dépend de la résistance totale de cette boucle et de la puissance disponible pour pousser le courant à travers cette résistance. Étant donné que ce courant est mesuré, et que la valeur mesurée est utilisée dans les calculs ultérieurs, la résistance de boucle, y compris la résistance des cordons et des contacts de C1 et C2, n'a pas d'effet sur le résultat final.

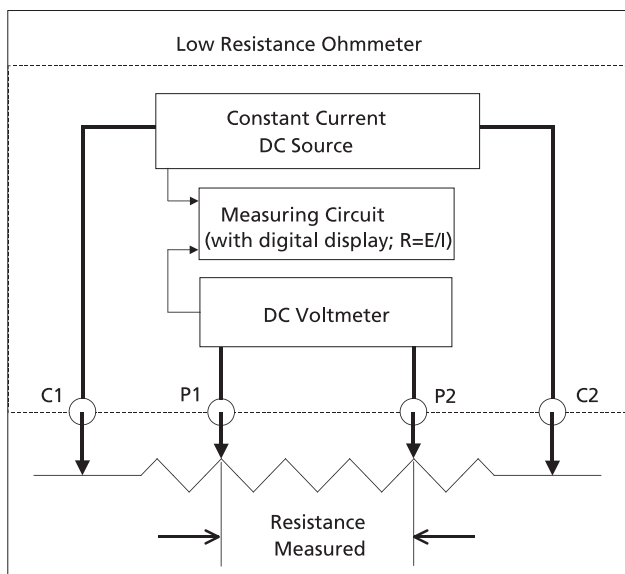


Figure 19 : Schéma de fonctionnement de base

La loi d'ohm énonce que si l'on fait passer un courant à travers une résistance, une tension est générée aux bornes de la résistance. Cette tension est détectée par les sondes P1 et P2. Le voltmètre auquel ces sondes sont connectées en interne a une impédance élevée, ce qui empêche le courant de circuler dans cette boucle potentielle. Puisqu'il n'y a pas de courant qui circule, la résistance des contacts

P1 et P2 ne produit pas de tension et n'a donc aucun effet sur la différence de potentiel (tension) détectée par les sondes. De plus, étant donné qu'il n'y a aucune circulation de courant dans les cordons P, leur résistance ne produit aucun effet.

Un courant de sortie élevé est l'une des caractéristiques importantes d'un véritable ohmmètre à faible résistance. Les multimètres génériques ne fournissent pas assez de courant pour donner une indication fiable des capacités de conduction des raccords, des soudures des jonctions et autres dans des conditions de fonctionnement réelles. Dans le même temps, ils nécessitent peu de tension, étant donné que les mesures sont généralement prises à l'extrémité basse du spectre de résistance. Seule la baisse de tension sur la résistance mesurée est essentielle, et elle est mesurée au millivolt près.

Les bons instruments alertent l'utilisateur en cas de circuit ouvert sur les fils de test et quelques modèles offrent une sélection de plage automatique.

Sécurité

La sécurité relève de la responsabilité de la personne qui est en contact avec l'échantillon à tester, que ce soit l'ingénieur ou le technicien de test sur le terrain. La majorité des tests sont effectués sur des circuits hors tension. Lorsque des composants magnétiques sont testés, un état de saturation des enroulements peut se produire. L'utilisateur doit brancher un court-circuit dans l'enroulement afin de neutraliser l'énergie stockée dans l'enroulement et il doit ensuite effectuer un test de tension pour vérifier la neutralité de l'échantillon. Certains instruments disposent d'indicateurs lumineux sur les sondes de test pour alerter l'utilisateur en cas de tension.

Les tests de barrettes d'accumulateur se font dans des conditions spéciales, étant donné que les accumulateurs doivent rester connectés. L'utilisateur est tenu d'utiliser des gants isolants, un masque et un tablier de protection lorsqu'il effectue ces tests. C'est l'une des rares fois où des tests de résistance électrique sont effectués sur le terrain sur des systèmes sous tension. Pour effectuer ces tests, des sondes spéciales prévues pour un fonctionnement à 600 V sont disponibles avec les instruments les plus récents.

L'utilisation d'instruments capables de stocker les valeurs mesurées améliore la sécurité, étant donné que l'utilisateur n'a pas besoin de noter les relevés entre chaque test.

Test sur des échantillons hors tension

Pour des raisons de sécurité d'ordre général, les tests doivent toujours être effectués sur des échantillons hors tension. Une formation et des équipements spéciaux sont nécessaires pour effectuer des tests sur des circuits sous tension. Quelques instruments disposent de circuits d'entrée à fusible interne qui permettent de protéger l'instrument si celui-ci est branché par inadvertance à un échantillon de test sous tension. La faible impédance d'entrée de l'alimentation interne sur les

Guide pour les tests de faible résistance

instruments généraux devient un récepteur de courant en cas de connexion à un circuit sous tension.

Utilisation et emploi abusif des ohmmètres à faible résistance

L'utilisateur doit utiliser les bons cordons de test pour assurer le fonctionnement efficace d'un ohmmètre à faible résistance. Les instruments alimentés par batterie sont conçus pour une résistance de cordon spécifique, basée sur la durée de la séquence de test. Les cordons spécifiés permettent à l'alimentation d'effectuer une décharge de courant raisonnable pour le cycle de test. Si des cordons avec une résistance plus élevée sont utilisés, le courant utilisé pour le test peut être inférieur au courant dont l'appareil a besoin, ce qui peut provoquer un problème lié au rapport signal-bruit qui peut réduire la précision et/ou la répétabilité de la mesure.

Si des cordons avec des valeurs de résistance plus faibles que celles spécifiées sont utilisés, le cycle de test de l'instrument sera plus court que prévu. Cette situation peut être appropriée si l'appareil doit être utilisé dans un programme de test effectué dans un environnement avec un bruit électrique élevé. L'utilisation de cordons blindés spéciaux peut également être une solution pour ces situations de bruit élevé.

Utiliser un ohmmètre à faible résistance pour échantillonner la résistance d'un lit de terre est une erreur courante sur le terrain. Cette application n'est pas correcte, étant donné que la méthode de test de lit de terre nécessite un instrument qui permet d'activer ou de désactiver le signal de test à une fréquence et un niveau de courant connus. Si un ohmmètre à faible résistance est utilisé dans cette application, il donnera une mesure erronée étant donné que le courant de terre aura une influence indue sur la mesure.

Un véritable testeur de masse fonctionne essentiellement de la même façon qu'un ohmmètre à faible résistance, c'est à dire, en injectant un courant dans l'échantillon testé et en mesurant la chute de tension dans celui-ci. Cependant, de nombreux courants, provenant d'autres sources comme par exemple le réseau électrique public, circulent généralement dans la terre. Ces courants interfèrent avec la mesure de courant continu relevée par un ohmmètre à faible résistance. Cependant, le véritable testeur de masse fonctionne avec une onde carrée alternative définie avec une fréquence distincte des harmoniques du réseau électrique public. De cette manière, il est capable de faire une mesure discrète qui ne subit pas l'influence du bruit.

Sélection du courant

En fonction de l'instrument choisi, la sélection de courant peut être manuelle ou automatique. L'utilisateur doit sélectionner le courant le plus élevé approprié afin de fournir le meilleur rapport signal-bruit pour la mesure. Sur les instruments qui offrent des niveaux de courant supérieurs à 10 A, une attention particulière est requise pour

réduire au minimum l'échauffement de l'échantillon susceptible de faire changer la résistance de l'échantillon.

Les instruments conçus pour tester les disjoncteurs ont des caractéristiques de courant beaucoup plus élevées. Pour les chemins de courant élevé comme les raccords de lignes aériennes, les jeux de barres et les disjoncteurs, il est important d'effectuer la mesure avec un courant aussi élevé que possible afin de pouvoir détecter les chemins de courant dégradés. Des phénomènes appelés « points chauds » chauffent le chemin de courant à une intensité élevée et la chaleur augmente encore plus la résistance, ce qui aggrave la situation. Ce défaut doit être détecté avant qu'il ne se produise dans la fourchette de courants nominaux et ne crée un problème.

Pour être conforme aux normes des disjoncteurs, un minimum de 50 A (CEI) et 100 A (ANSI) est nécessaire pour effectuer des mesures de faible résistance.

Dans les disjoncteurs, les contaminations peuvent influencer les résultats et donner une valeur supérieure à la valeur attendue. En utilisant un courant élevé, celui-ci franchit la contamination et ainsi l'utilisateur obtient la valeur correcte.

Les instruments conçus spécifiquement pour tester les transformateurs ont un niveau d'alimentation haute tension spécial au début du test pour saturer les enroulements. Ces instruments passent ensuite à un mode de courant constant plus faible pour mesurer l'enroulement du transformateur.

Il est également important que l'instrument décharge le transformateur une fois la mesure terminée. Sinon, des tensions mortelles peuvent être présentes à la déconnexion. Des instruments de test dédiés offrant ces fonctionnalités intégrées sont disponibles.

Attention : N'utilisez jamais un LRO non dédié pour mesurer la résistance du bobinage d'un transformateur de puissance, car des tensions mortelles peuvent être présentes si un enroulement n'est pas déchargé correctement avant de débrancher les cordons.

Sélection des sondes et des cordons

Les cordons de potentiel et de courant sont connectés séparément ou à une sonde. Lorsque des sondes sont utilisées, la connexion de potentiel est identifiée par un P. Les connexions sont mises en contact avec l'échantillon de sorte que les contacts ou les cordons avec un P identifiés sont positionnés en face les uns des autres. Les contacts de courant sont ensuite placés à l'extérieur ou à l'écart des connexions de potentiel. Cela permet au courant de circuler avec une densité de courant plus uniforme sur l'ensemble de l'échantillon mesuré.

Pour les tests les plus rigoureux, des cordons de test distincts sont utilisés et les connexions de courant sont positionnées loin des connexions de potentiel à une

Guide pour les tests de faible résistance

distance qui est de 1,5 fois la circonférence de l'échantillon mesuré. La norme ASTM B193-65 fournit des directives pour effectuer une mesure permettant d'avoir une densité de courant uniforme. Cette norme suggère de séparer les sondes de courant des sondes de potentiel par une distance correspondant à 1,5 fois le périmètre de la section transversale de l'échantillon testé. La Figure 20 de la page suivante montre un test réalisé conformément à la norme sur un élément de test cylindrique.

L'utilisation de sondes, de pinces kelvin, ou de pinces en C permet de répondre à la plupart des exigences de terrain étant donné que l'utilisateur doit faire des mesures répétitives dans les mêmes conditions. Les pointes aiguës des sondes devraient laisser une marque sur l'échantillon pour les tests futurs. Dans certaines situations, un marqueur peut être utilisé pour indiquer la zone de test et les positions de la sonde sont identifiées par les empreintes de la sonde.

Des cordons sont disponibles dans des longueurs différentes afin de répondre aux différentes exigences d'application sur le terrain. La sélection de la sonde se fait à partir de cordons de courant et de potentiel distincts avec des pinces pour se connecter à l'échantillon testé. Les sondes avec points à ressort hélicoïdal sont dotées d'une sonde de potentiel et d'une sonde de courant dans la même poignée. L'identification « P » sur la sonde indique la position sur l'échantillon à laquelle la mesure est prise. Cet agencement de sonde offre une méthode pratique pour prendre des mesures répétitives (idéal pour les tests sur les connexions de barrettes dans les systèmes d'alimentation de batterie avec onduleur).

Les pinces kelvin et pinces en C ont les connexions de courant et de potentiel à 180 ° l'une de l'autre, avec des connexions séparées pour le courant et le potentiel. La taille de la terminaison de connexion détermine l'outil à sélectionner. Voir Figure 21 pour les différentes configurations de sondes/cordons.

Remarque : L'ordre de connexion des pinces de courant et de potentiel n'est pas important. Cependant, ne connectez jamais la pince de potentiel à la pince de courant car cela risque de provoquer une erreur dans la mesure en raison de la baisse de tension à l'interface de la connexion de courant à l'échantillon.

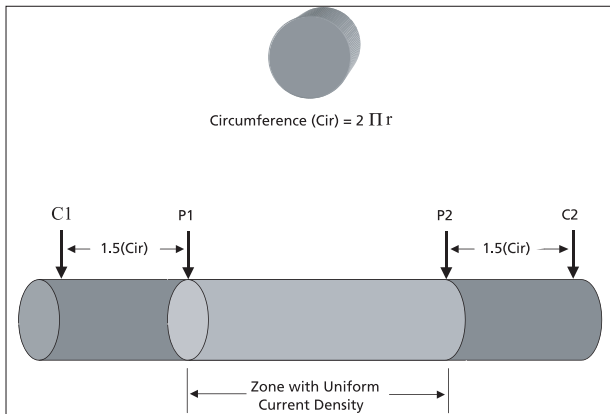


Figure 20 : Norme ASTM B193-65

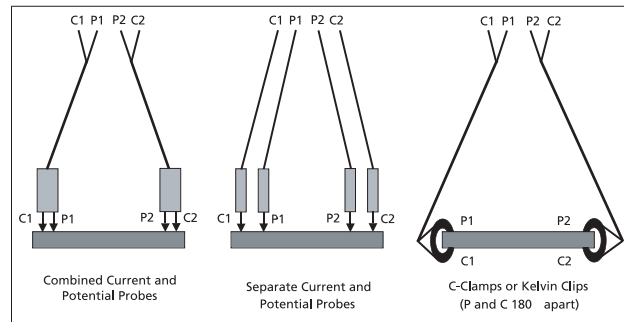


Figure 21 : Configurations sonde / cordon

Tests dans la plage inférieure

En cas de mesure à l'extrémité inférieure de la plage de précision et de sensibilité, des facteurs qui seraient trop petits pour avoir une incidence dans les tests conventionnels deviennent significatifs.

Dans les tests de faible résistance, les forces électromotrices thermiques (femt), également connues sous le nom de tension Seebeck, peuvent produire des gradients de tension dans l'échantillon de test. Bien qu'elles ne soient que de l'ordre du millivolt, et qu'elles n'aient pas ou peu d'incidence sur les tests effectués avec des multimètres courants, ces forces peuvent causer des fluctuations de plusieurs chiffres. Cette instabilité va à l'encontre de l'objectif d'une mesure de haute précision. En outre, des interférences de courant continu peuvent être induites par la proximité de champs électriques ou magnétiques, ou peuvent être présentes dans la charge flottante sur le système de batterie de secours, ou provenir de commutateurs qui fuient, d'un déséquilibre électrique, etc.

Ce problème est facilement surmontable en prenant des mesures en polarité directe et inverse puis en faisant la moyenne des deux. Sur certains modèles, cela se fait avec un inverseur de polarité manuel, alors que d'autres modèles effectuent les deux mesures automatiquement, puis affichent la valeur moyenne. Si la mesure unidirectionnelle est nécessaire (pour gagner du temps (comme dans les tests de barrettes d'accumulateur)), le testeur peut avoir une fonction prioritaire. Une autre technique sophistiquée mesure automatiquement l'amplitude et la pente des forces électromotrices thermiques et les soustrait de la mesure affichée.

Cependant, la technique la plus simple consiste à tester avec une intensité élevée si c'est un chemin de courant élevé. Étant donné que la tension mesurée est sensiblement plus élevée que la tension des forces électromotrices thermiques, l'exactitude est conservée. Cette méthode simple permet également de gagner du temps puisqu'une inversion de polarité n'est pas nécessaire.

Guide pour les tests de faible résistance

Types de testeurs - lequel choisir ?

Milli-ohmmètre

Comme son nom l'indique, un milli-ohmmètre est moins sensible qu'un micro-ohmmètre, avec une capacité de mesure dans la plage du milli-ohm plutôt que du micro-ohm (résolution minimale de 0,01 milli-ohm). Ce type d'instrument est normalement utilisé pour la vérification générale de circuits et de composants. Les milli-ohmmètres sont généralement moins chers que les micro-ohmmètres, ce qui en fait un bon choix si la sensibilité et la résolution ne sont pas des éléments critiques. Le courant de test maximum est généralement inférieur à 2 A et peut descendre jusqu'à 0,2 A.

Micro-ohmmètre 10 A

Le micro-ohmmètre portable de terrain avec un courant de test maximum de 10 A est considéré comme une « bête de somme » par la plupart des utilisateurs car il couvre la majorité des applications sur le terrain. La sortie de 10 A fournit non seulement un courant de test approprié et suffisant dans l'échantillon testé pour effectuer la mesure, mais elle permet également de réduire le poids et d'améliorer le fonctionnement sur batterie.

Les meilleurs micro-ohmmètres 10 A offrent des mesures allant de 0,1 micro-ohm à 2 000 ohms avec une meilleure résolution de 0,1 micro-ohm à l'extrémité inférieure de la plage et une précision de $\pm 0,2\%$, $\pm 0,2$ micro-ohm. Sur certains instruments, différents modes de mesure peuvent être sélectionnés afin de répondre à différents types de conditions de test. Les modes de mesure peuvent inclure le mode manuel, le mode automatique, un test en continu, ou un test haute puissance sur des enroulements.

Voici une liste des principales applications de mesure de résistance C.C. pour les micro-ohmmètres 10 A.

- Résistance de disjoncteur et de commutateur
- Raccords de câbles et de jeux de barres
- Raccords de châssis et circuits de contrôle statique d'avions
- Intégrité de raccords soudés
- Barrettes de connexions intercellulaires sur les systèmes de batterie
- Composants résistifs (contrôle de qualité)
- Petit transformateur et résistance des enroulements moteur
- Raccords de rails et de tuyaux
- Soudure d'alliages métalliques et résistance des fusibles
- Électrodes de graphite et autres composites

- Résistance des fils et câbles
- Antenne de l'émetteur et couplage de paratonnerre

Micro-ohmmètre 100 A et supérieur

Conformément à la norme CEI62271-100, un test de résistance de contact de disjoncteurs haute tension C.A. nécessite un courant de test avec une valeur comprise entre 50 A et le courant nominal. La norme ANSI C37.09 indique que le courant de test doit être au minimum de 100 A. La plupart des services d'électricité préfèrent tester à des courants plus élevés, car ils considèrent que c'est plus représentatif des conditions de fonctionnement.

Il existe des micro-ohmmètres portatifs de terrain capables de fournir de 100 A jusqu'à 600 A (en fonction de la résistance de charge et de la tension d'alimentation). Les meilleurs instruments ont une résolution de mesures de l'ordre de 0,1 micro-ohm et offrent des courants de test variables pour répondre à un éventail d'applications plus large. Si un test est effectué à 10 A, puis à un courant plus élevé, l'utilisateur est mieux à même de comprendre les besoins de maintenance du disjoncteur.

Comme indiqué précédemment, les contaminations dans un disjoncteur peuvent avoir une incidence sur les résultats d'une valeur supérieure à ce qu'on peut attendre. En utilisant un courant élevé, celui-ci franchit la contamination et ainsi l'utilisateur obtient la valeur correcte.

En plus de disjoncteurs, les services d'électricité et les entreprises de test utilisent des micro-ohmmètres avec des courants plus élevés sur d'autres appareils haute tension, notamment :

- Câbles
- Raccords de câble
- Raccords de lignes aériennes
- Connexions à la masse
- Protections contre la foudre
- Soudures
- Jeux de barres
- Appareils de commutation en général

Lorsqu'un micro-ohmmètre de 100 A (ou supérieur) est utilisé, l'utilisateur doit être conscient de certains problèmes techniques liés aux tests à des courants élevés. Certains utilisateurs ont indiqué qu'ils font un test à 10 A, puis obtiennent de meilleures valeurs de résistance avec des courants de test à 100 A (ou plus). Cette différence dans les mesures soulève la question de savoir si une maintenance supplémentaire est nécessaire. Une lecture stricte de la Loi d'ohm n'évoque pas la nécessité d'un courant plus élevé pour effectuer la mesure. Dans l'équation $R = V/I$, l'intensité du courant n'est pas définie. Est-ce une situation où le courant élevé rejette les contaminants loin des contacts et, dans le même temps, soude les

Guide pour les tests de faible résistance

contacts l'un à l'autre ? L'utilisateur doit être conscient qu'ils peuvent ainsi masquer un problème potentiel dans un système de distribution d'alimentation et éluder une maintenance nécessaire.

L'utilisateur doit également être conscient que les appareils à courant élevé sont conçus pour être utilisés à une intensité élevée. Leur précision peut être réduite considérablement à des courants faibles, en particulier lors de la mesure de petites résistances.

Niveaux de courant de test nominal vs. absolu

Les ohmmètres numériques à faible résistance fonctionnant sur batterie offrent des courants de test différents, qui sont fonction de la plage sélectionnée. La plage la plus faible a le niveau de courant le plus élevé et, à mesure que la plage augmente, le courant diminue. Lorsque la plage augmente d'un facteur 10, le courant de test diminue d'un facteur 10. Cette action permet d'établir un équilibre de poids et de fonction ; si le courant augmentait quand la plage augmente, cet instrument de terrain perdrait beaucoup de sa portabilité et son utilité pour les tests sur le terrain diminuerait de manière significative. Dans les centrales électriques, les postes électriques et les sites de distribution, l'équipement de test est exposé à des interférences dues aux courants élevés générés dans la zone. L'utilisateur devra déterminer le niveau de courant de test pour obtenir les mesures les plus précises et les plus reproductibles.

Les courants de tests standard de l'industrie ont été élaborés en fonction de la technologie de mesure disponible. Avec la technologie initiale, des courants énormes étaient nécessaires pour développer une tension dans un échantillon de test avec une résistance négligeable. Selon la loi d'ohm, un appareil typique avec une échelle d'un millivolt nécessiterait 100 A pour mesurer une résistance de l'ordre d'un micro-ohm. Le micro-ohm étant l'unité de mesure la plus courante pour les tests de faible résistance, les testeurs 100 A sont devenus la conception standard pour les premiers instruments.

Malheureusement, cette conception donnait des testeurs qui étaient grands, difficiles à déplacer, et d'un intérêt pratique limité sur le terrain. Le développement de mouvements à bobines croisées, avec équilibrage de la tension et de courant dans deux bobines séparées qui entraînent l'aiguille, a permis une augmentation spectaculaire de la sensibilité, et fait descendre les courants de test exploitables au niveau de 10 A qui nous est familier aujourd'hui. Bien sûr, les microprocesseurs ont permis d'accroître la sensibilité des instruments modernes. Mais ce processus est limité car il nécessite une suppression adéquate du bruit. Les ohmmètres à faible résistance mesurent à des niveaux beaucoup plus bas que les multimètres courants, de l'ordre de plusieurs puissances de dix. Le bruit devient important par comparaison, rend la suppression du bruit essentielle pour le bon fonctionnement de l'instrument. Le testeur doit donc maintenir un rapport signal-bruit adéquat.

Les testeurs avec des courants de sortie élevés sont encore largement utilisés, pour des tests sur des types d'équipement spécifiques. Le facteur limitant sur l'extrémité haute est principalement la production de chaleur. Les tests effectués avec à une intensité trop élevée peuvent provoquer un échauffement, abimer l'élément testé, et même souder les contacts. Certains types d'équipement comme les disjoncteurs de courant alternatif haute tension (voir CEI62271-100) ont des conducteurs et des zones de contact suffisamment grands pour transporter des courants de plusieurs centaines d'ampères sans subir ces effets nocifs.

La demande de courant de test est critique lorsque des bobines, des transformateurs ou d'autres composants magnétiques sont testés en raison des caractéristiques inductives de ces types de composants. Les normes de l'industrie peuvent exiger un courant élevé spécifié. Ce choix est généralement un compromis entre divers facteurs tel que discuté ci-dessus, qui tient compte de l'aspect pratique, plutôt que d'exigences justifiées scientifiquement. Les testeurs sophistiqués équilibrent automatiquement l'intensité par rapport à la charge, pour une précision maximale et un échauffement minimal, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'imposer des valeurs spécifiques prédéfinies à la procédure de test. Certains fabricants spécifient 200 ampères ou plus pour les contacts de disjoncteur SF6 afin de surmonter l'oxydation sur les surfaces de contact.

Remarque : Le pont de Kelvin, qui est utilisé pour effectuer des mesures de l'ordre du sous-micro-ohm, utilise un courant de test d'environ 5 A.

Plage automatique

La fonction de plage automatique sur un instrument permet à l'utilisateur d'utiliser pleinement les sondes de test. Un instrument avec plage automatique sélectionne automatiquement la plage pour donner le meilleur affichage, fournir la meilleure sensibilité de mesure et optimiser la résolution de la mesure.

Lorsque l'utilisateur effectue une série de mesures, il est en mesure d'optimiser l'utilisation de son temps.

Indice de protection

Indiqué en petits caractères (spécifications) sur la plupart des fiches techniques des instruments de test, l'indice de protection (IP) fournit à l'utilisateur des informations vitales. De fait, l'indice IP indique à l'utilisateur si l'équipement de test est adapté à une application et / ou à l'environnement de test.

« IP » est l'abréviation de « indice de protection ». Il s'agit du degré auquel l'instrument peut résister à la pénétration de corps étrangers. Le système de classification de l'indice IP a été établi par la CEI (Commission électrotechnique internationale) dans sa norme 529. Il permet aux utilisateurs de protéger leurs instruments. Il leur permet également de prendre une décision d'achat éclairée en s'assurant que l'équipement de test est prévu pour fonctionner dans les environnements que rencontre un utilisateur.

Guide pour les tests de faible résistance

L'indice IP se compose de deux chiffres, chacun correspondant à une caractéristique particulière. La désignation indique le niveau de protection contre la pénétration de corps étrangers, à la fois l'humidité et la poussière (plus le chiffre est élevé, meilleur est le degré de protection). Quelles informations un indice IP54 fournit-il à un acheteur potentiel sur les propriétés d'un modèle ? Tout d'abord il convient de rappeler qu'il faudrait lire IP cinq-quatre et non pas IP cinquante-quatre pour être tout à fait précis. Chaque chiffre se rapporte à une classification distincte.

Le premier chiffre correspond à la pénétration de particules, indiquant dans quelle mesure les objets solides peuvent pénétrer dans le boîtier. Un niveau de « 5 » indique une « protection contre la poussière », ainsi qu'une protection contre l'intrusion avec un câble d'à peine 1 mm. Il n'existe qu'une seule catégorie au-dessus : « étanche à la poussière ».

Le deuxième chiffre se rapporte à l'humidité. L'indice « 4 » signifie « résistance aux projections d'eau, de toutes les directions ». Les indices supérieurs, de 5 à 8, font référence à des « projections d'eau à la lance » et à l'immersion « temporaire » ou « prolongée ».

Prenons par exemple un instrument coté IP43. Que cela nous apprend à l'utilisateur concernant l'utilité de l'instrument ? Qu'il conviendra parfaitement à une utilisation dans une carrière ou usine de ciment ? Pas vraiment. L'indice 4 pour les particules signifie « objets supérieurs ou égaux à 1 mm ». C'est une montagne comparé aux particules produites par les processus industriels. Les poussières en suspension pourraient causer la panne de l'instrument.

Supposons que l'appareil ait un indice IP42. L'indice d'humidité 2 se rapporte aux « gouttes d'eau ». Par conséquent, il n'est pas résistant aux projections. L'utilisation d'un instrument dont l'indice IP est inadapté pour l'environnement prévu obligera l'utilisateur à racheter un nouvel instrument très rapidement. Que dire d'un indice de protection IP40 ? L'indice d'humidité 0 signifie que l'instrument n'est pas protégé **du tout** contre la pénétration des liquides.

Les tableaux suivants présentent les indices et leur signification :

Tableau 2 : Protection contre l'accès et les entrées

Premier chiffre	Description
0	Non-protégé
1	Objets de taille supérieure ou égale à 50 mm Protégé contre l'accès avec le dos de la main
2	Objets de taille supérieure ou égale à 12,5 mm Protégé contre l'accès avec le doigt
3	Objets de taille supérieure ou égale à 2,5 mm Protégé contre l'accès avec un outil
4	Objets de taille supérieure ou égale à 1 mm Protégé contre l'accès avec un fil
5	Protégé contre la poussière
6	Étanche à la poussière

Tableau 3 : Protection contre la pénétration de liquides

Deuxième chiffre	Description
0	Non-protégé
1	Gouttes d'eau verticales
2	Gouttes d'eau à 15° d'inclinaison
3	Eau en pluie à 60° d'inclinaison maximum par rapport à la verticale
4	Projection d'eau, de toutes les directions
5	Projection d'eau à la lance, de toutes les directions
6	Projection puissante d'eau à la lance, de toutes les directions
7	Immersion temporaire dans l'eau
8	Immersion prolongée dans l'eau

Guide pour les tests de faible résistance

Évaluation / interprétation des résultats

Répétabilité

Un ohmmètre à faible résistance de bonne qualité fournit des mesures reproductibles dans les spécifications de précision de l'instrument. Une spécification de précision typique est de $\pm 0,2\%$ de la mesure, ± 2 chiffre le moins significatif (LSD). Pour une mesure de 1 500, cette spécification de précision permet une variation de $\pm 3,2$ ($0,2\% \times 1\,500 = 3$; $2 \text{ LSD} = 0,2$).

De plus, le coefficient de température doit être pris en compte dans la lecture si la température ambiante s'écarte de la température d'étalonnage standard.

Lectures de points / attentes de base pour les relevés

Les lectures de points peuvent être très importantes pour comprendre l'état d'un système électrique. L'utilisateur doit avoir une idée du niveau de la mesure attendue en fonction de la fiche de données du système ou de la plaque signalétique du fournisseur. En utilisant cette information comme référence, les variations peuvent être identifiées et analysées. Une comparaison peut également être faite avec les données recueillies sur des équipements similaires.

Comme nous l'avons dit, la fiche de données ou la plaque signalétique d'un appareil électrique doit inclure les données utiles à son fonctionnement. Les exigences de tension, de courant et de puissance peuvent être utilisées pour évaluer la résistance d'un circuit, et les spécifications de fonctionnement peuvent être utilisés pour déterminer la variation autorisée dans un appareil (par exemple, avec des barrettes d'accumulateur, les résistances de connexion changent avec le temps). Diverses normes nationales fournissent des recommandations pour des cycles de test périodiques.

La température de l'appareil a une forte influence sur la mesure attendue. Par exemple, les données recueillies sur un moteur chaud sont différentes de celles relevées à froid au moment de l'installation. Lorsque le moteur chauffe, les mesures de résistance augmentent. La résistance des enroulements de cuivre réagit aux changements de température en fonction de la nature fondamentale du matériau cuivre. Un examen plus détaillé des effets de la température est proposé en annexe. En utilisant les données de la plaque signalétique d'un moteur, le pourcentage de variation de résistance attendue dû à la température peut être estimé à l'aide du Tableau 4 pour les enroulements de cuivre ou de l'équation sur laquelle elle est basée.

Des matériaux différents ont chacun des coefficients de température différents. Par conséquent, l'équation de correction de température varie selon le matériau testé.

Tableau 4 : Cuivre : relation température / résistance

Temp °C (°F)	Résistance $\mu\Omega$	% de variation
-40 (-40)	764,2	-23,6
32 (0)	921,5	-7,8
68 (20)	1 000,0	0,0
104 (40)	1 078,6	7,9
140 (60)	1 157,2	15,7
176 (80)	1 235,8	23,6
212 (100)	1 314,3	31,4
221 (105)	1 334,0	33,4

$R(\text{fin du test})/R(\text{début du test})$

$= (234,5 + T(\text{fin du test})) / (234,5 + T(\text{début du test}))$

Tendance

En plus de comparer les mesures effectuées avec un ohmmètre à faible résistance par rapport à une norme prédéfinie (test ponctuel), les résultats doivent être enregistrés et comparés aux mesures passées et futures. La consignation des mesures sur des formulaires standard avec les données enregistrées dans une base de données centrale permet d'améliorer l'efficacité de l'opération de test. Les données de tests précédents peuvent être examinées par l'utilisateur, lui permettant de déterminer les conditions sur site.

L'élaboration d'une tendance des mesures aide l'utilisateur à mieux prédire quand un raccord, une soudure, une connexion, ou tout autre composant va devenir dangereux, et quand effectuer les réparations nécessaires. Ne perdez pas de vue que la dégradation peut être un processus lent. L'équipement électrique subit des opérations mécaniques ou des cycles thermiques qui peuvent abîmer les cordons, les contacts et les connexions couplées. De plus, ces composants peuvent également être exposés à des attaques chimiques provenant de l'atmosphère ou de situations créées par l'homme. Des tests périodiques et l'enregistrement des résultats fourniront une base de données de valeurs qui peut être utilisée pour développer des tendances de résistance.

Remarque : Lors de la prise de mesures périodiques, l'utilisateur doit toujours connecter les sondes au même endroit sur l'échantillon de test pour garantir des conditions de test similaires.

Voici plusieurs exemples où les tendances peuvent aider l'utilisateur à prendre des décisions de maintenance plus éclairées :

Guide pour les tests de faible résistance

Disjoncteurs

Comme nous l'avons dit précédemment, l'usure mécanique des contacts d'un disjoncteur, qui réduit la superficie des surfaces de contact, combinée aux étincelles et / ou aux arcs électriques, va augmenter la résistance des connexions. Cette condition va produire de la chaleur susceptible de réduire l'efficacité du disjoncteur. Les mesures périodiques indiquent le taux d'augmentation de la valeur de la résistance de contact. Lorsque ces valeurs sont comparées à la spécification d'origine du fabricant, il est possible de décider de poursuivre l'utilisation ou de réparer. En suivant la tendance des mesures, l'utilisateur pourra savoir quand le disjoncteur doit être retiré pour réparation avant que le mal ne soit fait.

Systèmes d'alimentation par batterie de secours

L'interface entre les bornes et les barrettes sur les systèmes d'alimentation par batterie de secours est soumise à des attaques chimiques de l'atmosphère acide, à des changements thermiques dus aux courants de charge et de décharge, et à des contraintes mécaniques dues aux vibrations. Chacun de ces facteurs peut dégrader la résistance du raccord, ce qui entraîne un risque d'incendie à une puissance de décharge critique (en raison de l'atmosphère de gaz d'hydrogène).

Les systèmes de batteries nécessitent une attention particulière, étant donné que des batteries de remplacement sont coûteuses et rarement disponibles. Une panne peut entraîner la mise hors service d'un système de batterie pendant plusieurs semaines. Des mesures périodiques de la résistance des barrettes permettent d'identifier les connexions couplées qui se sont dégradées depuis le dernier test et de planifier une action corrective.

Remarque : Lorsque les connexions ont des mesures de résistance supérieures à la normale, l'utilisateur ne doit pas resserrer les boulons, car cela provoquerait une contrainte supplémentaire sur la connexion de cordons souples. Un serrage excessif ne résout pas le problème. La procédure correcte consiste à démonter les barrettes, les nettoyer, les graisser et puis les resserrer au niveau de couple indiqué par le fournisseur. Toutes les connexions doivent être équilibrées à l'intérieur d'une plage de tolérance étroite de ± 10 à 20 %.

Dans ces systèmes et de nombreux autres, le temps perdu pour réparer un équipement défectueux peut être faible comparé au coût d'un équipement hors service pendant plusieurs semaines. Des tests périodiques peuvent éviter un grand nombre de problèmes. L'analyse des données par rapport aux résultats passés et à des normes raisonnables permet à l'utilisateur de choisir le moment où les travaux correctifs doivent être entrepris.

La valeur d'un système réside dans sa capacité à fonctionner sur demande. Les opérations sont basées sur de nombreux systèmes disponibles à tout instant. Quand des éléments se cassent, la production est perdue et les réparations d'urgence

occasionnent des pertes de temps. Prendre périodiquement des mesures de faibles résistances et les analyser permet aux entreprises d'économiser de l'argent en les aidant à identifier les problèmes avant qu'ils n'entraînent des défaillances catastrophiques.

L'exemple pratique présenté en Figure 22 montre comment la tendance de mesures de faible résistance effectuées sur une base périodique fournit des informations essentielles à l'utilisateur.

Lorsque des mesures de faible résistance sont effectuées sur les câbles torsadés du robot soudeur par points n° 23, l'utilisateur recueille des données pour estimer le moment où la fatigue du conducteur de courant va dégrader la qualité de la soudure. Les données de test commencent avec les spécifications du câble données par le fabricant. L'exemple montre qu'une augmentation de la résistance jusqu'à 10 % est acceptable.

Dans ce cas, les mesures sont effectuées après un nombre précis d'opérations de soudure. Lors de la représentation graphique de ces données, observez le rythme de changement au fur et à mesure que les mesures s'approchent de la fin de vie du câble torsadé. Le facteur critique aurait pu être l'exposition prolongée à un solvant chimique. Dans d'autres opérations le facteur critique est le temps, avec des tests effectués sur une base saisonnière ou sur le nombre de jours spécifié.

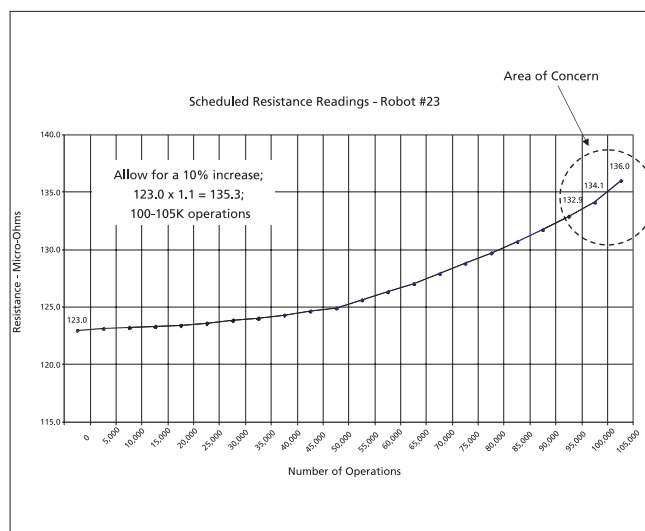


Figure 22 : Analyse des tendances des mesures de faible résistance

Guide pour les tests de faible résistance

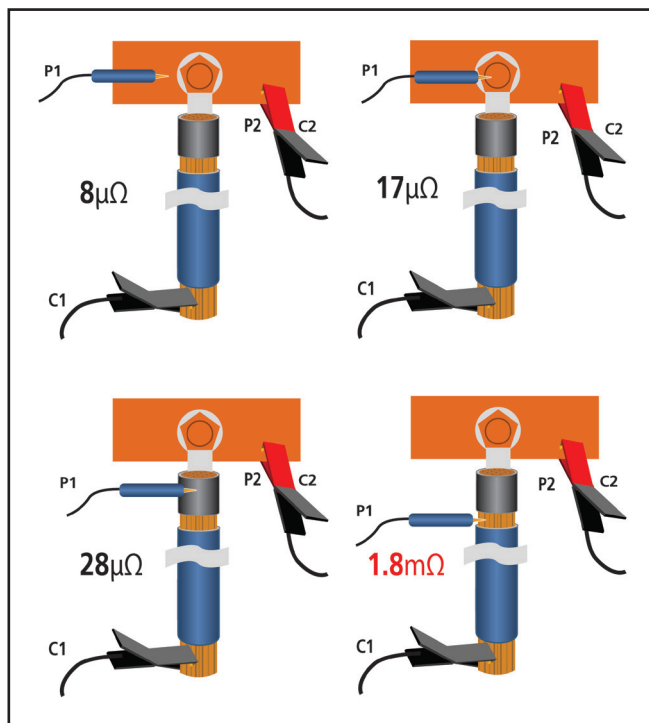


Figure 23 : Pince C1 connectée à l'extrémité du circuit testé

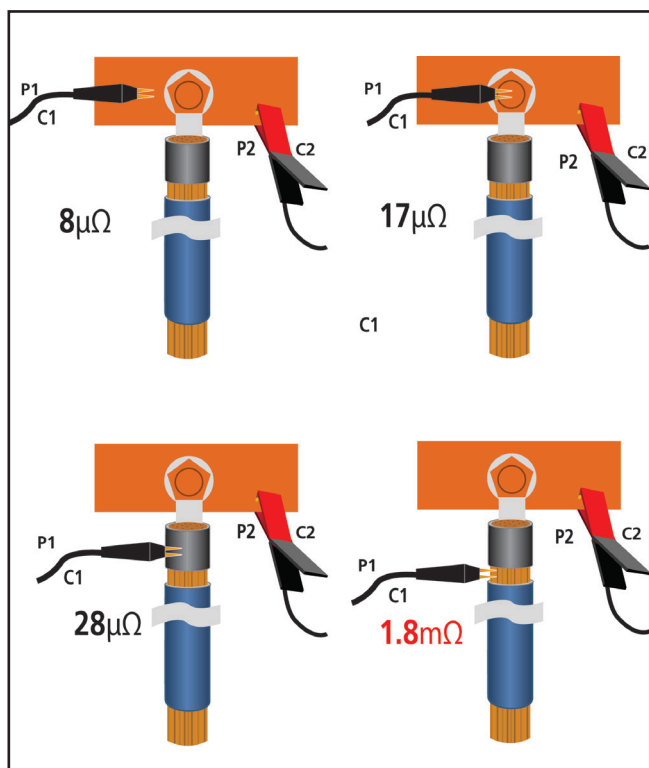


Figure 24 : Pointe Duplex utilisée pour effectuer le même test comme indiqué dans la Figure 23

Mesure des composants d'un système

Lorsque des cordons de test distincts sont utilisés pour le courant et le potentiel, il est possible de localiser les connexions et les composants défectueux en plaçant une sonde à chaque connexion ou raccord à la recherche d'une augmentation de la résistance.

On mesure par exemple la résistance d'un raccord de câble à cosse ou d'une cosse à une connexion vissée tout en restant connecté à un système.

Dans les figures 23 et 24, une pince kelvin est connectée à un jeu de barres pour les connexions C2 et P2, cependant ces connexions pourraient facilement se faire à l'aide de pinces séparées.

La Figure 23 montre une grande pince C1 connectée à l'extrémité du circuit testé, qui dans ce cas est l'extrémité d'un câble. Une seule pointe de sonde est utilisée pour sonder facilement la connexion P1 au point où la mesure est nécessaire.

Dans la Figure 24, une pointe Duplex est utilisée pour effectuer les mêmes tests. Des valeurs de résistance sensiblement identiques sont mesurées, même si en pratique elles ont de légères différences en raison de la différence de densité de courant produite par le point de connexion différent C1.

Les résultats de test de la Figure 24 montrent que la résistance a fait un saut de près de $1,8\text{ m}\Omega$ au niveau du raccord entre le câble à cosse à sertir. Cela ne serait pas détecté avec un test de continuité de 200 mA ou un multimètre. Cette résistance supplémentaire se développe et sa valeur devient de plus en plus importante, ce qui peut finir par provoquer une panne ou même un incendie. Dans l'état actuel, la résistance supplémentaire se traduit au moins par des pertes de puissance.

Guide pour les tests de faible résistance

Courants élevés dans la mesure de faible résistance

Les mesures de faibles résistances sont un bon moyen d'identifier les éléments résistifs qui changent au fil du temps en raison des conditions environnementales. Les conditions susceptibles de dégrader les appareils ou les matériaux incluent la température, le niveau de bruit ou les courants induits, la force électromotrice thermique / tension Seebeck, la fatigue, la corrosion, les vibrations, l'oxydation, les points chauds (voir « Sources possibles d'erreur/garantir des résultats de qualité » à la page 25 ci-dessous).

Les mesures de faible résistance sont généralement inférieures à 1 A. Il est donc important de réduire au minimum les erreurs liées à l'équipement de test. Afin de réduire ces erreurs autant que possible, utilisez la méthode de test à quatre fils (Kelvin) qui donne des résultats précis lorsqu'une faible résistance est mesurée.

- **Les normes internationales concernant les tests de disjoncteurs haute tension et Megger recommandent d'utiliser des courants élevés (en tenant compte des problèmes d'échauffement)**
- **Des courants de test plus élevés donnent une meilleure chance d'avoir des résultats de test fiables**
- **Avec un courant faible, de mauvais résultats ne signifient pas toujours qu'un contact est en mauvais état (contamination) et un bon résultat n'indique pas toujours qu'un contact est en bon état (points chauds)**

Les normes internationales pour les tests de disjoncteur haute tension sont énoncées dans la norme CEI 62271 et IEEE C32.09.

Courant de test (C.C.)

- **Minimum 50 A (CEI) : 100 A (ANSI)**

Sources possibles d'erreur/garantir des résultats de qualité

L'utilisateur peut compromettre les mesures de faible résistance si un équipement inadapté est utilisé ou si la température sur le site de test n'est pas déterminée et notée sur la feuille de données de test. Avant un test, la préparation de la surface peut jouer un rôle essentiel. Les grosses écailles ou les parties de revêtement oxydé doivent être enlevées pour exposer une surface propre et assurer de bonnes connexions électriques.

Cordons de test / sondes

La spécification d'un instrument doit comporter une liste de cordons de test appropriés recommandés. L'utilisateur doit toujours vérifier qu'il utilise les bons cordons étant donné que les cordons peuvent se ressembler mais avoir des résistances différentes, ce qui peut limiter l'intensité maximale que l'instrument est capable de produire.

N'utilisez pas un fil d'extension pour thermocouple à la place de câbles de cuivre car la disparité des matériaux produit des données irrégulières qui changent avec les changements de températures saisonniers du site.

La sélection de la sonde est également essentielle. Des tests de courant élevé nécessitent des connexions sécurisées à la surface de travail parce qu'une résistance élevée au niveau du point de contact peut limiter le niveau attendu du courant de test, ce qui provoque un mauvais rapport signal/bruit et des résultats irréguliers. L'utilisation de sondes inadaptées à l'application particulière peut conduire à des résultats peu fiables.

Dans tous les cas, les tests sont effectués en injectant du courant et en effectuant les mesures à des endroits séparés sur le composant. Les pinces de test de potentiel ne doivent jamais être reliées à la connexion de courant car la chute de tension à l'interface de courant est ajoutée à la mesure de potentiel et cela introduit une erreur dans la mesure. La connexion de courant idéale injecte du courant au-dessus de la position de mesure de potentiel. Lorsque ces points sont proches les uns des autres, des connecteurs à pince kelvin ou à pince en C sont utilisés et ils injectent le courant à 180° par rapport à la connexion de potentiel (voir Figure 25).

Les cordons de test sont adaptés à des appareils fonctionnant sur batterie pour s'assurer que le niveau nominal du courant de test est acheminé à l'échantillon de test.

Enfin, les sondes sont conçues pour établir une connexion électrique avec l'échantillon de test. Elles ne sont pas destinées à être utilisées pour nettoyer des surfaces, ouvrir des boîtes, etc.

Guide pour les tests de faible résistance

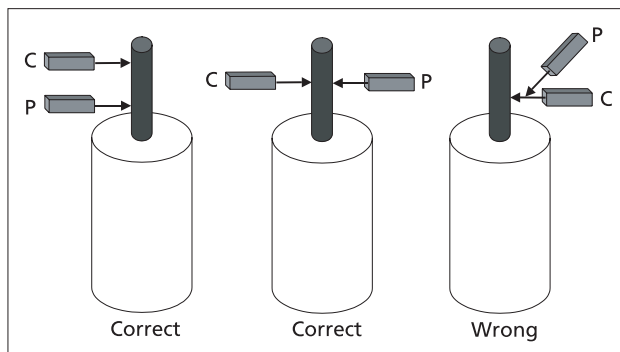


Figure 25 : Placements de sonde corrects et incorrects

Cinq styles basiques de sondes sont disponibles. Chaque sonde est conçue pour répondre à des situations de terrain et / ou d'application différentes. LA Figure 26 montre certains de ces différents styles.

Point fixe : Les sondes les plus économiques et les plus légères.

Pinces kelvin Elles sont munies de longues cosses à fourche sur l'extrémité extérieure et de pinces crocodiles avec des mâchoires isolées plaquées argent ou or.

Points à ressort linéaire : Ces sondes sont conçues avec des points à ressort qui rentrent dans la poignée pour s'adapter à l'irrégularité de la surface. Elles sont conçues pour des surfaces propres car elles n'ont pas d'action « coupante » leur permettant de passer à travers la contamination de surface.

Points à ressort hélicoïdal : Les extrémités tournent et se compriment à l'intérieur du corps de la sonde, ce qui permet aux sondes de percer la graisse ou un film de surface et assure une mesure précise. De plus, ces sondes laissent une marque sur la surface de test, permettant d'identifier les points sur lesquels le test a été effectué. Des précautions doivent être prises lors de l'utilisation de ces points si la surface en contact est sensible aux points de pression.

Pinces en C : Un courant traverse la pince en C et le filetage de vis alors que le potentiel passe par une enclume à quatre points isolée du métal de la pince.

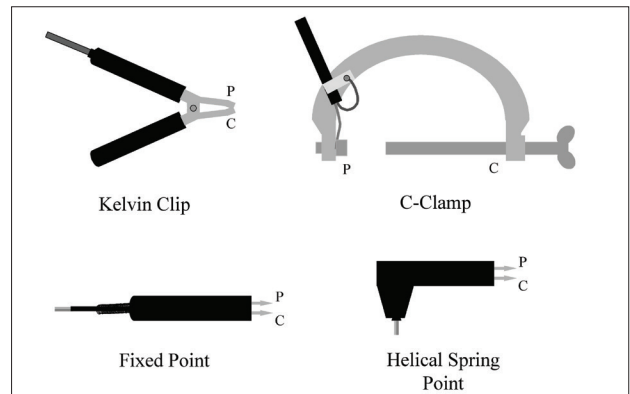


Figure 26 : Styles basiques de sondes

Énoncés de précision

Sur les ohmmètres à faible résistance de qualité, leur énoncé de précision est exprimé sous la forme : « $\pm X, X\%$ de la mesure, $\pm X$ LSD ». Méfiez-vous des instruments dont la précision est indiquée en pourcentage de la plage plutôt qu'en pourcentage de la mesure. Si ces énoncés de précision peuvent sembler identiques, les mesures faites sur un instrument avec une précision en pourcentage de plage fournit des mesures moins précises.

La résolution de la mesure d'un instrument correspond généralement à la moitié du chiffre le moins significatif (LSD) indiqué dans l'énoncé de précision. L'amplitude du LSD joue sur la répétabilité de la mesure. Un chiffre de LSD important est dû à la faible sensibilité de l'instrument, ce qui ajoute une erreur supplémentaire à la mesure.

Vérifiez le coefficient de température de l'instrument sélectionné. Le coefficient de température (% du résultat par degré) est multiplié par la différence entre la température du site et la température étalonnée de l'instrument, et il aura une incidence sur la précision des mesures de terrain. Un instrument qui inclut une annotation de précision de $+0,2\% / ^\circ\text{C}$ ne doit pas être utilisé sur le terrain. Il est préférable de l'utiliser dans un laboratoire avec un environnement ambiant constant.

L'utilisateur doit tenir compte de toutes ces caractéristiques lors de la sélection de l'instrument de test.

Interférence

Un fort champ électrique, des liaisons de circulation avec un circuit de courant élevé ou une tension induite par un conducteur haute tension peuvent provoquer des interférences sur le site de test. En outre les courants telluriques peuvent provoquer des interférences sur un conducteur. Les interférences peuvent réduire la sensibilité et donner des mesures instables. Un instrument qui offre une faible élimination du bruit ou une faible atténuation des bourdonnements peut être stable pour des tests sur banc mais donner des résultats irréguliers dans des conditions de terrain spécifiques.

Guide pour les tests de faible résistance

L'électronique moderne permet de détecter le niveau de bruit et certains instruments y ont recours pour indiquer la présence d'un bruit excessif ne permettant pas d'obtenir une mesure valide.

Une technique simple pour minimiser les problèmes de bruit consiste à mesurer avec un courant élevé, étant donné que le signal mesuré est plus grand que le bruit lui-même.

Fourniture du courant de test indiqué sous charge

Les ohmmètres numériques à faible résistance fonctionnant sur batterie offrent des courants de test différents en fonction de la plage sélectionnée. Plus la plage de résistance est faible, plus le niveau de courant est élevé et, au fur et à mesure que la plage augmente, l'intensité diminue (lorsque la plage augmente d'un facteur 10, le courant de test diminue d'un facteur 10.). Cette fonction permet d'obtenir un bon équilibre entre le poids et la fonctionnalité.

Le courant de sortie fourni par l'instrument n'est pas d'une importance critique étant donné que l'instrument mesure le courant de test réel au moment du test. Cependant, l'instrument doit être en mesure de fournir un courant suffisant pour produire un signal clair en présence de bruit typique. Un instrument typique peut avoir une tolérance de 10 % à 20 % du courant nominal maximum. Cependant, pour faire une bonne mesure de potentiel, le courant doit être stable. Le facteur essentiel de la mesure est la mesure de tension via les cordons de potentiel (loi d'ohm).

Le courant de test joue un rôle essentiel lors des tests de transformateur en raison de caractéristiques magnétiques de l'enroulement. Un courant suffisant est nécessaire pour saturer l'enroulement, puis un courant constant plus faible est utilisé pour effectuer la mesure.

Prise de mesure sur un plateau stable

Un spécimen de test hors tension fournit une plate-forme stable sur laquelle prendre la mesure. Des circuits sous tension peuvent s'avérer être des plate-formes de test instables. Un exemple de ce dernier est le test de barrettes d'accumulateur sur un système d'onduleurs. Les courants de charge et / ou de décharge peuvent provoquer des interférences dans les barrettes d'accumulateur mesurées, et faire augmenter les valeurs de résistance dans le même temps (en raison de l'échauffement de la barrette et de ses connexions).

Lors de la collecte de données, l'utilisateur doit définir les conditions de test. Comme indiqué précédemment, la température peut avoir une influence non négligeable sur les mesures effectuées. L'utilisateur doit noter la température et répertorier tous les équipements électriques en fonctionnement dans la zone de test.

Résistivité des matériaux

Des conducteurs de mêmes dimensions ont des résistances différentes s'ils sont faits de matériaux différents, en raison du nombre variable d'électrons libres dans les différents matériaux. Nous tenons compte de ces différences sous le terme de résistivité, qui est la résistance d'un échantillon du matériau dont les dimensions correspondent à des valeurs spécifiées

Si les scientifiques ont tendance à considérer les cubes de matériau comme la norme de mesure (un centimètre cube ou un inch cube), les conducteurs ont tendance à être circulaires, une norme circulaire est donc importante pour des raisons pratiques.

La résistivité d'un matériau est définie en ohm-circulaire mils par pied ; c'est à dire, la résistance (en ohms) d'un morceau de matériau, d'un pied de long avec une section transversale circulaire d'un mil. Elle est définie à une température de 20 °C (68 °F).

Le Tableau 5 montre la résistivité d'un certain nombre de matériaux :

Dans la plupart des applications de terrain, l'utilisateur définit la pertinence d'une mesure de terrain par rapport à une spécification présélectionnée. Dans la plupart des cas, ces spécifications sont générées à partir de la formule suivante (à 20 °C (68 °F)) :

$$R = \rho L/A$$

ρ = Résistivité du matériau in ohm-CM par pied.

L = distance entre deux points sur le matériau, en pieds.

A = surface de la section transversale mesurée en mil circulaires.

Tableau 5 : Résistivité des conducteurs

Matériau	Micro-ohms		Ohm-cm par pied
	cm cube	in cube	
Aluminium	2,83	1,11	17,0
Carbone (graphite)	700	275	4210
Constantan (Cu 60 %, Ni 40 %)	49	19,3	295
Cuivre (recuit)	1,72	0,68	10,4
Fer (99,98 % pur)	10	3,94	60,2
Câble	22	8,66	132
Manganin (Cu 84 %, Ni 4 %, Mn 12 %)	44	17,3	264
Mercur	95,78	37,7	576
Platine	9,9	3,9	59,5
Argent	1,65	0,65	9,9
Tungsten	5,5	2,17	33,1
Zinc	6,1	2,4	36,7

Guide pour les tests de faible résistance

Effets de la température

Les mesures de résistance dépendent de la température. Si les données d'origine ont été relevées à une température, mais que les tests ultérieurs sont effectués à des températures différentes, cette donnée de température est nécessaire pour déterminer la pertinence des mesures. Tous les matériaux ne réagissent à la température de la même façon. L'aluminium, l'acier, le cuivre et le graphite ont des coefficients de température spécifiques qui ont une incidence sur le degré de changements pouvant survenir avec la température à l'emplacement de la mesure.

Pour effectuer des mesures de faible résistance, l'utilisateur doit effectuer les tests à une température comprise dans la plage de fonctionnement de l'instrument (il doit tenir compte des conditions sur le terrain). Lorsque l'utilisateur obtient des mesures hors de la plage tolérance, l'une des premières mesures à prendre consiste à vérifier les mesures de l'instrument à l'aide d'un shunt d'étalonnage.

Comme indiqué précédemment, les mesures de résistance dépendent de la température. La résistance de tous les métaux purs augmente avec la température. Le changement de résistance proportionnelle pour un matériau spécifique avec un changement d'unité de la température est appelé le coefficient de résistance thermique de ce matériau. Les coefficients de température expriment l'augmentation relative de la résistance pour une augmentation de la température d'un degré. La plupart des matériaux ont des coefficients de température positifs (la résistance augmente à mesure que la température augmente), les matériaux en graphite de carbone ont des coefficients de température négatifs (la résistance diminue lorsque la température augmente).

Le Tableau 6 montre les coefficients de température de résistance pour certains matériaux^{vi} :

Tableau 6 : Coefficients de température de résistance

Matériau	Par °C	Par °F
Aluminium	0,0038	0,0021
Carbone (0 - 1 850 °C)	-0,00025	-0,00014
Constantan (0 - 100 °C)	Négligeable	Négligeable
Cuivre (à 20 °C)	0,00393	0,00218
Fer	0,0050	0,0028
Câble	0,0043	0,0024
Manganin (0-100 °C)	Négligeable	Négligeable
Mercur	0,00090	0,00050
Platine	0,0038	0,0021
Argent	0,0040	0,0021
Tungsten	0,0045	0,0025
Zinc	0,0037	0,0021

La Figure 27 montre les courbes de résistance en fonction de la température pour certains de ces matériaux (basé sur une mesure de référence de 1 000 micro-ohms à 20 °C (68 °F)).

Lorsque l'utilisateur effectue une mesure sur un matériel spécifique, il peut calculer la variation de résistance due à un changement de température en multipliant la résistance à la température de référence par le coefficient de résistance thermique et par le changement de température :

$$R_2 - R_1 = (R_1)(a)(T_2 - T_1)$$

R_1 = résistance du conducteur à la température de référence

R_2 = résistance du conducteur au moment où la mesure est effectuée

T_1 = température de référence

T_2 = température à laquelle la mesure est effectuée

a = coefficient de résistance thermique pour le matériau testé

L'utilisateur doit également connaître les caractéristiques de température de fonctionnement et de stockage de l'instrument qu'il utilise pour s'assurer qu'il est adapté à l'environnement dans lequel il sera utilisé.

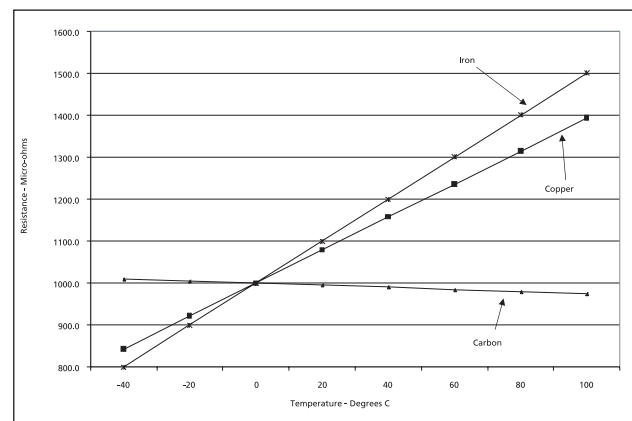


Figure 27 : Courbes de résistance à la température du fer, du cuivre et du carbone

Effets de l'humidité

L'humidité relative de l'échantillon de test ne devrait pas affecter la lecture de la résistance, sauf si la matière est hygroscopique, auquel cas l'humidité sera absorbée par l'échantillon à des niveaux d'humidité supérieurs. Cela modifie les conditions de mesure et a une incidence sur le résultat obtenu. Cependant, la plupart des conducteurs ne sont pas hygroscopiques. Par conséquent, puisque les instruments sont généralement conçus avec une plage de fonctionnement de 0 à 95 % HR, et à condition que l'humidité ne se condense pas sur l'appareil, un résultat correct sera obtenu.

vi Electrical Metermen's Handbook ; Third Edition ; 1965 ; page 480

Guide pour les tests de faible résistance

Bruit de fond, intensité et tension

Les mesures de résistance peuvent être dégradées par la tension statique et des courants ondulatoires (bruit électrique) transmis au spécimen de test. L'utilisateur doit connaître le niveau d'élimination du bruit de l'instrument utilisé. Prendre un modèle différent peut aider l'utilisateur à effectuer une mesure sur un site de test difficile.

L'amplitude du courant de test utilisé par l'instrument aura une incidence sur la capacité d'élimination du bruit de cet instrument. Un courant de test de 10 A permet une bien meilleure élimination du bruit qu'un courant de test à 0,1 A. Méfiez-vous des courants de test excessifs susceptibles de modifier ou d'endommager l'échantillon en raison de l'échauffement ($W = I^2R$). Si on utilise 100 A au lieu de 10 A, l'échantillon subira une chaleur 100 fois supérieure à celle du courant de test faible. Cela dit, il convient d'utiliser le courant de test approprié en fonction du courant nominal.

La tension de circuit ouvert est faible sur la plupart des ohmmètres à faible résistance. Lorsque des mesures sont effectuées sur les enroulements d'un transformateur, une puissance supplémentaire est nécessaire pour saturer l'enroulement et permettre à l'appareil de se stabiliser plus rapidement. Les instruments conçus pour ce type d'application ont une plus grande tension de circuit ouvert (dans la plage de 50 V C.C.) afin de fournir l'énergie nécessaire pour saturer les enroulements. Puis un mode de fonctionnement à courant constant est utilisé pour effectuer la mesure de la résistance.

Force électromotrice thermique / compensation de la tension Seebeck

Une force électromotrice thermique / tension Seebeck est générée lorsque différents matériaux conducteurs font partie du même circuit ou sont à des températures différentes. Les effets de cette force peuvent être corrigés en augmentant le courant utilisé pour le test. L'augmentation du courant permettra de réduire l'erreur, mais veillez à ce qu'il ne soit pas trop élevé (échauffement). Reportez-vous aux tableaux ci-dessous :

Tableau 7 : Pourcentage d'erreur de courant

Courant	Tension	Erreur		
		Cu-Ni	Cu-Al	Cu-Ag
1 A	50 μ V	400 %	200 %	20 %
10 A	500 μ V	40 %	20 %	2 %
100 A	5 mV	4 %	2 %	0,2 %
600 A	30 mV	0,7 %	0,3 %	0,03 %

Tableau 8 : Température des matériaux conducteurs

Jonction	μ V/°C
Cuivre - Cuivre	<0,3
Cuivre - Or	0,5
Cuivre - Argent	0,5
Cuivre - Laiton	3
Cuivre - Nickel	10
Cuivre - Plomb - Soudure à l'étain	1 - 3
Cuivre - Aluminium	5
Cuivre - Kovar	40
Cuivre - Oxyde de cuivre	>500

Contamination par résistance de contact

La résistance de contact est la résistance à la circulation du courant à travers une paire de contacts fermés. Parfois, une forte intensité est nécessaire pour percer, fondre ou ramollir le point de contact et la zone environnante, ce qui augmente la surface de contact et, de ce fait, réduit la résistance.

Exemple : Un disjoncteur est testé et son contact principal présente une résistance de 300 micro-ohms lorsqu'on utilise un courant de test de 100 A. Le test est refait en utilisant un courant de test de 600 A et on obtient une résistance 80 micro-ohms. Le test est refait une nouvelle fois avec un courant de test de 100 A, et là encore on obtient un résultat de 80 micro-ohms.



Figure 28 : Corrosion des disjoncteurs

Guide pour les tests de faible résistance

Ratio de bruit et courants induits

Il est fréquent d'avoir du bruit dans un environnement électrique. Par conséquent, afin d'établir un résultat précis, le signal de mesure doit être supérieur au bruit généré :

- Mesure de faible résistance de 50 Ω
- 1 A => signal de mesure 50 μV
- 10 A => signal de mesure 500 μV
- 100 A => signal de mesure 5 mV
- 600 A => signal de mesure 30 mV

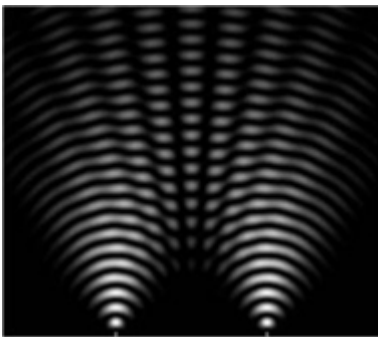


Figure 29 : Bruit

Points chauds

Les points chauds d'un contact dégradé empêchent le contact de transporter le courant nominal ou les courants de surcharge et, selon la gravité de l'état du contact, cela peut entraîner des hausses de température.



Figure 30 : Points chauds

À l'endroit où un point chaud est détecté, la température peut être beaucoup plus élevée que la température d'ensemble mesurée, ce qui augmente la résistance et augmente le risque d'incendie :

- Les points chauds sont sources d'ondes haute fréquence (harmoniques). Lorsque ces ondes s'accumulent à un endroit, elles endommagent l'équipement par un phénomène de résonance
- Les points chauds sont des indicateurs de défaillance imminente de l'équipement
- Il existe des sources de perte d'énergie électrique (connexions desserrées)
- Les points chauds sont la principale cause d'explosions majeures d'équipements électriques
- C'est l'une des principales causes de défaillance des transformateurs de courant (en particulier dans les circuits haute tension)

Étalonnage sur le terrain

L'étalonnage des ohmmètres à faible résistance peut être vérifié sur le terrain à l'aide d'un shunt. L'étalonnage est effectué à l'aide de cordons en cuivre de section 12 distincts pour le courant et le potentiel, afin d'assurer une bonne répartition du courant dans le shunt et une mesure de potentiel précise. Sachez que les « sondes de test » n'indiquent pas un positionnement précis des cordons pour vérifier l'étalonnage de l'instrument. Elles peuvent cependant être utilisées pour déterminer l'étalonnage relatif de l'instrument.

Tableau 8 : Des shunts d'étalonnage sont disponibles dans le commerce

Résistance $\pm 0,25$ % de la valeur	Indice de courant
10 Ω	1 mA
1 Ω	10 mA
0,10 Ω	100 mA
0,01 Ω	1 A
0,0010 Ω	10 A
0,0001 Ω	100 A

Lorsque ces shunts d'étalonnage sont utilisés avec un certificat de calibrage, traçable aux normes nationales, ils aident le technicien de service sur le terrain à prouver au client l'exactitude des tests effectués.

Guide pour les tests de faible résistance

Annexes

Tests de transformateurs

Des tests réguliers sur les transformateurs peuvent aider à identifier les problèmes qui réduisent les performances du système et peuvent conduire à des pannes inattendues. La résistance de courant continu d'un enroulement de transformateur peut indiquer la température interne de l'enroulement, en comparant la résistance à température ambiante à la résistance à chaud. La méthode de test idéale consiste à faire des mesures de résistance à une minute d'intervalle lorsque le l'enroulement chaud se refroidit. Lorsque ces données sont saisies, la résistance au temps zéro peut être estimée. Ce test est l'un des tests obligatoires à réaliser lorsque le transformateur est fabriqué et il peut également être utilisé sur le terrain si l'accès au transformateur se fait alors qu'il est encore chaud.

Le test typique indique une surchauffe excessive dans les bobines en raison de la fatigue ou de la corrosion de la bobine interne et / ou des connexions internes. Les tests de faible résistance sur les transformateurs sont adaptés aux enroulements d'auto-transformateurs et de transformateurs petits, moyens, grands monophasés et grands polyphasés. Les tests sont effectués sur :

- **Des enroulements doubles avec le courant de test connecté à travers les enroulements de polarités opposées**
- **Enroulements étoile à étoile avec et sans connexion neutre ; l'extrémité de l'autre enroulement est branchée au cordon de potentiel pour mesurer la tension à la connexion interne**
- **Enroulements étoile à triangle ; un cavalier est utilisé pour connecter le courant de l'enroulement en étoile à l'enroulement en triangle (ce mode de test réduit la durée du test)**
- **Enroulements triangle à triangle ; la durée du test peut être améliorée en connectant le cavalier de courant à l'enroulement primaire et secondaire de la même phase dans des polarités opposées**

Des prises sont utilisées pour améliorer la régulation de la tension et sont ajustées quotidiennement. Il est possible d'identifier une usure excessive et un desserrage dû aux vibrations grâce à des mesures de faibles résistances. Des tests consécutifs peuvent être effectués sur des changeurs de prises secondaires (prises de style court-circuit). Les gros transformateurs ont de nombreuses positions de prises et la durée du test est réduite, étant donné qu'il n'est pas nécessaire de couper le courant de test entre les tests. Les tests sur les prises primaires (prises ouvertes) doivent être effectués sous forme de tests individuels et le courant de test doit être coupé entre deux tests.

L'ohmmètre à faible résistance doit avoir une capacité de courant suffisante pour saturer les enroulements. Le temps nécessaire pour effectuer le test dépendra du courant de test disponible. Les gros transformateurs nécessitent une attention particulière avant d'effectuer les tests. L'isolation entre les enroulements stocke l'énergie, comme le diélectrique d'un câble, et cette énergie doit être déchargée avant qu'un test puisse être effectué.

Lorsque des transformateurs triphasés sont testés, une interaction se produit entre les enroulements primaires et secondaires. Cette situation est particulièrement évidente lorsque des transformateurs à enroulements en triangle et en étoile sont testés. Elle peut être réduite au minimum en connectant le courant de test pour qu'il circule à travers les deux enroulements primaires et secondaires. Le résultat net est la réduction du couplage mutuel entre les enroulements et la réduction du flux de courant circulant dans l'enroulement en triangle.

Le courant de test recommandé est compris entre 1 et 10 % du courant nominal, mais ne doit pas être supérieur à 15 %. S'il est supérieur à 15 %, cela provoque un échauffement car cela a une incidence importante sur la valeur de résistance. Les courants de tests plus faibles réduisent la contrainte dans le noyau magnétique de l'enroulement, mais augmentent la durée du test.

Des courants de test élevés produisent des forces importantes sur le noyau et peuvent provoquer des dommages et générer de la chaleur, ce qui a une incidence sur la valeur de résistance.

Il est également important que l'instrument décharge le transformateur une fois la mesure terminée. Sinon, des tensions mortelles peuvent être présentes à la déconnexion. Des instruments de test dédiés offrant ces fonctionnalités intégrées sont disponibles.

Attention : N'utilisez jamais un LRO non dédié pour mesurer la résistance de l'enroulement d'un transformateur de puissance. Des tensions mortelles peuvent être présentes si un enroulement n'est pas déchargé correctement avant de débrancher les cordons.

Tests de moteur barre à barre

Des sondes avec points à ressort hélicoïdal sont utilisées pour mesurer la valeur des résistances barre à barre du rotor d'un moteur à courant continu (voir Figure 31). Ce test est généralement effectué à un courant de 10 A avec des mesures de résistance de la bobine typiques de l'ordre de 6 000 micro-ohms. Ces tests identifient les soudures ou connexions brassées cassées/avec du jeu entre les bobines et les barres du commutateur. Les mesures de résistance doivent rester constantes. Les mesures peuvent être plus élevées sur un moteur chaud, en raison de la température des bobines. Lorsque les bobines refroidissent, les valeurs de résistance peuvent descendre jusqu'à une valeur de référence enregistrée précédemment à température ambiante.

Guide pour les tests de faible résistance

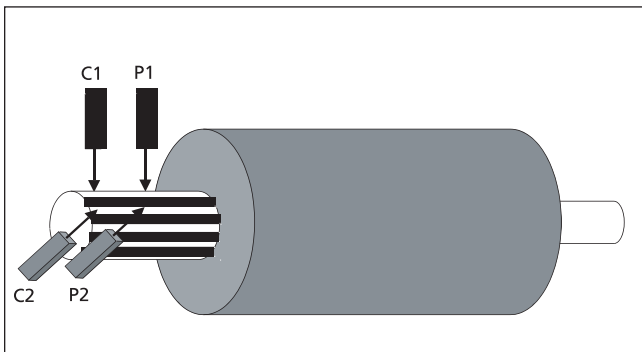


Figure 31 : Test barre à barre sur rotor de moteur à courant continu

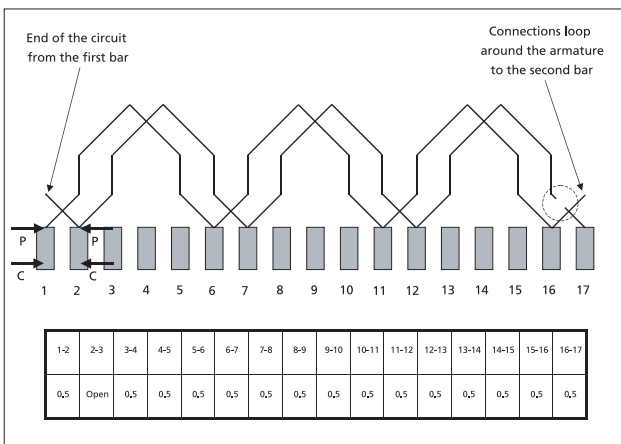


Figure 32 : Données de test d'enroulement à reprise

La Figure 32 montre un enroulement à reprise, un style où les enroulements sont reliés aux barres situées les unes à côté des autres. Pour effectuer un test, la sonde doit être placée à l'extrémité de la barre du collecteur et la sonde de potentiel doit être placée au niveau de la connexion avec l'enroulement (la partie verticale sur la barre du collecteur). L'utilisateur mesure la résistance des enroulements entre chaque série de barres testées (1 - 2, 2 - 3, 3 - 4, etc.). Dans cet exemple, il y a probablement une faiblesse de la soudure de raccord entre les barres 4 et 5, et une rupture dans l'enroulement entre les barres 12 et 13 (l'instrument l'affiche comme étant ouverte).

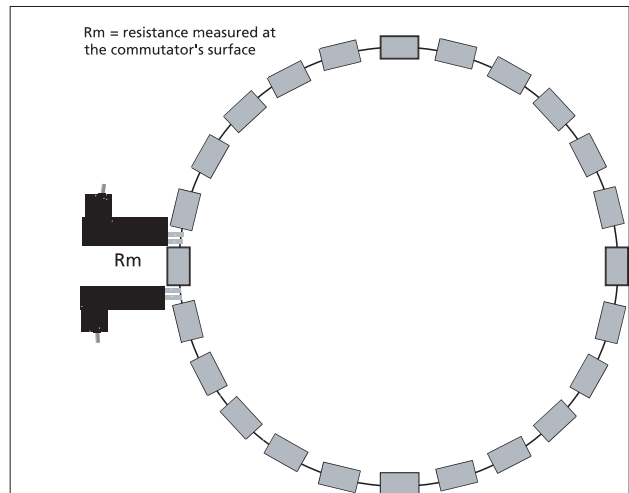


Figure 33 : Collecteur avec 24 bobines en série

Dans la Figure 33 (enroulement à reprise, 24 bobines), toutes les bobines sont branchées en série.

La résistance de chaque bobine doit être mesurée avec la résistance de toutes les autres bobines connectées en parallèle. La question principale pour l'utilisateur est de savoir ce qui constitue une mesure acceptable pour une bobine spécifique (R_m) étant donné que les 23 autres bobines en parallèle réduisent la résistance de la bobine testée. Pour cet exemple, nous supposons que la résistance de la bobine avant l'introduction dans le moteur (R_c) était de 1 A.

La résistance prévue peut être calculée par l'équation :

$$R_m \text{ attendu} = (R_c)(\text{nombre de bobines testées})/(\text{nombre de bobines en parallèle})/(\text{nombre de bobines testées} + \text{nombre de bobines en parallèle}).$$

Dans cet exemple :

$$R_m \text{ attendu} = (1 \text{ A})(1)/(23)/(1 + 23)$$

$$R_m \text{ attendu} = 0,958 \text{ A}$$

La Figure 34 montre un enroulement ondulé, une autre technique de fabrication pour mettre des bobines à résistance élevée dans un moteur. Dans cet exemple, la bobine passe de la barre de collecteur 1 à 6 à 11 à 16, puis fait une boucle autour de l'armature et revient à la barre du collecteur 2 (branchement en série). Lorsque l'utilisateur effectue une mesure entre les barres 1 et 2, il/elle vérifie la résistance de la bobine à enroulement ondulé (la boucle complète). Dans cet exemple, il y a une rupture de la bobine entre les barres 12 et 17. Ce problème apparaîtra lors de la mesure des barres 2 et 3, car ce sont les barres de début et de fin de boucle.

Guide pour les tests de faible résistance

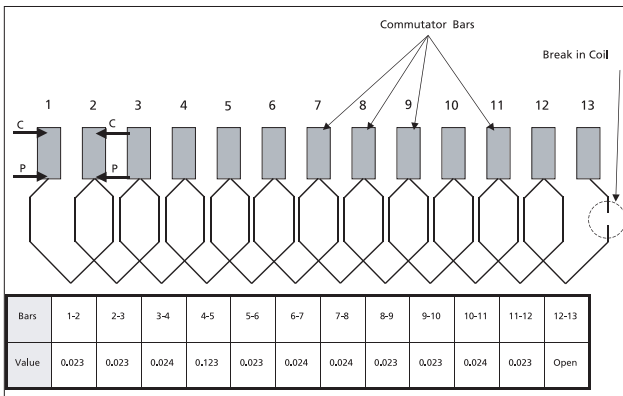


Figure 34 : Données de d'enroulement ondulé

Figure 35 à la page suivante montre les connexions du collecteur à enroulement ondulé aux bobines internes et les connexions de la sonde de test aux différentes barres du collecteur. Il s'agit d'une présentation simplifiée, car la bague lourde montre les connexions en série pour toutes les bobines de l'armature. Un moteur à courant continu aura un nombre de bobines différent en fonction de la puissance et de la tension nominale. Dans cet exemple (tests de la barre n° 1 à la barre n° 2), il y a 2 bobines en série et 19 en parallèle. Si une bobine est ouverte dans la bague, la mesure de la barre n° 1 à la barre n° 2 sera la valeur série des deux bobines. Si les sondes de test sont de part et d'autre de la bobine ouverte, la résistance totale des 19 autres sera affichée.

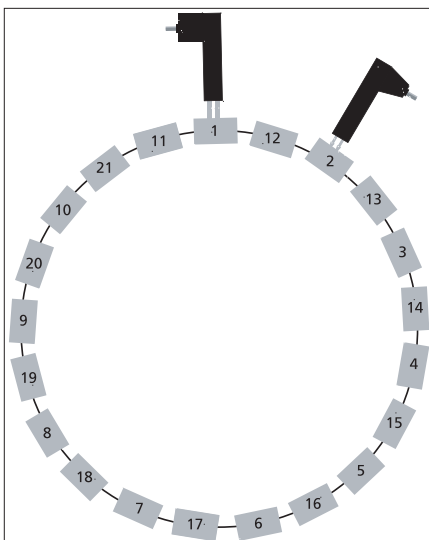


Figure 35 : Agencement de bobine à enroulement ondulé

Tests de barrettes d'accumulateur

Lorsque l'utilisateur teste des barrettes d'accumulateur, il doit avoir des valeurs de référence ou des cibles pour les comparer aux résultats réels.

Voici des exemples de la façon dont ces niveaux cibles sont déterminés :

Exemple 1 : Sur la Figure 36, l'utilisateur mesure la résistance (R_0) sur une seule barrette d'accumulateur (de chaque côté de la borne). Les barrettes de chaque côté de la borne ont une résistance de 20 micro-ohms et les connexions aux bornes ont chacune une résistance de 5 micro-ohms. Dans ces conditions, la résistance cible que l'utilisateur veut voir est 15 micro-ohms. Une différence importante avec cette résistance dans la mesure réelle indique une connexion lâche.

Exemple 2 : Figure 37 montre des bornes connectées en parallèle par des bandes de support avec une résistance de 100 micro-ohms. Dans ce cas, la résistance cible que l'utilisateur veut voir est 14 micro-ohms.

S'il y a une barrette ouverte entre la borne « a » et la borne « b », la mesure de résistance sera sensiblement plus élevée que la cible, comme suit :

$$R_{a-b} = R_{a-c} + R_{c-d} + R_{b-d}$$

$$R_{a-b} = 100 + 15 + 100$$

$$R_{a-b} = 215 \mu\Omega$$

Des tests supplémentaires peuvent être effectués entre les bornes de même polarité sur une cellule. Un tel test vous aide à déterminer la qualité des soudures borne à barre et les problèmes majeurs de la barre interne à laquelle les plaques sont soudées, étant donné qu'elles sont toutes connectées en série. Dans cet exemple, la résistance mesurée entre des bornes semblables sur la même cellule devrait être de l'ordre de 100 micro-ohms.

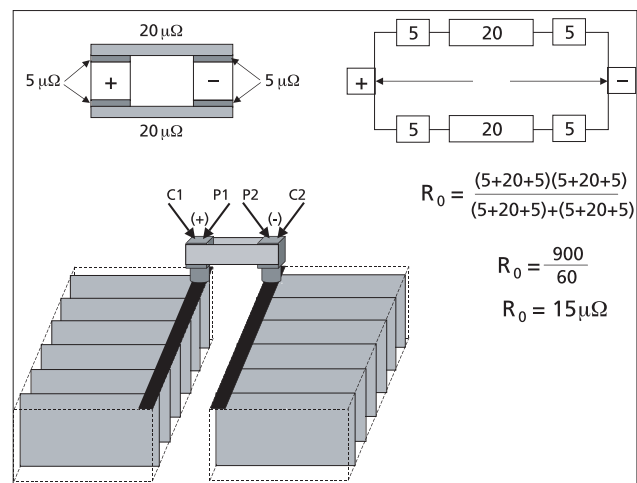


Figure 36 : Résistance cible d'une barrette unique

Guide pour les tests de faible résistance

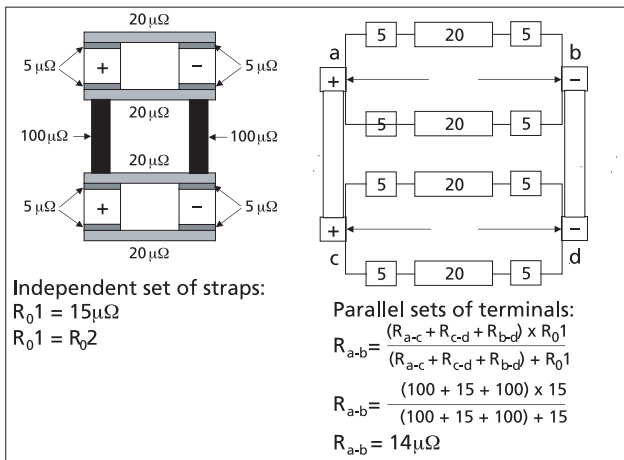


Figure 37 : Résistance cible de barrettes en parallèle

Test de rampe

Un test de rampe donne une rampe « contrôlée » du courant de sortie de 0 jusqu'à la sortie requise. Cette capacité est particulièrement utile lorsqu'il y a des relais de protection en place, généralement sous forme de relais différentiels.

Lorsque la résistance de contact d'un disjoncteur est testée, un relais différentiel surveille la ligne pour détecter toute élévation soudaine de courant qui pourrait être un signal de courant alternatif. Si l'augmentation de courant est trop rapide, le relais différentiel considère cela comme une défaillance et déclenche le disjoncteur, comme il le ferait dans des conditions de fonctionnement normales.

Lorsque le courant est appliqué à un rythme plus lent, variable et configurable, cela permet d'utiliser l'équipement de test de faible résistance avec une multitude de relais de protection qui ont chacun des sensibilités différentes.

Cela signifie que les relais de protection peuvent rester en place et cela évite d'avoir à débrancher le relais de protection au cours du test.

Les relais de protection sont également sensibles aux ondulations de courant alternatif, qui peuvent exister dans le courant de sortie des équipements de test. Ces petites ondulations peuvent ressembler à une défaillance potentielle, un signal de courant alternatif par exemple, et elles déclenchent elles aussi le disjoncteur testé.

Y a-t-il une raison pour garder ces relais en place ?

Un courant de sortie lisse permet de laisser la protection en place pendant les tests, ce qui accroît la sécurité de l'utilisateur.

Ponts de Wheatstone et de Kelvin

Un pont de Wheatstone peut être utilisé pour mesurer la résistance en comparant une résistance inconnue à des résistances de précision avec une valeur connue. Un pont double de Kelvin est une variante du pont de Wheatstone qui peut être utilisé pour la mesure de très faibles résistances.

Pont de Wheatstone

Une méthode innovante de mesure de la résistance a été conçue en 1833 par S. H. Christie et vulgarisée par Sir Charles Wheatstone. L'agencement le plus simple est un motif carré de quatre résistances avec un galvanomètre connecté à l'une des diagonales et une batterie connectée à l'autre (voir Figure 38). Deux des résistances ont des valeurs appropriées connues et comprennent le bras de rapport (A + B). Une troisième résistance a une valeur connue qui peut être modifiée par petits incréments sur une large plage, elle est donc désignée sous le terme de bras de rhéostat (R). La quatrième résistance est celle mesurée, le bras inconnu (X).

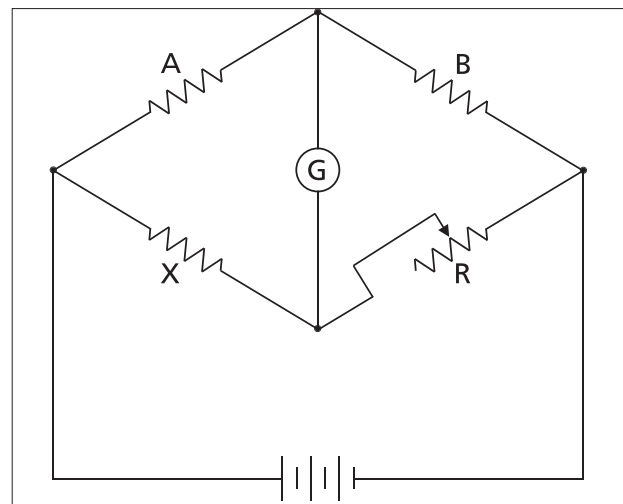


Figure 38 : Circuit de pont de Wheatstone^{vii}

Le pont est considéré comme étant équilibré lorsque le bras du rhéostat a été ajusté (réglé) de façon à diviser le courant de sorte qu'il n'y ait pas de chute de tension sur le galvanomètre et qu'il cesse de détourner (est à zéro). La résistance mesurée peut alors être calculée à partir de la connaissance de la valeur du rapport des résistances et de la valeur ajustée du bras du rhéostat. La formule de base est la suivante :

$$X = B/A \times R$$

Où :

B et A sont les résistances du rapport

R est le rhéostat

Le pont de Wheatstone peut être construit pour une variété de plages et il est généralement utilisé pour tout à l'exception des mesures les plus élevées et les plus faibles. Il est adapté à une plage allant de 1 à 100 000 A.

^{vii} Electrical Meterman's Handbook ; Third Edition ; 1965 ; page 479

Guide pour les tests de faible résistance

Pont de Kelvin

Le pont de Kelvin (également appelé pont de Thomson) est utilisé pour des mesures de précision inférieures à la plage typique du pont de Wheatstone. Sir William Thomson (Lord Kelvin) a mis au point le concept vers 1854. L'agencement classique comporte de six résistances dans un rectangle, traversée par un galvanomètre (voir Figure 39). Un courant relativement élevé est passé à travers la résistance de valeur inconnue et une résistance connue de valeur faible. Le galvanomètre compare la chute de tension dans ces deux résistances avec le circuit à double rapport composé des quatre autres résistances.

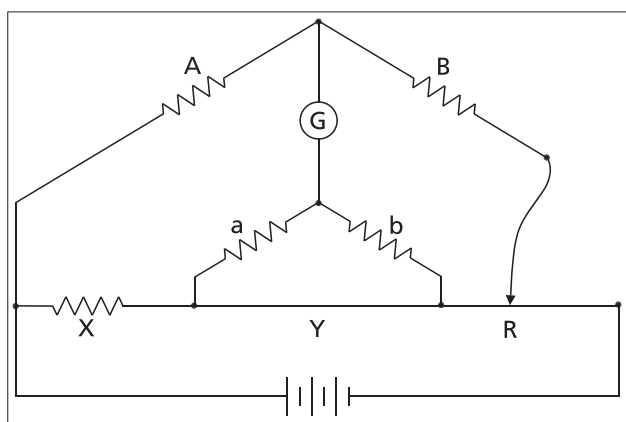


Figure 39 : Circuit de pont de Kelvin^{viii}

Pour des mesures très faibles, le pont de Kelvin offre l'avantage d'annuler les résistances parasites des cordons et contacts en employant le système de double bras de rapport. Les résistances des cordons de connexion sont en série avec les bras de rapport de résistance élevée et pas avec les résistances de référence ou celles testées. Les deux paires de rapports de résistances (A/B, a/b) sont parallèles entre elles et connectées avec le galvanomètre. Une paire (a/b) est en série avec l'inconnue (X) et la norme de référence (R). Cette dernière est une faible résistance ajustable, généralement une barre de Manganin avec un contact coulissant. Lorsque le potentiel est équilibré entre les deux circuits parallèles, l'inconnue est équivalente au rapport parallèle multiplié par la valeur de référence ajustée.

$$X = A/B \times R$$

Un lien (Y), parfois appelé une attelle, court-circuite la paire de rapports (a/b) qui sinon est en série avec l'inconnue et la norme, mais n'a qu'un effet minimal sur la précision de la mesure tant que les deux paires de résistances de rapport parallèles restent exactement identiques (A à a, B à b). Les résistances de contact et de cordon sont incluses dans la valeur des paires de rapport, et tous les effets peuvent être annulés en maintenant la résistance de l'attelle à un niveau extrêmement faible. Une attelle avec une faible résistance s'adapte également bien aux courants de test élevés, souvent utilisés dans les ponts de Kelvin sans causer d'échauffements indésirables.

Liste des applications du milli-ohmmètre et du micro-ohmmètre DLRO

Aviation

- Assemblage de composants
- Interconnexion d'équipements
- Réparation et maintenance

Voies ferrées, y compris le tramway et le métro

- Matériel roulant et infrastructure
- Raccords de rail à courant élevé
- Systèmes de signalisation

Marine

- Systèmes de câblage d'alimentation
- Systèmes de protection
- Liaison navire-terre
 - Câble
 - Points de connexion
- Test du système de protection cathodique

Oléoducs et gazoducs

- Liaison entre des raccords soudés
- Systèmes de mise à la terre

Industrie automobile et véhicules électriques

- Connexions de la batterie
- Qualité de soudure
- Qualité des connexions serties
- Câbles de robot de soudage

viii Electrical Meterman's Handbook ; Third Edition ; 1965 ; page 480

Guide pour les tests de faible résistance

Fabricants de câbles

- Contrôle de la qualité
- Longueur de câble

Fabricants de composants

- Contrôle de la qualité
 - Résistances, inductances, bobines d'arrêt

Tous les types de raccords assemblés mécaniquement qui doivent avoir des valeurs de résistance faible

- Vissé
- Soudé
- Compressé
- Serti
- Brassé
- Adhésif conducteur
- Raccords soumis à
 - Contrainte
 - Vibration
 - Chaleur
 - Froid
 - Corrosion
 - Fatigue

Fabricants de câbles

- Moteurs et générateurs
- Courts circuits bobine et entre spires
- Test barre à barre
- Équilibre de la bobine : comparaison du courant à froid et à pleine charge

Exploration spatiale et ingénierie

- Métal structurel à métal
- Réseau de masse métal à métal

- Fibre de carbone à métal
- Fibre de carbone à fibre de carbone

Centres de données

- Au cours de l'installation
 - Équipements de panneau principal
 - Équipements d'onduleur
 - Équipements de générateur
 - Vérification de la résistance de contact du dispositif de protection
 - Alimentations parallèles de jeux de barres
 - Raccords à reprise de jeux de barres
 - Résistance optimale par rapport au couple
 - Raccordements cosse de câble à jeu de barres
 - Recherche de panne câble de cuivre à cosse à jeu de barres
- Pendant la maintenance
 - Utilisation des données sur les tendances de tous les aspects ci-dessus
 - Vérification après réparation

Médical

- Systèmes de raccordement et de mise à la terre pour la protection contre les
 - Micro-chocs
 - Macro-chocs
- Sur des service neufs en service entièrement ou partiellement connectés
- Chaque site médical à tester tous les 12 mois

Robotique

- Systèmes de câblage et connexions soumis à des contraintes/mouvements/vibrations.
- Couplage de composants pour réduire l'électricité statique
- Mise à la terre de machine
- Câbles de soudage de robot soudeur par points

Infrastructure électrique

- Enroulements de transformateur

Guide pour les tests de faible résistance

- Câblage et mise à la terre de postes électriques
- Changeurs de prise
- Test de résistance de barrettes d'accumulateur
- Résistance du câble à une extrémité
- Longueur de câble
- Identification des alimentations parallèles en étant connecté
- Recherche de panne câble à cosse à jeu de barres
- Contrôle des raccordements assemblés

Présentation des produits Megger

Megger propose des solutions garantissant de bonnes performances du système électrique grâce à une gamme complète d'ohmmètres basse résistance et de micro-ohmmètres. Nous vous proposons ci-dessous une présentation des différents produits disponibles.

Pour plus d'informations sur ces questions et bien d'autres produits Megger, veuillez nous contacter au 866-254-0962 ou. Ou consultez notre site web us.megger.com pour trouver les informations les plus récentes concernant l'actualité de la marque, ainsi que les nouveaux produits et services.

Série DLRO100

La série DLRO100 offre une gamme unique de testeurs numériques de faible résistance 100 A. C'est le premier testeur de faible résistance 100 A à offrir la catégorie de sécurité CAT IV 600 V, l'indice de protection IP54 en mode opérationnel pour la poussière et l'eau, et la technologie de batterie Li-Ion légère et à charge rapide.

Le DLRO100 est un outil extrêmement flexible, capable de fournir des mesures de faible résistance dans une multitude d'applications, y compris dans des zones sans accès à l'alimentation secteur. Voici certaines applications possibles : appareils de commutation, résistance de contact de disjoncteur, raccords de câbles et de jeux de barres, résistance de câble et de fil, couplage de paratonnerre, raccords soudés, raccords et connexions de mise à la masse.

Megger a adopté une approche sans compromis lors de la conception de la nouvelle série DLRO100. La gamme offre une combinaison unique de fonctionnalités, dont les tests DualGround™, des tests de rampe de courant ajustables, une grande immunité au bruit, des tests continus 100 A haute puissance et même une télécommande, et ce, dans un appareil qui reste petit et léger.

La série se compose de trois modèles, tous classés CAT IV 600 V. Ils peuvent tester des courants de 10 A à 110 A. Le modèle de milieu de gamme offre en plus le stockage des données et les tests DualGround™. Le modèle haut de gamme

ajoute à cela le marquage de numéro d'inventaire pour saisir l'identifiant unique des ressources avec l'application Windows Asset Tag DLRO100, le téléchargement via Bluetooth® et le fonctionnement USB à distance.



Figure 40 : Série DLRO100

DLRO10 / DLRO10X

Le DLRO10 et le DLRO10X disposent d'un boîtier robuste et léger qui convient aussi bien au terrain qu'au laboratoire. Assez légers pour être portés autour du cou, ils sont également assez compacts pour être utilisés dans des espaces exigus. Le DLRO 10 offre un grand écran LED lumineux 4,5 chiffres, et le DLRO 10X offre un grand écran LCD rétroéclairé.

Le DLRO10 affiche la moyenne des mesures réalisées avec des courants directs et inverse, tandis que le DLRO10X affiche les mesures individuelles ainsi que la moyenne. Le DLRO10X utilise un système de menu contrôlé par une manette bidirectionnelle pour permettre à l'utilisateur de sélectionner manuellement le courant de test. L'unité permet également de télécharger les résultats en temps réel et de les stocker sur une carte afin de les télécharger ensuite sur un PC.



Figure 41 : DLRO10 / DLRO10X

Guide pour les tests de faible résistance

DLRO10HD / DLRO10HDX

Tout comme la série DLRO10, le DLRO10HD et le DLROHDX disposent d'une puissance de sortie limitée à 0,25 W pour ne pas chauffer la pièce à tester. Cependant, le DLRO10HD et le DLROHDX disposent en plus de deux plages haute puissance à conformité élevée. Les avantages comprennent la possibilité d'utiliser des cordons de test beaucoup plus longs, la possibilité de chauffer et, par conséquent, d'identifier les faiblesses d'un circuit et la capacité de maintenir 10 A pendant au moins une minute, ce qui permet d'améliorer les tests sur des charges inductives. De plus, le DLRO10HDX est livré avec une mémoire embarquée pour stocker jusqu'à 200 résultats de test et la possibilité de télécharger les résultats de test enregistrés sur un logiciel externe.



Figure 42 : DLRO10HD

Les deux instruments sont conçus pour fonctionner dans les conditions les plus difficiles, pour résister aux chocs, aux chutes, et à des environnements poussiéreux et humides. Ils peuvent être utilisés sous la pluie, et, avec le couvercle fermé, sont étanches à la norme IP65 Il n'y a pas besoin de s'inquiéter d'une connexion involontaire à des alimentations sous tension. La protection d'entrée élevée s'en débarrasse sans même faire fondre un fusible.

Les DLRO10HD et DLROHDX sont alimentés par une batterie rechargeable ou par l'alimentation secteur, ce qui les rend appropriés pour faire des tests en continu dans une ligne de production ou des environnements nécessitant une utilisation répétée, même lorsque la batterie interne est en charge. Vous n'avez pas besoin d'attendre que la batterie soit chargée.

DLRO600

Ce modèle offre toutes les fonctionnalités des DLRO10 et 10X, plus un courant supplémentaire jusqu'à 600 A afin de répondre aux normes les plus courantes pour tester les contacts du disjoncteur. Cependant la portabilité a été conservée, avec un instrument qui ne pèse que 15 kg !

La plage de mesure de 0,1 milli-ohm à 1 ohm permet de répondre à toutes les exigences standard de courant élevé. La mémoire stocke jusqu'à 300 résultats et une connexion RS-232 permet de les envoyer vers une imprimante ou un ordinateur portable. Les fonctionnalités supplémentaires de manipulation des données permettent de limiter le courant à des valeurs standard jusqu'à 600 A, ce qui élimine la nécessité d'avoir plusieurs testeurs pour se conformer à différentes normes.



Figure 43 : DLRO600

DLRO200

Le DLRO200 est conçu pour contrôler et mesurer la résistance de contact dans les disjoncteurs à haute tension, les commutateurs de déconnexion (isolateurs) et les connecteurs de jeux de barres, ou pour toute autre mesure de faible résistance. Les deux modèles mesurent avec précision des résistances allant de 0,1 micro-ohm à 1 ohms, à des courants élevés.

Cet instrument polyvalent peut fournir des courants de test compris entre 10 ampères et 200 ampères, en fonction de la résistance à la charge et de la tension d'alimentation. Le DLRO200 fournit un courant continu non filtré et peut délivrer 200 A à travers une boucle de courant d'une résistance totale de 19 milli-ohms (alimentation >207 V, 11 milli-ohms pour une alimentation en 115 V).

Sa conception unique permet de réduire au minimum le poids et la taille du DLRO200 : l'instrument pèse moins de 14,5 kg (32 lbs). Avec cette petite taille associée à un indice de protection IP54 contre la poussière/l'humidité, cet appareil est aussi bien adapté à une utilisation en atelier, sur le site de production que sur le terrain.

Guide pour les tests de faible résistance

Le clavier alphanumérique vous permet d'ajouter des remarques aux résultats enregistrés et de définir le courant de test directement en saisissant la valeur requise. Le DLRO200 vérifie la continuité du circuit de test, et fait rapidement augmenter le courant de test jusqu'au niveau désiré. Le clavier est également utilisé pour définir les limites inférieures et supérieures du résultat et pour empêcher l'utilisation de courants excessifs en fixant une limite supérieure pour le courant de test.



Figure 44 : DLRO200

MOM2

Le micro-ohmmètre MOM2 est conçu pour mesurer la résistance des contacts des disjoncteurs, des jonctions des jeux de barres et autres liaisons à fort courant.

Le MOM2 utilise un supercondensateur pour générer le courant de sortie élevé. Le supercondensateur est capable de stocker une quantité énorme d'énergie par rapport aux condensateurs classiques et peut fournir un courant très élevé en phase de décharge grâce à sa très faible résistance interne.

Le MOM2 peut être utilisé partout pour mesurer de faibles valeurs de résistance avec une grande précision.

Le MOM2 permet d'effectuer des mesures selon la méthode DualGround™. Ainsi, l'appareil testé bénéficie d'une mise à la terre bilatérale pendant l'intégralité du test, rendant l'opération plus sûre, rapide et facile.



Figure 45 : MOM2

MJÖLNER200 / MJÖLNER600

Les micro-ohmmètres MJÖLNER200 et MJÖLNER600, comme le MOM2, sont conçus pour mesurer la résistance des contacts des disjoncteurs, des raccords de jeux de barres et d'autres liaisons à fort débit de courant. Ils mesurent également les éléments de contact dans les jeux barres.



Figure 46 : MJÖLNER200

Avec la capacité de courant élevé allant jusqu'à 200 A C.C. du MJÖLNER200, l'utilisateur évite les problèmes de résultats de test incorrects dus à un faible courant de test lorsque des appareils à courant élevé sont testés, comme par exemple des disjoncteurs. Il peut également faire des tests de courant continu véritable sans ondulation de jeux de barres, disjoncteurs, fusibles, etc.

Utilisez le MJÖLNER600 avec des sources de puissance excessives pour les applications exigeantes, une très grande précision de mesure et lorsqu'un courant continu de 300 A est nécessaire.



Figure 47 : MJÖLNER600

Les modèles MJÖLNER200 et MJÖLNER600 effectuent également des mesures selon la méthode DualGround™, comme le MOM2, et peuvent être utilisés n'importe où pour mesurer une faible résistance avec une grande précision.

Guide pour les tests de faible résistance

La mallette de transport de conception légère et robuste fait du MJÖLNER200 et du MJÖLNER600 un excellent choix lorsqu'une solution portable est nécessaire. Lorsque la mallette est fermée, le produit peut résister à l'impact de l'eau, de la poussière ou du sable. Et elle flotte !

Les accessoires en option comprennent une télécommande et un logiciel PC.

MOM690A

Le MOM690A complète la famille de micro-ohmmètres Megger. En plus de ses capacités de traitement de hauts débits de courant, le MOM690 propose des fonctions de mesure, d'enregistrement et de présentation utilisant un microprocesseur. Le logiciel intégré vous permet d'effectuer des tests isolés ou une toute une série de tests et d'archiver les résultats.

Le logiciel MOMWin™ proposé en option permet également d'exporter les résultats des tests sur un ordinateur à des fins d'analyse et de présentation plus poussées. Les gammes sont définies automatiquement, les résistances sont mesurées continuellement et les résultats des tests peuvent être automatiquement enregistrés à une intensité de test prédéfinie.

Après avoir testé un disjoncteur avec un transformateur de courant (TC) monté sur son circuit de courant, c'est-à-dire des disjoncteurs « dead tank » et GIS, certaines normes recommandent de démagnétiser le TC. Cette tâche fastidieuse peut être accomplie rapidement et facilement grâce à la sortie AC du MOM690. La sortie AC peut également être utilisée comme source de courant multi-usage dans différentes applications.



Figure 48 : MOM690A

MOM200A / MOM600A

Le MOM200A™ est conçu pour contrôler et mesurer les résistances de contact dans les disjoncteurs à haute tension, les commutateurs de déconnexion (isolateurs) et les connecteurs de jeux de barres. C'est un excellent choix lorsque 200 A ou moins sont nécessaires pour la mesure.

Le MOM200A est idéal pour détecter les connexions médiocres, car il peut produire un courant de 100 A sur des périodes prolongées. Sa plage qui va jusqu'à 20 milli-ohm, en fait un outil idéal pour mesurer différents types de connexions et, avec son poids de 14 kg (31 lb), il est facile à transporter.

Le MOM600A, avec un courant de sortie compris entre 100 et 660 A, est disponible en deux versions : 115 V et 230 V.

Un MOM200A ou MOM600A complet comprend un ensemble de câbles (y compris des câbles de détection séparés) et une mallette de transport.



Figure 49 : MOM200A / MOM600A

BT51

Le DUCTER BT51 de Megger est idéal lorsque l'économie et la simplicité de fonctionnement sont primordiales : il suffit de régler le commutateur de plage à deux positions. Il est possible de sélectionner des plages de 2 A et 20 mA avec une résolution respective de 1 milli-ohm et 0,01 milli-ohm.

L'instrument fonctionne avec un courant de test de 2 A, dispose de voyants d'avertissement, et il est fourni avec des cordons avec pointe à main.



Figure 50 : BT51

Guide pour les tests de faible résistance

Série 247000

Cette ligne traditionnelle de Megger est synonyme de qualité et de fiabilité depuis l'apparition du DLRO, et elle demeure toujours aussi populaire aujourd'hui. C'est devenu la norme en matière de robustesse et de portabilité grâce à des décennies d'utilisation sur le terrain.

Trois modèles 10 A de la série offrent le plus haut niveau de précision combiné à une grande facilité de fonctionnement :

Réf. No. 247000 dispose de la conception dual-pak éprouvée et très populaire, avec un chargeur conçu comme un élément distinct qu'il n'est pas nécessaire de transporter et un module de mesure qui offre une très grande portabilité. Lorsque l'autonomie est essentielle.

Réf. No. 247001 combine le module de mesure et le chargeur dans un seul instrument sans perte de portabilité.

Réf. No. 247002 est lui-aussi un instrument unique, avec une plage supplémentaire pour plus de précision avec une résolution jusqu'à 0,1 mA.



Figure 51 : DLRO247000

Système de câbles de test duplex à connecteur

Le système de câble de test à connecteur duplex Megger peut être utilisé avec les instruments DLRO et BT51 de 10 A



Figure 52 : Câbles de test duplex à connecteur

Ce système de cordons de test offre le moyen le plus économique et le plus pratique de fournir à l'utilisateur de nombreuses longueurs de cordons de test et de rallonges, et la possibilité de connecter des terminaisons de cordon de test requises pour les nombreuses applications différentes rencontrées dans les tests de faible résistance.

Un jeu de cordons de test, toutes les terminaisons.

Au cœur de ce système unique de câbles de test se trouve le connecteur sur mesure à quatre bornes (deux sur chaque cordon de test) permettant de changer à volonté les raccordements, notamment les pinces Kelvin ou les sondes de test duplex.

Il existe deux versions du connecteur, dont l'une équipée de voyants, et qui fonctionnent sur la gamme d'instruments DLRO10.

Guide pour les tests de faible résistance

Tableau de comparaison des produits



Caractéristiques techniques	BT51	DLRO10	DLRO10X	DLRO10HD	DLRO10HDX
Courants de test	2 A	10 A	10 A	0,1 - 10 A	0,1 - 10 A
Étapes de courant	2 A	Valeurs prédéfinies : 100 µA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A	Valeurs prédéfinies : 100 µA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A	Valeurs prédéfinies : 0,1 mA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A	Valeurs prédéfinies : 0,1 mA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A
Durée de test max. à l'intensité max.		1 A continu en mode inductif	1 A continu en mode inductif	60 s	60 s
Courant continu max.	2 A	10 A	10 A	10 A	10 A
Résistance max. pour courant max.	2 Ω	1,999 mΩ***	1,999 mΩ***	250 mΩ	250 mΩ
Plage de mesure	2 000 mΩ et 20 mΩ	1,9999 mΩ - 1999,9 Ω	1,9999 mΩ - 1999,9 Ω	0 Ω - 250 mΩ	0 Ω - 250 mΩ
Meilleure résolution	1 mΩ 0,01 mΩ	0,1 µΩ	0,1 µΩ	0,1 µΩ	0,1 µΩ
Inexactitude	± 1 % ± 2 chiffres	± 0,2 % ± 0,2 µΩ	± 0,2 % ± 0,2 µΩ	± 0,2%	± 0,2%
Courant continu sans ondulation	■	■	■	■	■
Lissage supplémentaire sur CC					
DualGround					
Rampe haut/bas (automatique)					
Démagnétisation CA					
Télécommande					
Imprimante intégrée					
Limites de test hautes et basses définissables par l'utilisateur			■		
Stockage de données			■		■
Champ mémo pour les résultats de tests enregistrés			■		
Communication PC			RS232		USB
Fonctionnement alimenté par batterie	■	■	■	■**	■**
Catégorie de sécurité *		CAT III 600 V	CAT III 600 V	CAT III 300 V	CAT III 300 V
Protection contre les tensions externes	240 V CA Blocage de test Sans fonte de fusible	600 V CA ou CC Blocage de test Sans fonte de fusible	600 V CA ou CC Blocage de test Sans fonte de fusible	600 V CA ou CC Blocage de test Sans fonte de fusible	600 V CA ou CC Blocage de test Sans fonte de fusible
Spécification d'immunité au bruit		100 mV 50/60 Hz (Différentiel)	100 mV 50/60 Hz (Différentiel)	100 mV 50/60 Hz (Différentiel)	100 mV 50/60 Hz (Différentiel)
Indice de protection (IP)				IP65 fermé IP54 ouvert	IP65 fermé IP54 ouvert
Mallette de transport robuste	■			■	■
Poids sans les cordons	4,5 kg (9,9 lbs)	2,6 kg (5,7 lbs)	2,6 kg (5,7 lbs)	6,7 kg (14,77 lbs)	6,7 kg (14,77 lbs)
Dimensions	245 x 344 x 158 mm (9,6 x 13,5 x 6,2 in)	220 x 100 x 237 mm (8,66 x 3,9 x 9,3 in)	220 x 100 x 237 mm (8,66 x 3,9 x 9,3 in)	315 x 285 x 181 mm (12,4 x 11,2 x 7,1 in)	315 x 285 x 181 mm (12,4 x 11,2 x 7,1 in)

Guide pour les tests de faible résistance



DLRO100	DLRO200	DLRO200-115	DLRO600	Commentaires
10 - 110 A	10 - 200 A		10 - 600 A	
1 A (Également 10 A, 50 A et 100 A prédéfinis)	1 A		1 A	
10 min	>10 min		>60 s	
100 A (10 min)	200 A (15 min)		200 A (15 min)	Des temps de test longs peuvent vous aider à localiser les faiblesses en chauffant
100 mΩ	19 mΩ	11 mΩ	11 mΩ	En soustrayant la résistance de test attendue, vous pouvez calculer la longueur de fil de test maximale. ***Puissance limitée à 0,25 W pour les applications sensibles
0,1 μΩ - 1,999 Ω	0,1 μΩ - 999,9 mΩ		0,1 μΩ - 999,9 mΩ	
0,1 μΩ	0,1 μΩ		0,1 μΩ	
± 0,2% + 2 μΩ	± 0,7% + 1 μΩ		0,6 % + 0 3 μΩ	
■				Idéal pour tester les disjoncteurs avec système de relais actif connecté sans déclenchement
		■		Permet de tester la plupart des disjoncteurs avec un système de relais actif connecté sans déclenchement
			■	Utilisé pour les tests de disjoncteurs dont les deux côtés sont connectés à la masse, sans inexactitude supplémentaire.
	■	■	■	Idéal pour tester les disjoncteurs avec système de relais actif connecté sans déclenchement
■				
En fonction du modèle				
■	■	■	■	Idéal pour des tests rapides aux limites de test prédéfinies
En fonction du modèle				
■	■	■	■	
En fonction du modèle				Prenez des notes sur les problèmes ou les mesures correctives requises
	■	■	■	
USB En fonction du modèle	RS232	RS232	RS232	
■**				*Fonctionne sur secteur même avec une batterie déchargée
CAT IV 600 V *pincés isolés	CAT II 300 V	CAT II 300 V	CAT II 300 V	**Les pincés isolés réduisent le risque de provoquer des arcs électriques dans des environnements sous tension
600 V CA ou CC Blocage de test Sans fonte de fusible				Particulièrement important lors de test à proximité d'équipements sous tension
100 mV 50/60 Hz (Différentiel)	5 V eff. 50/60 Hz (Mode commun)	5 V eff. 50/60 Hz (Mode commun)	5 V eff. 50/60 Hz (Mode commun)	Reflète la capacité d'un instrument à fonctionner dans les environnements bruyants électriquement tels que les postes électriques haute tension
IP65 fermé IP54 ouvert	IP53	IP53	IP53	Indices IP élevés parfaits pour un fonctionnement en extérieur
■				
7,9 kg (18 lbs)	14,5 kg (33 lbs)	14,5 kg (33 lbs)	14,5 kg (33 lbs)	Poids sans les cordons
400 x 300 x 200 mm (16 x 12 x 7,9 in)	410 x 250 x 270 mm (16 x 10 x 11 in)	410 x 250 x 270 mm (16 x 10 x 11 in)	410 x 250 x 270 mm (16 x 10 x 11 in)	Dimensions

Guide pour les tests de faible résistance



Caractéristiques techniques	Mjolner200	Mjolner600	MOM2	MOM200
Courants de test	5 - 200 A	5 - 600 A	220 A	0 - 200 A
Étapes de courant	1 A	1 A		
Durée de test max. à l'intensité max.	2 min	15 s	3 s - décharge	20 s
Courant continu max.	200 A	300 A	N/A	100 A (15 min)
Résistance max. pour courant max.	19 mΩ, avec câbles	2 mΩ, avec câbles	2 mΩ, avec câbles	17 mΩ, avec câbles
Plage de mesure	0 μΩ - 999,9 mΩ	0 μΩ - 999,9 mΩ	0 μΩ - 1 000 mΩ	0 μΩ - 19,99 mΩ
Meilleure résolution	0,1 μΩ	0,1 μΩ	1,0 μΩ	1,0 μΩ
Inexactitude	± 0,3 μΩ	± 0,3 μΩ	± 1 % + 1 μΩ	± 1 % + 1 μΩ
Courant continu sans ondulation	■	■	■	
Lissage supplémentaire sur CC				
DualGround	■	■	■	
Rampe haut/bas (automatique)	■	■		
Démagnétisation CA				
Télécommande	■	■	■	
Imprimante intégrée	■	■		
Limites de test hautes et basses définissables par l'utilisateur			■	
Stockage de données	■	■	■	
Champ mémo pour les résultats de tests enregistrés				
Communication PC	USB	USB	Bluetooth	
Fonctionnement alimenté par batterie			■	
Catégorie de sécurité *				
Protection contre les tensions externes				
Spécification d'immunité au bruit				
Indice de protection (IP)	IP41	IP41	IP54	IP20
Mallette de transport robuste	■	■		
Poids sans les cordons	8,8 kg (20 lbs)	13,8 kg (31 lbs)	1,0 kg (2 lbs)	14,6 kg (32 lbs)
Dimensions	486 x 392 x 192 mm (19 x 15 x 7,6 pouces)	486 x 392 x 192 mm (19 x 15 x 7,6 pouces)	217 x 92 x 72 mm (8,5 x 3,6 x 2,8 pouces)	280 x 178 x 246 mm (11 x 7 x 9,7 pouces)

*Pour les circuits de mesure utilisés pour mesurer tout autre signal électrique (CAT II) l'utilisateur doit tenir compte des contraintes transitoires et veiller à ce qu'elles ne dépassent pas les capacités de l'équipement de mesure. Le niveau de tension transitoire prévu est de 6 000 V pour CAT IV, 4 000 V pour CAT III, 2 500 V pour CAT II et 1 500 V pour CAT I. Pour la CAT I, les niveaux transitoires peuvent être spécifiés différemment ; ils sont alors conçus et testés en conséquence afin de s'assurer qu'ils supportent les tensions transitoires attendues.

Guide pour les tests de faible résistance



MOM600A	MOM690	Commentaires
0 - 600 A	0-800 A	
15 s	Arrêt instantané	
100 A	100 A (10 min)	Des temps de test longs peuvent vous aider à localiser les faiblesses en chauffant
9 mΩ, avec câbles	Avec câbles, 600 A 0,5m Ω	En soustrayant la résistance de test attendue, vous pouvez calculer la longueur de fil de test maximale. ***Puissance limitée à 0,25 W pour les applications sensibles
0 μΩ - 1 999 mΩ	0 μΩ - 200 mΩ	
1,0 μΩ	1,0 μΩ	
± 1% + 1 μΩ	± 1% + 1 μΩ	
		Idéal pour tester les disjoncteurs avec système de relais actif connecté sans déclenchement
		Permet de tester la plupart des disjoncteurs avec un système de relais actif connecté sans déclenchement
		Utilisé pour les tests de disjoncteurs dont les deux côtés sont connectés à la masse, sans inexactitude supplémentaire.
		Idéal pour tester les disjoncteurs avec système de relais actif connecté sans déclenchement
		■
		Idéal pour des tests rapides aux limites de test prédéfinies
		Prenez des notes sur les problèmes ou les mesures correctives requises
		■
		*Fonctionne sur secteur même avec une batterie déchargée
	CAT I	**Les pinces isolées réduisent le risque de provoquer des arcs électriques dans des environnements sous tension Particulièrement important lors de test à proximité d'équipements sous tension
		Reflète la capacité d'un instrument à fonctionner dans les environnements bruyants électriquement tels que les postes électriques haute tension
IP20	IP20	Indices IP élevés parfaits pour un fonctionnement en extérieur
24,7 kg (55 lbs)	23,7 kg (52 lbs)	Poids sans les cordons
356 x 203 x 241 mm (14 x 8 x 9,5 pouces)	350 x 270 x 220 mm (14 x 11 x 8,7 pouces)	Dimensions

Guide pour les tests de faible résistance

REMARQUES

Guide pour les tests de faible résistance

REMARQUES



2621 Van Buren Avenue
Norristown,
PA 19403 États-Unis
866-254-0962

www.megger.com

DLRO Guide_fr_V02a

"Megger" est une marque déposée. Copyright © 2021

Megger®