

Een gids voor diagnostische isolatietests boven 1 kV

Megger[®]
Power on



WAAROM EEN 10 KV ISOLATIETESTER?

Megger begon nog vóór de 20e eeuw als eerste met het testen van isolatie. Sindsdien is het bedrijf steeds marktleidend geweest op het gebied van innovatie en technologische vooruitgang. Dus waarom ontwikkelden wij een model van 10 kV terwijl andere aanbieders gestopt zijn bij 5 kV? Het antwoord is te vinden in de IEEE-normen. Megger ontwikkelde een instrument voor 10 kV om te voldoen aan de nieuwe aanbevelingen van het IEEE voor het uitvoeren van tests. Megger biedt al sinds 2001 een 10 kV isolatieweerstandstester aan.

In maart 2000 keurde de IEEE-SA Standards Board een herziening goed van de norm IEEE 43-1974. De norm IEEE 43-2000 'Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery' (Aanbevolen methode voor het testen van de isolatieweerstand van roterende machines) benadrukt de noodzaak om bestaande praktijken te herzien met het oog op veranderingen en verbeteringen van isolatiemateriaal. Ook wijst de norm op het belang van tests met hogere spanningen, waarmee gebreken kunnen worden vastgesteld die anders verborgen zouden blijven.

Hieronder volgt een korte samenvatting van de belangrijkste punten van de norm:

- Bij wikkelingen voor een nominale spanning van meer dan 12 kV worden testspanningen tot 10 kV aanbevolen.
- Zowel de isolatieweerstandstest als de polarisatie-indextest worden aanbevolen.
- De meetresultaten moeten worden vergeleken met historische waarden om veranderingen vast te stellen.
- Bij het ontbreken van historische gegevens zijn er minimaal aanvaardbare waarden (afhankelijk van het type apparatuur) voor beide tests aangegeven.
- Afhankelijk van de nominale specificaties van de machine moeten de resultaten van één of voor beide tests hoger zijn dan de minimaal toelaatbare waarden.
- Als de resultaten lager zijn dan de minimaal toelaatbare waarden, wordt afgeraden om de wikkeling te onderwerpen aan een overspanningstest of om de wikkeling te gebruiken.

De norm IEEE 43-2000 raadt een methode aan voor het meten van de isolatieweerstand van anker- en veldwikkelingen in roterende machines van 1 pk, 750 W of meer, en is van toepassing op synchrone machines, inductiemachines, gelijkstroommachines en synchrone condensatoren. De norm is niet van toepassing op machines met een laag vermogen. De norm bevat tevens aanbevelingen voor de isolatietestspanning (gebaseerd op de nominale waarde van de wikkelingen) en de minimaal aanvaardbare waarden van de isolatieweerstand voor de wikkelingen van roterende wissel- en gelijkstroommachines.

Ga voor meer informatie over de IEEE-norm naar pagina 25 in de brochure.

WAAROM EEN ISOLATIETESTER VAN 15 KV?

Er is momenteel een grote vraag naar isolatietesters van 15 kV, omdat ingenieurs en monteurs merken dat met deze instrumenten de achteruitgang van isolatie eerder kan worden vastgesteld en storingen in hoogspanningsapparatuur beter kunnen worden opgespoord. Veel nutsbedrijven in Zuid-Amerika hebben het testen met 15 kV reeds in hun procedures opgenomen, en deze trend breidt zich nu uit over Europa, het Midden-Oosten en Azië. In de Verenigde Staten schrijven de NETA-normen een testspanning van 15 kV voor. De reconditioneringsnorm NETA Pearl / NETA MTS-1997 schrijft het testen met 15 kV voor bij apparatuur met een maximale nominale spanning van 35 kV of meer. Motoren die worden getest volgens NETA ATS 2007 en waarbij het typeplaatje een spanningswaarde van 34.500 V of meer vermeldt, moeten eveneens worden getest met 15 kV.

Inleiding	2	Stijgtest.....	17
Wat is isolatie?	2	Test van de diëlektrische ontlading.....	19
Waarom gaat isolatie achteruit?.....	3	Verskillende problemen/verschillende tests.....	21
Elektrische belasting.....	3	Bijlagen	22
Mechanische belasting.....	3	Mogelijke bronnen van fouten/ hoogwaardige meetresultaten garanderen.....	22
Chemische aantasting.....	3	Meetsnoeren.....	22
Thermische invloeden.....	3	Metingen boven 100 GΩ uitvoeren.....	22
Omgevingsverontreiniging.....	3	Nauwkeurigheidsverklaringen.....	22
Hoe kan preventief onderhoud een hulpmiddel zijn?3		Afgifte van nominale spanning.....	22
Het voordeel van nieuwe technologie.....	4	Onderdrukking van interferentie.....	23
Hoe isolatieweerstand wordt gemeten	4	Regels bij het testen en vergelijken.....	23
De werking van een isolatieweerstandstester.....	4	Veiligheidscategorie.....	24
Componenten van de teststroom.....	4	Richtlijnen voor veiligheids categorie.....	24
Capacitieve laadstroom.....	4	Het belang van een veiligheids categorie.....	24
Absorptie- of polarisatiestroom.....	4	Enkele belangrijke statistieken over veiligheids categorieën.....	25
Oppervlaktelekstroom.....	5	Testen op grote hoogten.....	25
Geleidingsstroom.....	5	Isolatieweerstand van roterende machines testen25	
De isolatietester aansluiten.....	6	Effecten van temperatuur.....	26
Enkele typische aansluitingen.....	6	Effecten van vochtigheid.....	27
Afgeschermdde stroomkabel.....	6	Indringingsbescherming.....	28
Stroomonderbreker/doorvoeringen.....	6	Tests met hoog potentiaal.....	29
Vermogenstransformator.....	6	Stroomwaarden (nA) vs. weerstandswaarden (MΩ)29	
Wisselstroomgenerator.....	7	Brandmodus.....	29
Schaal van isolatieweerstandstesters.....	7	Elektrische apparatuur drogen.....	29
Spanningskarakteristieken.....	8	Ontlading van het geteste item.....	30
De guardaansluiting	9	Oplaadtijd voor grote apparatuur.....	31
Inleiding.....	9	Isolatietesters met motoraandrijving.....	31
Werking van de guardaansluiting.....	10	Ontwerp van de meetsnoeren	32
Prestaties van de guardaansluiting.....	10	Belangrijke veiligheidsverbeteringen.....	32
Resultaten vergelijken.....	11	Overwegingen met betrekking tot veilige bediening32	
De guardaansluiting als diagnosetool.....	11	Veiligheidswaarschuwingen.....	33
Bescherming van de guardaansluiting.....	12	Ontwerp van de instrumentbehuizing	33
Tot slot.....	12	Brandvertragende bescherming.....	34
Evaluatie en interpretatie van resultaten	13	Megger isolatietesters	35
Interpretatie van de aflezing oneindig.....	13	MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525.....	35
Diagnostische isolatietests met hoge spanning	13	S1-568, S1-1068 en S1-1568.....	35
Spot-test.....	14	Meetsnoeren.....	36
Tijdgebonden weerstandstest.....	15	Modellen MJ15 en BM15.....	36
Polarisatie-index test.....	15		
Stapspanningstest.....	17		

INLEIDING

De toestand van elektrische isolatie gaat na verloop van tijd achteruit. Dit wordt veroorzaakt door verschillende mechanische belastingen waaraan de isolatie tijdens de normale levensduur wordt blootgesteld. De isolatie is ontworpen voor een jarenlange bestendigheid tegen deze belastingen, wat wordt beschouwd als de levensduur van de betreffende isolatie. Deze beslaat vaak tientallen jaren.

Abnormale mechanische belastingen kunnen dit natuurlijke verouderingsproces versnellen en de levensduur van de isolatie aanzienlijk verkorten. Daarom verdient het aanbeveling regelmatig tests uit te voeren om vast te stellen of er sprake is van een versnelde veroudering en, indien mogelijk, te bepalen of de effecten ongedaan kunnen worden gemaakt of niet.

Het doel van diagnostische isolatietests:

- **Versnelde veroudering vaststellen.**
- **De oorzaak van deze veroudering vaststellen.**
- **Indien mogelijk de meest passende maatregelen bepalen om de situatie te verhelpen.**

De eenvoudigste vorm van een diagnostische test is een 'spot-test'. De meeste professionele elektriciens zijn vertrouwd met spot-tests, waarbij een spanning op de isolatie wordt gezet en een weerstand wordt gemeten. In dit geval is de diagnose beperkt tot 'goede isolatie' of 'slechte isolatie'. Maar wat doen we met die diagnose? Het is alsof u naar de dokter gaat omdat u erg hoest en de dokter u vertelt dat u een zware hoest hebt. U zult vast geen genoeg nemen met alleen die informatie. U verwacht dat de dokter u onderzoekt, enkele tests uitvoert, en u zegt waarom u zo hoest en wat u kunt doen om van die hoest af te raken.

Bij het testen van isolatie komt een spot-test overeen met een bezoek aan een dokter die u alleen zegt of u ziek bent of niet. U krijgt minimale informatie. Dit soort test wordt doorgaans gebruikt voor laagspanningscircuits, waarbij de kosten in geval van storing laag zijn en apparatuur eenvoudig en goedkoop kan worden vervangen. Aangezien de geteste apparatuur werkt met lage spanning, worden deze tests gewoonlijk uitgevoerd met een testspanning van 500 of 1000 V. Alle elektriciens zijn vertrouwd met deze tests.

Als een dokter echter de onderzoeksresultaten registreert en deze vergelijkt met die van vorige consultaties, kan een trend worden vastgesteld en medicatie worden voorgeschreven. Op dezelfde wijze kunnen isolatieweerstandswaarden worden geregistreerd en vergeleken met vorige resultaten, zodat het mogelijk is een trend waar te nemen en corrigerende handelingen voor te schrijven als die nodig zijn.

Diagnostische isolatietests met spanningen boven 1 kV zijn minder bekend bij vele elektriciens. Het doel van deze brochure is:

- **De lezer vertrouwd maken met het uitvoeren van diagnostische isolatieweerstandstests.**
- **Richtlijnen geven voor het evalueren van de resultaten van deze diagnostische isolatieweerstandstests.**
- **De voordelen van tests met meerdere hogere spanningen uitleggen.**

De bijlagen aan het eind van deze brochure geven de lezer extra informatie met betrekking tot diagnostische isolatietests.

Deze brochure is gebaseerd op de principes die zijn vastgelegd in de brochure 'A Stitch in Time... The Complete Guide to Electrical Insulation Testing' (een complete gids over het testen van elektrische isolatie), die voor het eerst werd gepubliceerd in 1966 door de James G. Biddle Company.

WAT IS ISOLATIE?

Elke elektrische draad in een apparaat of installatie, d.w.z. een motor, generator, kabel, schakelaar, transformator of wat dan ook, is omhuld met een bepaalde vorm van elektrische isolatie. Terwijl de draad zelf een goede geleider is (gewoonlijk gemaakt van koper of aluminium) van de stroom waarmee elektrische apparatuur wordt gevoed, moet de isolatie weerstand bieden aan de stroom en deze in zijn pad door de geleider houden. Een goed begrip van de Wet van Ohm, uitgedrukt in de onderstaande vergelijking, is essentieel om te begrijpen hoe isolatie wordt getest:

$$U = I \times R$$

waarbij

U = spanning in volt

I = stroom in ampère

R = weerstand in ohm

Voor een gegeven weerstand geldt dat hoe hoger de spanning is, hoe groter de stroom. Anders gezegd: hoe lager de weerstand van de draad, hoe meer stroom er nodig is voor dezelfde spanning.

Geen enkele isolatie is perfect (heeft een oneindige weerstand); er stroomt altijd een beetje stroom door de isolatie, of via de isolatie naar de aarde. Deze hoeveelheid stroom is voor de meeste praktische doeleinden verwaarloosbaar klein, maar vormt de basis van apparatuur voor het testen van isolatie.

Wat is 'goede' isolatie? 'Goed' betekent een relatief hoge weerstand tegen stroom. Met betrekking tot isolatiemateriaal betekent 'goed' ook 'het vermogen om een hoge weerstand te handhaven'. Door de weerstand te meten, kunt u bepalen hoe 'goed' de isolatie is.

Waarom gaat isolatie achteruit?

Er zijn vijf hoofdoorzaken waardoor isolatie achteruitgaat. Door de onderlinge wisselwerking neemt de kwaliteit van de isolatie geleidelijk af.

Elektrische belasting

Isolatie wordt ontworpen voor een specifieke toepassing. Overspanningen en onderspanningen veroorzaken abnormale belasting van de isolatie, wat kan leiden tot scheuren of delaminatie van de isolatie.

Mechanische belasting

Mechanische schade zoals het raken van een kabel bij het graven van een sleuf is vrij goed zichtbaar, maar er kan ook mechanische spanning optreden door een niet-gebalanceerde werking van een machine of frequent stoppen en starten. Het trillen van een machine kan ook leiden tot een defect in de isolatie.

Chemische aantasting

Isolatie kan worden aangetast door corrosieve dampen, maar ook olie en vuil kunnen de efficiëntie van isolatie verminderen.

Thermische invloeden

Wanneer een machine in extreem hete of koude omstandigheden werkt, kan de isolatie te veel uitzetten of krimpen, met mogelijk scheuren en storingen tot gevolg. Thermische invloeden treden echter ook op telkens wanneer een machine wordt in- of uitgeschakeld. Tenzij de machine is ontworpen om af en toe te worden gebruikt, heeft elke uitschakeling en inschakeling een negatieve invloed op het verouderingsproces van de isolatie.

Omgevingsverontreiniging

Omgevingsverontreiniging varieert van vocht afkomstig van processen, luchtvochtigheid op een zwoele dag tot zelfs knaagdieren die zich een weg knabbelen door de isolatie.

Isolatiemateriaal begint achteruit te gaan zodra het in gebruik wordt genomen. De isolatie in een gegeven toepassing is ontworpen om vele jaren goed te presteren onder normale bedrijfsomstandigheden. Abnormale omstandigheden hebben evenwel een schadelijk effect dat, bij gebrek aan controle, zal leiden tot een snellere achteruitgang en ten slotte tot een defecte isolatie. Isolatie wordt als defect beschouwd als het in onvoldoende mate kan voorkomen dat er elektrische stroom via ongewenste paden loopt. Dit omvat stroom door de buiten- of binnenkant van de isolatie (oppervlaktelekstroom), via de kern van de isolatie (geleidingsstroom) of stroom om diverse andere redenen.

Er kunnen bijvoorbeeld gaatjes of scheuren in de isolatie ontstaan, of vocht en andere verontreinigingen kunnen in het (de) oppervlak(ken) dringen. Deze verontreinigingen ioniseren onmiddellijk onder invloed van een toegepaste spanning, waardoor een pad met lage weerstand ontstaat en de oppervlaktelekstroom groter is dan bij droge, niet-verontreinigde oppervlakken. Door de isolatie te reinigen en te drogen, wordt de situatie echter eenvoudig gecorrigeerd.

Andere vijanden van isolatie veroorzaken achteruitgang die niet eenvoudig kan worden hersteld. Zodra isolatie achteruit begint te gaan, hebben de diverse initiatoren evenwel de neiging elkaar te helpen om de achteruitgang te versnellen.

Hoe kan preventief onderhoud een hulpmiddel zijn?

Hoewel er gevallen zijn waarin de daling van de isolatieweerstand plotseling kan optreden, zoals wanneer apparatuur nat wordt, daalt de isolatieweerstand gewoonlijk geleidelijk. Door regelmatig tests uit te voeren, kan dit goed in de gaten worden gehouden. Deze regelmatige controles maken een planmatige revisie mogelijk zodat uitval en/of schokken kunnen worden voorkomen.

Zonder een periodiek testprogramma komt elke uitval als een verrassing. Dit verstoort de planning, komt altijd ongelegen en kost mogelijk veel tijd, geld en mankracht. Neem bijvoorbeeld een installatie waarin een kleine motor wordt gebruikt voor het pompen van materiaal, dat hard wordt als het stil blijft staan. Een onverwachte storing van deze motor kan duizenden, misschien zelfs tienduizenden euro's kosten als de uitval van de installatie wordt meegerekend. Als echter een diagnostische isolatietest was uitgevoerd tijdens preventief onderhoud, kon de defecte motor worden gerepareerd of vervangen op een ogenblik dat de lijn niet actief was, met minimale kosten. Mogelijk kon de motor zelfs worden verbeterd terwijl hij in bedrijf was.

Als een gevorderde achteruitgang van isolatie onopgemerkt blijft, stijgt het risico op een elektrische schok of zelfs de dood van een personeelslid. Het gevaar voor een door elektriciteit veroorzaakte brand neemt toe, de levensduur van elektrische apparatuur kan verkorten en/of de uitrusting kan onverwacht uitvallen met hoge kosten als gevolg. Het is essentieel dat de kwaliteit van isolatie regelmatig wordt gemeten als onderdeel van elk onderhoudsprogramma, om een uitval van elektrische apparatuur te voorspellen en te voorkomen.

Dit is nu nog belangrijker als we bedenken dat grote delen van het Amerikaanse en Europese elektriciteitsnetwerk werden geïnstalleerd tijdens de naoorlogse investeringsgolf in de jaren 50. Sommige apparatuur nadert het einde van zijn levensduur, en andere heeft deze reeds overschreden maar werkt nog naar behoren.

Diagnostische tests worden doorgaans gebruikt voor kritieke onderdelen, en we zien dat de meeste, maar niet alle, diagnostische testers normaal werken met een uitgangsspanning van 5 of 10 kV. Dit is de meest geschikte spanning voor het testen van uitrusting die zelf gewoonlijk werkt met middelhoge spanning, bijvoorbeeld machines, kabels, transformatoren etc.

Het voordeel van nieuwe technologie

Isolatietesters dateren van het begin van de 20e eeuw, toen Sidney Evershed en Ernest Vignoles hun eerste isolatiestester ontwikkelden (die in 1903 de basis vormde voor de testapparaten van Megger®).

Aanvankelijk werkten de meeste instrumenten met krukbediening. De mogelijkheden om tests die veel tijd kosten uit te voeren waren hierdoor beperkt, en de stabiliteit van de spanning was afhankelijk van het vermogen van de gebruiker om het handvat gelijkmatig rond te draaien. Later konden deze instrumenten worden uitgerust met een externe motoraandrijving, waardoor tests van langere duur mogelijk waren, maar de stabiliteit van de spanning werd hierdoor nauwelijks verbeterd. Maar het bereik van deze instrumenten was zelden groter dan 1000 MΩ. De analoge bewegingen waren vertraagd en dienden eigenlijk om transiënten te dempen.

De opkomst van elektronica en de ontwikkeling van accutechnologie hebben het ontwerp van isolatietesters revolutionair veranderd. Moderne instrumenten werken op netspanning of met een accu en produceren zeer stabiele testspanningen in uiteenlopende omstandigheden. Ze kunnen ook zeer kleine stromen meten, waardoor hun meetbereik voor isolatieweerstand met meerdere duizendvoudigen is vergroot tot het tera-ohmbereik (TΩ). Sommige testers vervangen zelfs pen, papier en stopwatch, waarmee vroeger handmatig resultaten werden verzameld. Gegevens worden in het geheugen opgeslagen zodat ze later kunnen worden gedownload en geanalyseerd. Deze indrukwekkende verbeteringen zijn een goede zaak, aangezien ook fabrikanten van isolatiemateriaal hard hebben gewerkt om moderne materialen te ontwikkelen met een veel hogere isolatieweerstand dan die van materialen van het begin van de 20e eeuw.

Nieuwere technologie zorgt voor betere prestaties zodat vastgelegde procedures betere inzichten opleveren en nieuwe methoden kunnen worden ontwikkeld. Moderne instrumenten leveren een stabiele spanning in hun volledige weerstandsbereik, en met een gevoelige microprocessor in het meetcircuit zijn metingen in het TΩ-bereik mogelijk. Dankzij de stabiele spanning en verbeterde gevoeligheid van de tester is het mogelijk om de minuscule hoeveelheden stroom die door de isolatie van nieuwe bedrijfsmiddelen lekt op te sporen. Ook zijn er geavanceerde werkwijzen ontwikkeld die gebaseerd zijn op precieze metingen en eenvoudig kunnen worden geïmplementeerd.

De isolatietester meet voortaan niet alleen waarden van defecte of verouderde apparatuur, maar kan ook worden gebruikt om de positie van het geteste item om het even waar op de verouderingscurve nauwkeurig te bepalen. Servicemonteurs houden van de aanduiding 'oneindig', maar voor diagnostische doeleinden is dit een lege waarde. Sommige instrumenten beschikken over software met voorgeprogrammeerde diagnostische tests die automatisch worden uitgevoerd, zodat die leegte wordt ingevuld met waardevolle analysegegevens.

HOE ISOLATIEWEERSTAND WORDT GEMETEN

De werking van een isolatieweerstandstester

De Megger® isolatietester is een draagbaar instrument dat een directe afleeswaarde voor isolatieweerstand geeft in ohm, mega-ohm, giga-ohm of tera-ohm (afhankelijk van het gekozen model), ongeacht de geselecteerde testspanning. Voor goede isolatie is de aflezing gewoonlijk in mega-ohm of hoger. De Megger isolatietester is hoofdzakelijk een weerstandsmeter (ohmmeter) met een hoog bereik en ingebouwde gelijkstroomgenerator.

De generator van het instrument ontwikkelt een hoge gelijkspanning die meerdere kleine elektrische stromen door en over de oppervlakken van de geteste isolatie veroorzaakt. De totale stroom wordt gemeten door de ohmmeter, die een analoge schaal aanduiding, digitale aflezing of beide heeft.

Componenten van de teststroom

Als we een testspanning op isolatie toepassen, kunnen we de weerstand van de isolatie berekenen door de resulterende stroom te meten en de Wet van Ohm ($R=U/I$) toe te passen. Helaas is er meer dan één stroom, wat de berekening ingewikkelder maakt.

Capacitieve laadstroom

Het is bekend dat we stroom nodig hebben om de capaciteit van de geteste isolatie op te laden. Deze stroom is aanvankelijk groot maar van relatief korte duur en daalt exponentieel tot een waarde van bijna nul wanneer het geteste item is opgeladen. Isolatiemateriaal wordt op dezelfde wijze opgeladen als het diëlektrisch materiaal in een condensator.

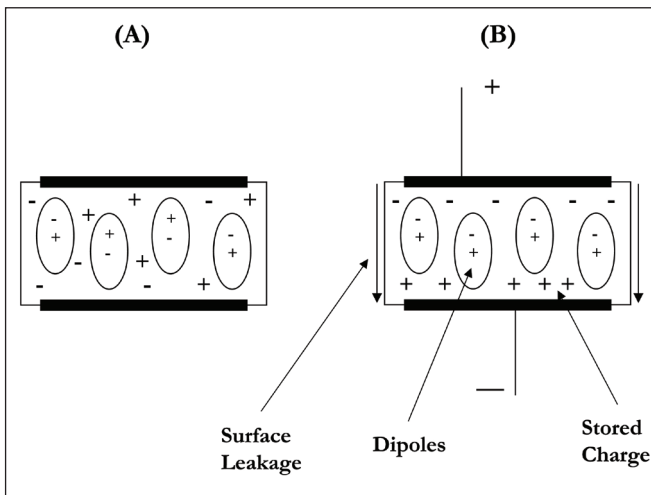
Absorptie- of polarisatiestroom

Absorptiestroom bestaat eigenlijk uit drie componenten, die geleidelijk afnemen tot een waarde van bijna nul over een tijdsduur van enkele minuten.

De eerste wordt veroorzaakt door een algemene beweging van vrije elektronen door de isolatie als gevolg van het elektrische veld.

De tweede wordt veroorzaakt door moleculaire vervorming. Het elektrische veld vervormt de negatieve lading van de elektronenschillen die rond de celkern naar de positieve spanning circuleren.

De derde is het gevolg van de uitlijning van gepolariseerde moleculen in het toegepaste elektrische veld, zie afbeelding 1. Deze uitlijning is redelijk willekeurig in een neutrale toestand, maar wanneer een elektrisch veld wordt toegepast, zetten deze gepolariseerde moleculen zich in meer of mindere mate op een lijn met het veld.



Afbeelding 1: Uitlijning van gepolariseerde moleculen

De drie stromen samen worden doorgaans als één stroom beschouwd en hoofdzakelijk beïnvloed door het type en de toestand van het gebruikte bindingsmateriaal in de isolatie. Hoewel de absorptiestroom dicht bij nul ligt, is er voor dit proces meer tijd nodig dan voor de capacatieve stroom.

Oriënteringspolarisatie is groter in de aanwezigheid van geabsorbeerd vocht aangezien verontreinigde materialen meer gepolariseerd zijn. Dit verhoogt de mate van polarisatie. Depolymerisatie van de isolatie leidt ook tot een grotere absorptiestroom.

Niet alle materialen bezitten alle drie de componenten en materiaal zoals polyethyleen vertoont zelfs een geringe of geen polarisatie-absorptie.

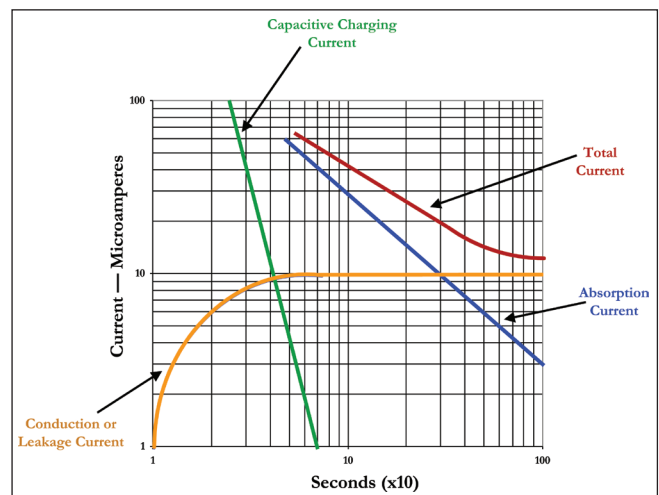
Oppervlaktelekstroom

De oppervlaktelekstroom treedt op omdat het oppervlak van de isolatie verontreinigd is met vocht of zouten. De stroom blijft constant en is afhankelijk van de mate van aanwezige ionisatie, die zelf temperatuurafhankelijk is. Deze stroom wordt vaak genegeerd als aparte stroom en samen met de hieronder vermelde geleidingsstroom opgenomen in de totale lekstroom.

Geleidingsstroom

De geleidingsstroom is stabiel door de isolatie heen en wordt gewoonlijk voorgesteld als een weerstand met zeer hoge waarde parallel met de capaciteit van de isolatie. Deze stroom is een component van de lekstroom, die wordt gemeten wanneer de isolatie volledig is opgeladen en volledige absorptie heeft plaatsgevonden. Oppervlaktelekstroom is hierin opgenomen en kan worden verminderd of uitgesloten door gebruik van de guardaansluiting (waarover we het later hebben).

De grafiek in afbeelding 2 toont de aard van elk van de componenten in verhouding tot de tijd.



Afbeelding 2: Componenten van de teststroom

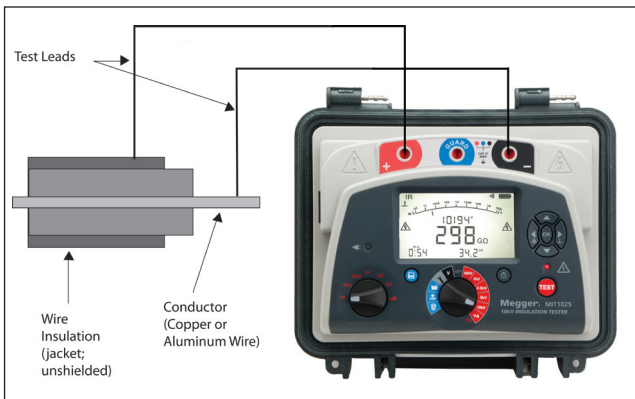
De totale stroom is de som van deze componenten. (Lekstroom wordt getoond als één stroom.) Het is deze stroom die direct kan worden gemeten met een micro-ampèremeter of, uitgedrukt in mega-ohm, bij een bepaalde spanning met een Megger isolatietester. Sommige instrumenten geven metingen anders weer, in termen van stroom of als een weerstand.

Aangezien de totale stroom afhankelijk is van de tijdsduur van de toegepaste spanning, is de Wet van Ohm ($R = U/I$) theoretisch alleen van toepassing bij een oneindige tijd (wat betekent dat u oneindig wacht voor een aflezing). Het starten vanaf een basisniveau van totale ontlading is ook zeer bepalend voor de aflezing. Als eerste stap van een isolatietest moet daarom worden gecontroleerd of de isolatie volledig is ontladen.

Denk eraan: De laadstroom verdwijnt relatief snel nadat de geteste apparatuur is opgeladen. Bij grote units met een hogere capaciteit duurt het opladen langer. Deze stroom is opgeslagen energie en moet om veiligheidsredenen worden ontladen na de test. Gelukkig verloopt de ontlading van deze energie relatief snel. Tijdens het testen neemt de absorptiestroom relatief langzaam af, afhankelijk van de precieze aard van de isolatie. Ook deze opgeslagen energie moet aan het eind van de test worden ontladen, maar deze ontlading duurt veel langer vergeleken met de capacatieve laadstroom.

De isolatietester aansluiten

Bij moderne isolatiematerialen is er weinig of geen verschil in de verkregen afleeswaarde, ongeacht de manier waarop de klemmen zijn aangesloten. Bij oudere isolatie is er evenwel sprake van elektro-osmose, een vrij onbekend fenomeen dat leidt tot een lagere afleeswaarde wanneer de positieve klem op de geaarde zijde van de geteste isolatie wordt aangesloten. Als u een ondergrondse kabel test, wordt de positieve klem gewoonlijk aangesloten op de buitenkant van de kabel omdat deze geaard wordt door het contact met de bodem, zoals getoond in afbeelding 3. De aansluiting gebeurt niet rechtstreeks op de isolatie maar op de neutrale of aardverbinding van de kabel.

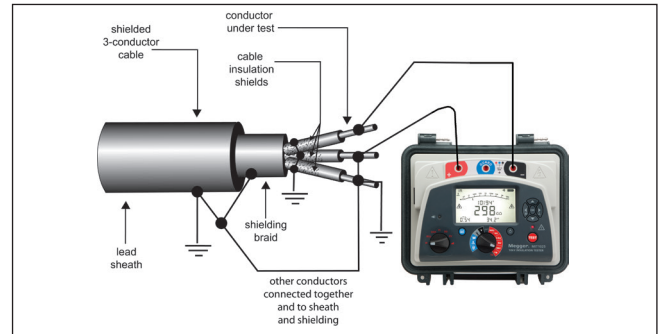


Afbeelding 3: vereenvoudigde aansluiting op een kabel

Enkele typische aansluitingen

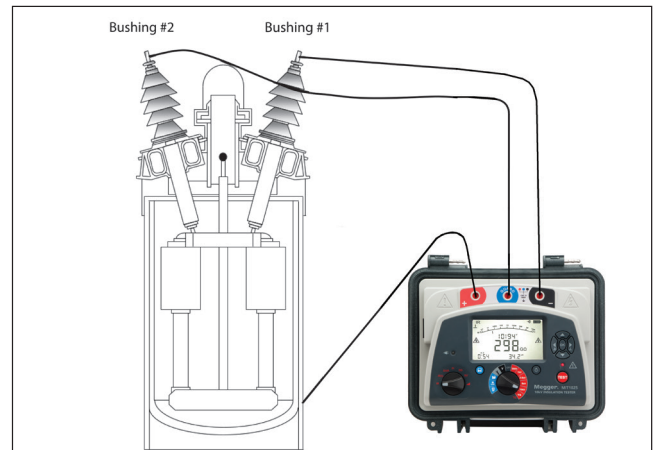
Afgeschermd stroomkabel

Aangesloten voor het meten van de isolatieweerstand tussen één geleider en de aardverbinding.



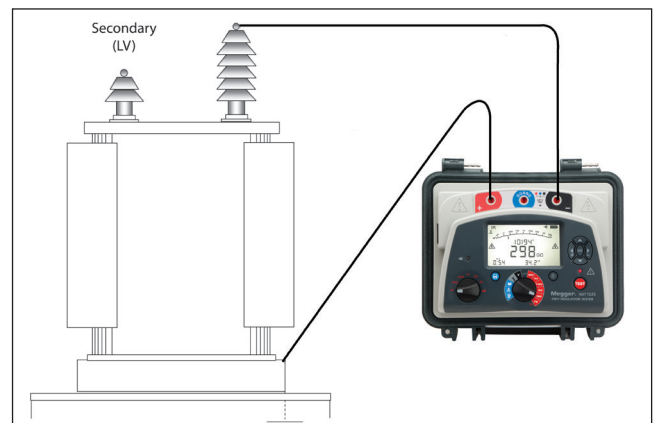
Afbeelding 4: Aansluiting op een afgeschermd stroomkabel

Stroomonderbreker/doorvoeringen



Afbeelding 5: Aansluiting op een stroomonderbreker

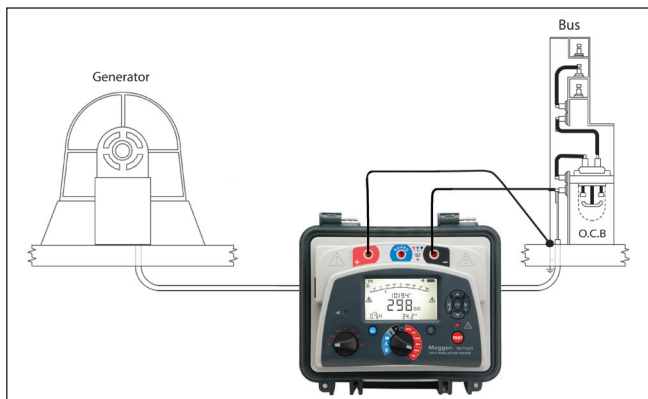
Vermogenstransformator



Afbeelding 6: Aansluiting op een vermogenstransformator

Wisselstroomgenerator

Aandachtige lezers zullen opmerken dat het circuit voor het meten van de doorvoering van de stroomonderbreker ook de verbinding van de derde of guardaansluiting omvat. Meer uitleg over het gebruik van deze klem vindt u verderop in deze brochure.



Afbeelding 7: aansluiting op een wisselstroomgenerator

Schaal van isolatieweerstandstesters

De meeste moderne isolatietesters hebben een scherm dat de gebruiker een digitale aflezing van het resultaat en een vorm van analoge beweging of wijzerslag toont. Afbeelding 8 toont het bovenpaneel en scherm van de Megger MIT1025.



Afbeelding 8: bovenpaneel en schermweergave van Megger MIT1025

Wanneer een isolatietester is 'verbonden' met het geteste item en de test wordt gestart, doen zich verschillende dingen voor. De drie verschillende stromen, capacatieve laadstroom, diëlektrische absorptiestroom en geleidings-/lekstroom, worden waargenomen. De som van deze drie stromen leidt tot een schommelende weergave op het instrument; de afleeswaarde neemt toe, aanvankelijk snel en na enige tijd langzamer.

Op een analog display kan een ervaren gebruiker informatie afleiden uit de beweging van de wijzer. Beweegt de wijzer soepel of 'hapert' hij? Gaat hij constant omhoog of valt hij af en toe terug? Deze waardevolle aanvullende informatie is moeilijk of

bijna onmogelijk af te lezen uit de schommelende cijfers van een lcd-scherm. We geven enkele voorbeelden:

- Wanneer de testspanning toeneemt en het geteste item bijna doorslaat, zal de wijzer als gevolg van corona-ontlading 'trillen'; zo weet de gebruiker dat de maximumspanning die het item kan weerstaan bijna is bereikt. Deze waarschuwing vindt tijdig plaats zodat de test kan worden beëindigd voordat een werkelijk defect en mogelijke schade zich voordoen.
- Voor een ervaren gebruiker geeft de snelheid waarmee de wijzer beweegt informatie over de capaciteit van het geteste item. Dit is nuttig bij het testen van hoogspanningskabels, en houdt verband met de theoretische basis van de meer geavanceerde test van diëlektrische ontleding, die verderop in deze brochure wordt beschreven.
- Als de wijzer afwisselend omhoog gaat en daalt, kan dit wijzen op een vlamboog in het geteste item die te klein is om de tester automatisch uit te schakelen. Dergelijke informatie toont de gebruiker waar hij het precieze probleem moet zoeken.
- Voor een snelle spotmeting is het handiger om een wijzer waar te nemen die vertraagt tot een schijnbare stilstand (hij kan nog bewegen maar op een 'snelheid' vergelijkbaar met de wijzer van een klok) dan te proberen om te bepalen wanneer een digitale weergave redelijk is gestabiliseerd. Geen enkel digitaal display 'bevriest' op een nauwkeurig getal zonder minstens enige schommeling van het minst significante cijfer.

Dit soort details is moeilijk of onmogelijk visueel af te leiden uit de rollende cijfers op een elektronisch display. De wijzerslag is handig, maar wanneer de beweging stopt, moet de gebruiker de aflezing tussen de schaalmarkeringen interpoleren, wat een beoordelingselement inhoudt en dus een bron van fouten kan zijn. Digitale modellen hebben dit probleem niet. Ze geven de gebruiker exacte informatie (binnen de nauwkeurigheidsspecificatie van het apparaat) over de gemeten waarde. En niet te vergeten, de meeste geven u ook een capaciteitswaarde aan het eind van de test.

De meeste Megger isolatietesters boven 1 kV zijn uitgerust met een analog/digitaal display. Een van de voordelen van dit display is dat het analoge gedeelte van de meter slingert en schommelt, zodat de gebruiker weet dat het geteste item nog geen stabiele toestand heeft bereikt en nog wordt beïnvloed door de absorptie- en laadstroom. Dit betekent dat het item langer moet worden

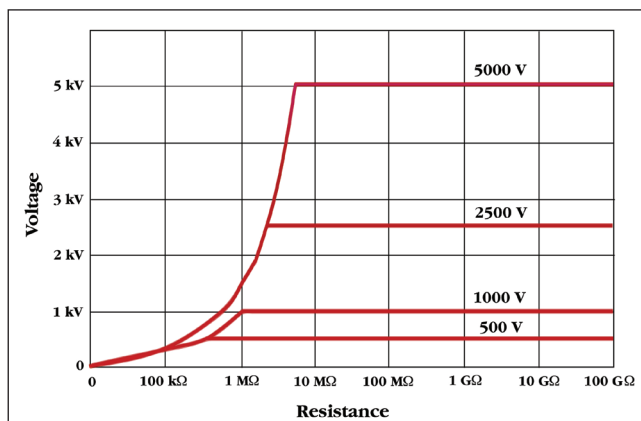
getest of dat er een probleem is. Wanneer het analoge gedeelte van het display stabiel is, geeft het instrument het resultaat weer in een directe en ondubbelzinnige digitale aflezing, zonder dat u vermenigvuldigingen of andere bewerkingen hoeft uit te voeren.

In tegenstelling tot het hierboven vermelde analoge/digitale display geeft een meter met 'gemiddelde sensorindicatie' op een staafdiagram geen real-time aanduiding van de isolatieweerstand. Sommige instrumenten hebben een gebogen staafdiagram in plaats van een echte logaritmische boog, waarin de lage zijde van de schaal vergroot is ten opzichte van de hoge zijde. Het staafdiagram registreert aflezingen over een bepaalde tijdsduur, voert berekeningen uit en geeft vervolgens de resultaten weer. Het probleem met dit type meter is het werkingsprincipe. Als een gebeurtenis zich voordoet op een ogenblik dat het staafdiagram geen aflezing registreert, ontbreekt deze informatie en wordt ze ook niet getoond. Bovendien zijn simulaties van de wijzerslag in een staafdiagram mogelijk niet zo goed zichtbaar als de vertrouwde wijzerslag en reproduceren ze een mechanische beweging wellicht niet zoals verwacht.

Hoe meer gebruikers (tijdens en na de test) weten over de resultaten van een isolatietest, hoe nauwkeuriger ze kunnen bepalen hoe het probleem, als er een is, wordt gecorrigeerd. Als niet alles wordt geregistreerd tijdens een test omdat het gebruikte instrument een meter met staafdiagram heeft, kan er ook belangrijke informatie ontbreken.

Spanningskarakteristieken

De uitgangsspanning van een isolatietester is afhankelijk van de weerstand die hij meet. Bij lage weerstanden, bijv. enkele tientallen ohm, bedraagt de uitgangsspanning bijna nul, mogelijk enkele volt. Als de weerstandsbelasting wordt verhoogd, neemt de testspanning toe tot de gevraagde spanning is bereikt. Als de weerstand verder stijgt, neemt de testspanning langzaam toe tot een stabiele waarde wordt bereikt. Deze waarde ligt waarschijnlijk lichtjes hoger dan de gevraagde nominale spanning (bijv. 5104 V wanneer 5000 V is geselecteerd).



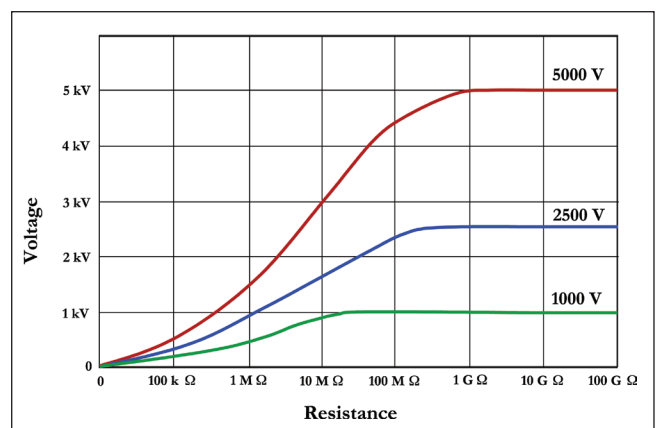
Afbeelding 9: Goede belastingcurve

U moet altijd controleren of een isolatietester geleverd wordt met een 'belastinggrafiek' die de uitgangsspanningskarakteristieken ten opzichte van de belastingsweerstand toont, of een ingebouwde voltmeter heeft die de werkelijke klemspanning tijdens een test meet en deze continu weergeeft. Op deze manier weet u zeker dat de juiste spanning wordt geproduceerd in het betreffende weerstandsbereik.

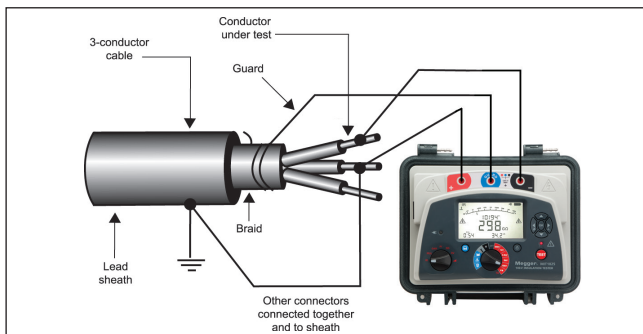
Een hoogstaande isolatietester heeft een spanningskarakteristiek die een scherpe stijging van de spanning vertoont tot een weerstandsniveau dat overeenkomt met een goede isolatie. Een korte stijgingstijd zorgt voor een effectieve meting. De spanningskarakteristiek die is getoond in afbeelding 9 stelt een goede karakteristiek voor. In dit voorbeeld zal de uitgangsspanning 500 V bereiken bij een belasting van slechts 500 kΩ en 1000 V bij 1 MΩ. Deze waarden zijn vastgelegd in internationale normen voor het testen van bedrading in huizen, winkels enz. Dit is niet gebruikelijk voor typische diagnostische isolatietesters, maar wel een goede maatstaf voor belangrijke fabrikanten. Vergelijkbare waarden zijn van toepassing bij hogere spanningen. De spanning moet een scherpe stijging vertonen tot een niveau van een tot vijf mega-ohm, afhankelijk van de gekozen spanning, met behoud van deze spanning bij alle hogere weerstanden.

Bij isolatietesters van mindere kwaliteit is de spanningsstijging veel langzamer. Instrumenten met een zwakke curve zoals die getoond in afbeelding 10, produceren de nominale spanning pas nadat veel hogere weerstanden zijn bereikt. Hierdoor kunnen meetresultaten aangeven dat de isolatie is goedgekeurd, terwijl er slechts werd getest met de helft van de gevraagde testspanning.

Opmerking: wees voorzichtig met instrumenten waarvan geen belastingcurven bekend zijn.



Afbeelding 10: zwakke belastingcurve



Afbeelding 11: Gebruik van de guardaansluiting op een stroomkabel

DE GUARDAANSLUITING

Inleiding

Bij een isolatietest zijn we vaak zo gefocust op de weerstand van de isolatie zelf, dat we niet denken aan het weerstandspad op het buitenvlak van het isolatiemateriaal. Dit weerstandspad kan zeer belangrijk zijn voor onze meting en de resultaten in aanzienlijke mate beïnvloeden.

Bedenk dat de totale stroom tijdens een isolatieweerstandstest bestaat uit drie hoofdcomponenten:

1. De laadstroom, die de capaciteit van het voorwerp oplaadt.
2. Een absorptiestroom, die in de isolatie wordt getrokken door polarisatie van de elektronen; deze stroom is aanvankelijk hoog maar daalt (langzamer dan de laadstroom) na verloop van tijd.
3. De geleidings- of lekstroom, een kleine, stabiele stroom bestaande uit twee delen:
 - a. Het geleidingspad door de isolatie.
 - b. De stroom over het oppervlak van de isolatie.

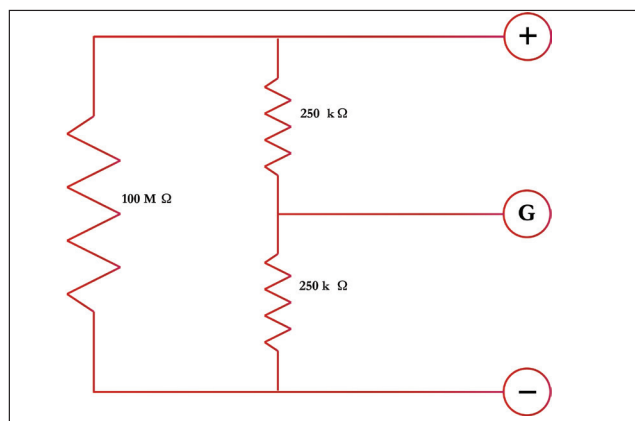
De stroom over het oppervlak is het component dat we niet willen meten als we de isolatieweerstand van het materiaal willen bepalen. Oppervlaktelekstroom leidt tot fouten in de meetwaarde van de isolatieweerstand. Hoe hoger de verwachte isolatieweerstandswaarden, hoe belangrijker het is om oppervlaktelekstroom uit te sluiten bij de meting.

Sommige isolatietesters hebben twee aansluitingen, andere hebben er drie. Aangezien het gaat om gelijkstroomtesters, zijn twee van de aansluitingen + en -. De derde (indien aanwezig) is de guard. Het gebruik van deze aansluiting is niet noodzakelijk voor een goede werking van isolatietesters en velen gebruiken ze nooit. De guardaansluiting biedt de gebruiker evenwel een extra mogelijkheid om problemen van apparatuur op te sporen.

De guard is een shuntcircuit dat oppervlaktelekstroom rond de meetfunctie afleidt. Als er parallelle lekstroompaden bestaan, sluit een guardverbinding deze uit van de meting, zodat een nauwkeurigere aflezing van de lekstroom tussen de resterende elementen wordt verkregen.

Oppervlaktelekstroom is in feite een weerstand parallel aan de werkelijke isolatieweerstand van het geteste materiaal. Als wordt gemeten met twee aansluitingen, is dit weerstandspad een zeer belangrijk deel van de meting en het kan de aflezingen aanzienlijk beïnvloeden. Bij meting met drie aansluitingen, waarbij de guardaansluiting wordt gebruikt, wordt de oppervlaktelekstroom genegeerd. Dit kan vrij belangrijk zijn wanneer hoogspanningscomponenten zoals isolatoren, doorvoeringen en kabels worden getest, waar hoge weerstandswaarden worden verwacht.

Bijvoorbeeld: vuil en vocht op een doorvoering van een transformator bevordert oppervlaktelekstroom tussen de + en - aansluitingen, waardoor de aflezing daalt en de doorvoering mogelijk onterecht als defect wordt beschouwd. Door de guard te verbinden met een blanke draad die rond de doorvoering is gewikkeld, wordt deze stroom onderschept en is het meetresultaat hoofdzakelijk gebaseerd op lekstroom via defecten in het keramiek.



Afbeelding 12: schema van guardaansluiting

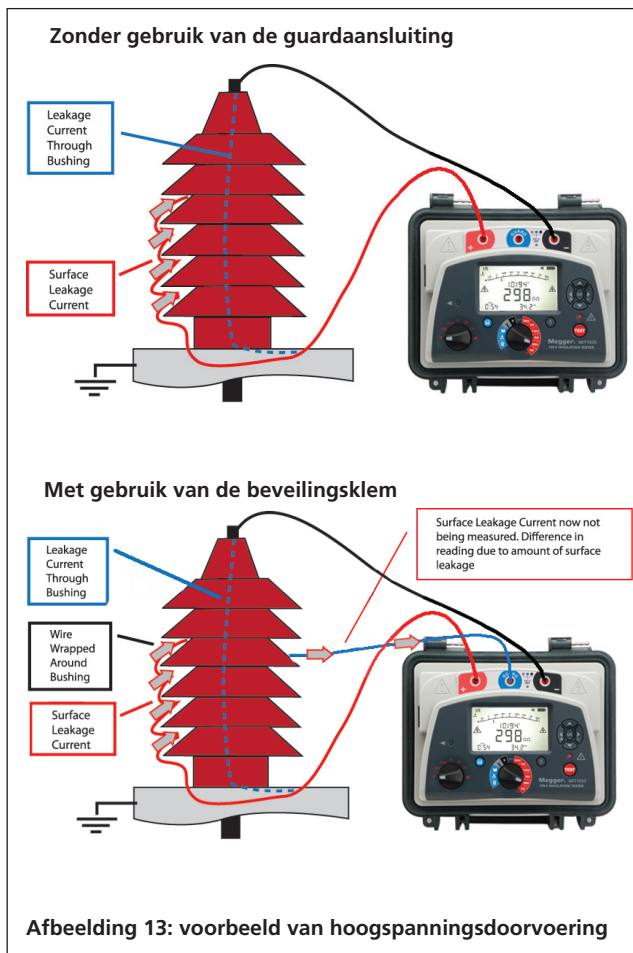
Het is uiterst belangrijk de guard niet te verwarren met een aardverbinding. Als de guard en de aardingskabel met hetzelfde element van het geteste item worden verbonden, wordt de stroom die we verondersteld zijn te meten enkel afgeleid, en wordt de meetfunctie kortgesloten. Houd rekening met het volgende bij de keuze van een tester:

- De doelstellingen van de tests (voor algemene controles van installaties is doorgaans geen guard nodig).
- De elektrische samenstelling van de geteste items (motoren en transformatoren kunnen op lekstroom tussen wikkelingen worden getest, met uitsluiting van aardlekstroom).
- De mogelijke gevolgen van oppervlaktelekstroom (draden en kabels kunnen stroom transporteren over het oppervlak, via vuil en vocht, en ook door het isolatiemateriaal).
- De mate waarin resultaten moeten worden geanalyseerd (worden 'slechte' items alleen vervangen of weggegooid, of moet de plaats van de storing worden bepaald voor een mogelijke reparatie).

Werking van de guardaansluiting

Het volgende voorbeeld van een hoogspanningsdoorvoering toont een typische toepassing van de guardaansluiting. In de eerste afbeelding wordt de guardaansluiting niet gebruikt en worden de lekstromen door de doorvoering en over het oppervlak gecombineerd en samen door het instrument gemeten. In de tweede afbeelding is er draad rond de doorvoering gewikkeld en is die draad verbonden met de guardaansluiting, zodat de oppervlaktelekstroom naar de guardaansluiting gaat. De stroom die naar de guardaansluiting gaat, wordt niet gemeten door het instrument, wat betekent dat deze stroom wordt genegeerd in de meting van de isolatieweerstand.

Voor een beter begrip van wat er werkelijk gebeurt in het instrument, bekijkt u afbeelding 14. De isolatietester bestaat uit drie hoofdelementen: de hoogspanningsgelijkstroombron, de hoogspanningsvoltmeter en de stroommeter. Meting van de isolatieweerstand is gewoon de Wet van Ohm, gemeten spanning gedeeld door de gemeten stroom. Met de guardaansluiting kan lekstroom worden omzeild bij het meten van de stroom en zo worden genegeerd.



Afbeelding 13: voorbeeld van hoogspanningsdoorvoering

Prestaties van de guardaansluiting

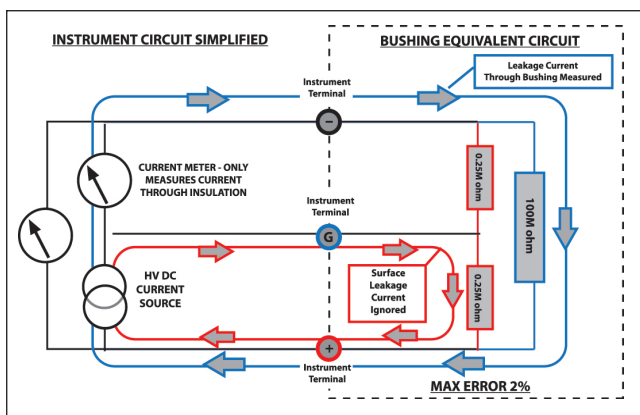
Testapparaten met guardaansluiting zijn doorgaans duurder dan modellen met twee aansluitingen, maar in vele toepassingen geeft het model met twee aansluitingen niet het volledige spectrum aan informatie dat kan worden verkregen met isolatietests.

Vaak wordt vergeten dat het guardcircuit andere mogelijkheden biedt. De prestaties van de beveiligingsklem zijn vaak verborgen in het informatieblad van het instrument of in hun geheel weggelaten. De guardmogelijkheden van de isolatietester zijn veel belangrijker bij het meten van lekkende isolatie dan de doorgaans vermelde meetnauwkeurigheidswaarde, die 5% kan zijn.

Oppervlaktelekstroom maakt deel uit van de meetonzekerheid. Hoe meer oppervlaktelekstroom wordt uitgesloten van de stroommeting, hoe minder er overblijft om te meten. Hoe beter de prestaties van de guardaansluiting bij het meten van elektrische hoogspanningscomponenten, hoe nauwkeuriger de meting van de isolatieweerstand. De efficiëntie van preventief onderhoud is afhankelijk van een betrouwbare trendregistratie van meetresultaten, zodat storingen vroegtijdig worden opgespoord. Onjuiste aflezingen wegens onvoldoende beveiliging tegen oppervlaktelekstroom kunnen een onderhoudsprogramma verstoren.

Het volgende voorbeeld is een extreem geval waarin het oppervlaktelekstroompad 200 keer kleiner is dan de weerstand van de isolatie.

Hier tonen we een isolator van 100 MΩ die we willen meten. Hij is vuil en verontreinigd, waardoor het oppervlaktelekstroompad 500 kΩ bedraagt. Als we onze testspanning van de positieve en negatieve klemmen toepassen zonder de oppervlaktestroom via de guardaansluiting af te voeren, gaat er 20 keer meer stroom via het oppervlaktelekstroompad dan door de isolatie die we willen meten, en zullen we een weerstand van slechts 497 kΩ aflezen.



Afbeelding 14: Vereenvoudigd circuit van een instrument

Als we het circuit 'beveiligen' zoals hier wordt getoond, en we de lekweerstand gelijk verdelen aan beide zijden van de guardaansluiting, kunnen we het effect van de oppervlaktelekstroom in zekere mate uitsluiten. In welke mate we het effect van de oppervlaktelekstroom uitsluiten, is afhankelijk van het guardcircuit van de gebruikte isolatietester. Dit foutpercentage kan variëren van minder dan 1,0% tot meer dan 80,0%, afhankelijk van het gekozen instrument. Als u van plan bent de guardaansluiting te gebruiken, controleer dan het foutpercentage voordat u een instrument koopt.

Dit is een klassiek voorbeeld dat toont waarom we tests moeten vergelijken volgens het principe van gelijken. Een meting zonder guardaansluiting en een meting met guardaansluiting leveren zeer verschillende resultaten op. Hoe kan een gebruiker weten of de guardaansluiting werd gebruikt bij vorige metingen als de geregistreerde testgegevens dit schijnbaar onbelangrijke detail niet vermelden?

Resultaten vergelijken

Een manier om de prestaties van de guardaansluiting te controleren is door vergelijking van de resultaten met en zonder gebruik van de guardaansluiting op een kalibratieopstelling, waarbij een bekende lekstroomwaarde is gekoppeld aan het circuit (en door guard moet worden uitgesloten). Een instrument (en guardaansluiting) van

topkwaliteit geeft hetzelfde resultaat voordat de lekstroomwaarde aan het circuit is gekoppeld (gemeten zonder guard) en nadat deze waarde is toegevoegd aan het circuit (en gemeten met guard). Bovendien wordt de testspanning gehandhaafd op het geselecteerde niveau.

Instrumenten met een minder goede guardaansluiting kunnen een aflezing met een afwijking (fout) van meer dan 95% aangeven bij meting met gebruik van de guardaansluiting. Bovendien tonen ze vaak een aanzienlijke daling van de geleverde spanning ten opzichte van het geselecteerde spanningsniveau. Zelfs bij units met een nauwkeurigere guardaansluiting kan de geleverde testspanning nog aanzienlijk dalen, waardoor het meetresultaat twijfelachtig is.

Hierna geven we enkele resultaten gemaakt met echte instrumenten. We gebruiken een waarde van 1 TΩ op een kalibratieopstelling en voegen een lekstroom van 5 MΩ toe die door guard moet worden uitgesloten. De namen en modelnummers van alle instrumenten behalve die van Megger zijn verwijderd. Deze gegevens zullen aantonen hoe groot de afwijking in de aflezingen kan zijn als gevolg van een minder goede guardaansluiting.

Instrument	Aflezings zonder beveiliging	Geleverde spanning zonder beveiliging	Toegevoegde lekstroom	Aflezings met beveiliging	Geleverde spanning met beveiliging
Megger MIT525	978 MΩ	5090 V	5 MΩ	978 MΩ	5001 V
Instrument 1	1,01 TΩ	5010 V	5 MΩ	37,6 MΩ	3287 V
Instrument 2	975 MΩ	5103 V	5 MΩ	961 MΩ	3757 V
Instrument 3	978 MΩ	5269 V	5 MΩ	746 MΩ	3680 V

De guardaansluiting als diagnosoetool

De gebruiker kan snel bepalen of er oppervlaktelekstroom aanwezig is, en hoe groot die is, door twee tests uit te voeren, een met en een zonder de guardaansluiting. Wanneer het instrument de mogelijkheid biedt om de meting in lekstroom in plaats van weerstand weer te geven, kan de gebruiker de gemeten waarde met gebruik van de guardaansluiting gewoon aftrekken van de waarde zonder gebruik van de guardaansluiting. Dit resultaat toont nauwkeurig hoeveel stroom oppervlaktelekstroom is.

Gebrekkige metingen van de isolatieweerstand kunnen leiden tot dure corrigerende maatregelen, zoals het vervangen van een doorvoering. Misschien hoefde de doorvoering immers alleen maar grondig gereinigd te worden. Door gebruik van de guardaansluiting kunt u dit soort situaties gemakkelijker opsporen en geld besparen.

Opmerking: let op specificaties die ingangsimpedantie vermelden.

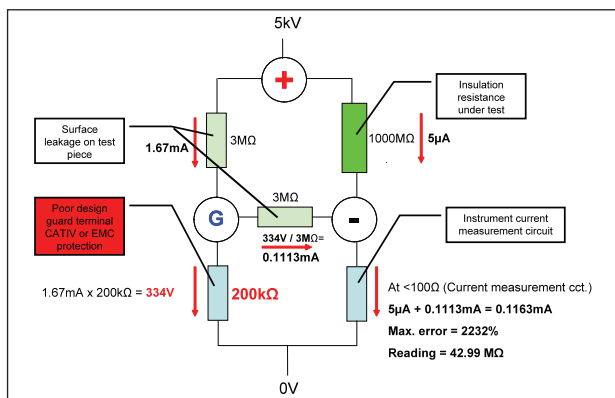
Bescherming van de guardaansluiting

De guardaansluiting is een belangrijk onderdeel van een isolatietester van >1 kV. Hij moet niet alleen goed presteren, maar ook worden beschermd. Een goed presterende aansluiting kan de effecten van oppervlakte- of ongewenste lekstromen bij het meten van isolatie efficiënt uitsluiten. De aansluiting wordt beschermd tegen onbedoelde aanwezigheid van spanning of transiënten volgens de gespecificeerde veiligheids categorie (CAT) van IEC61010.

De Megger isolatietesters van 5 kV en 10 kV van de MIT- en S1-serie hebben een unieke specificatie voor de prestaties van hun guardaansluitingen. Instrumenten met deze specificatie kunnen isolatieweerstanden meten wanneer de oppervlaktelekstroom 200 keer groter is dan de gemeten lekstroom van de isolatie en de extra afwijking in nauwkeurigheid is niet meer dan 2%.

Het is uiteraard belangrijk om dit te bereiken en tevens te voldoen aan de vereiste veiligheidsbescherming volgens IEC61010. Om dit te bereiken gebruiken veel fabrikanten een hogere ingangsimpedantie. Hierdoor worden de meetprestaties van de guardaansluiting in feite tenietgedaan.

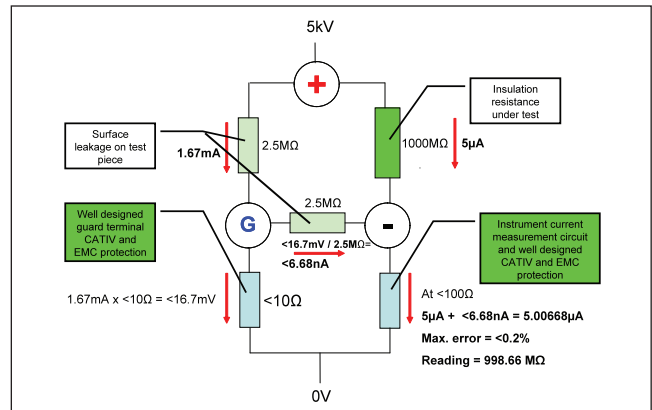
Om dit effect te begrijpen, gebruiken we een casestudie van een fabrikant van instrumenten die de voordelen benadrukt van een guardaansluiting die wordt beschermd door een ingangsimpedantie van 200 kΩ.



Afbeelding 15: Meetcircuit 'beschermd' door beveiliging met hoge impedantie

Afbeelding 15 hierboven toont een equivalent circuit van een isolatieweerstand van 1000 MΩ die wordt gemeten met een aanwezige oppervlaktelekstroom van 6 MΩ. De oppervlaktelekstroom is verbonden met de guardaansluiting om zeker te zijn dat deze niet wordt gemeten. Dit instrument is echter beschermd met een ingangsimpedantie van 200 kΩ. Het resultaat is een meetwaarde van ongeveer 43 MΩ; dit wijkt ruim 2000% af van de 1000 MΩ, welke het meetresultaat had moeten zijn.

In een Megger isolatietester zorgt de guard voor een effectieve bescherming maar blijft de ingangsimpedantie op een aanvaardbaar niveau, zoals getoond in het voorbeeld van afbeelding 16 hieronder.



Afbeelding 16: Meetcircuit met guard met lage impedantie en hoge nauwkeurigheid

In afbeelding 16 heeft de ingang van de guardaansluiting een lage impedantie, terwijl de bescherming nog steeds voldoet aan de eisen van IEC61010. Het belang van de bescherming met lage impedantie blijkt duidelijk uit het feit dat de extra afwijking waarvan sprake is bij de guard meting niet groter is dan 0,2% in dit berekende voorbeeld.

Bij het kiezen van een isolatietester van 5 kV of 10 kV is het belangrijk dat u controleert of alle aansluitingen van het instrument, inclusief de guardaansluiting, een goede bescherming hebben, maar u moet ook controleren of de gebruikte bescherming de prestaties van het instrument als isolatietester niet tenietdoen. Voor Megger zijn compromissen geen optie.

Tot slot

Het is duidelijk dat de guardaansluiting een zeer nuttige functie is, maar enkele waarschuwingen zijn hierbij noodzakelijk. De aanwezigheid van een guardaansluiting alleen garandeert niet dat een isolatietestset nauwkeurige resultaten oplevert bij een hoge oppervlaktelekstroom. Het is vooral moeilijk om de prestaties van de guardaansluiting te realiseren als het instrument ook moet voldoen aan de veiligheids categorie CAT IV 600V. Controleer of de isolatietester voldoet aan de vereiste veiligheids categorie zonder dat de prestaties van de guardaansluiting in het gedrang komen.

Zwakke prestaties van de guardaansluiting van bepaalde instrumenten kan vele oorzaken hebben. Een van de meest voor de hand liggende is dat het instrument met guardaansluiting niet alleen de stroom voor de eigenlijke isolatietest moet leveren, maar ook de afgeleide stroom die via de guardaansluiting gaat. Als de spanningsgenerator in de testset onvoldoende capaciteit heeft - in feite een hoge interne weerstand heeft -, zal de testspanning dalen, met onnauwkeurige resultaten als gevolg. Dit is een zeer belangrijk aandachtspunt omdat de stroom in het beveiligingsklemcircuit tien of meer keer groter kan zijn dan die in het guardcircuit zelf.

Ook de stabiliteit van de testset beïnvloedt de nauwkeurigheid van

de verkregen resultaten bij gebruik van de guardaansluiting, net als lekstroom op het oppervlak van de gebruikte meetsnoeren. Er zijn momenteel instrumenten beschikbaar die resultaten met een afwijking van maar liefst 80% kunnen opleveren wanneer de guardaansluiting wordt gebruikt. Dergelijke grote afwijkingen doen uiteraard de voordelen van de guardaansluiting teniet. En wat erger is: door de inaccuraten resultaten blijven echte problemen mogelijk verborgen. Wat kunnen kopers van hoogspanningsisolatietestsets doen om dergelijke problemen te voorkomen?

Gelukkig is het antwoord simpel. Ze hoeven de fabrikant van het instrument dat ze willen kopen alleen maar te vragen of hij de nauwkeurigheid van het instrument bij gebruik van de guardaansluiting kan aangeven. Geven ze die informatie niet meteen, dan is het duidelijk welke conclusie ze moeten trekken en welke koopbeslissing de juiste is!

Hoogspanningsisolatietests zijn van onschatbare waarde voor zowel foutendiagnose als inspectiedoelinden. De kwaliteit van de verkregen resultaten is echter afhankelijk van de kwaliteit van de gebruikte testapparatuur. Testsets met drie aansluitingen, waaronder een guardaansluiting, zijn altijd een beetje duurder dan hun tegenhangers met twee aansluitingen.

Zoals we zagen, is dat bescheiden extra bedrag goed besteed, op voorwaarde dat het gebruik van de guardaansluiting de nauwkeurigheid van het instrument niet tenietdoet. Vergeet niet om te vragen naar deze nauwkeurigheidscijfers voordat u een aankoop doet.

EVALUATIE EN INTERPRETATIE VAN RESULTATEN

Interpretatie van de aflezing oneindig

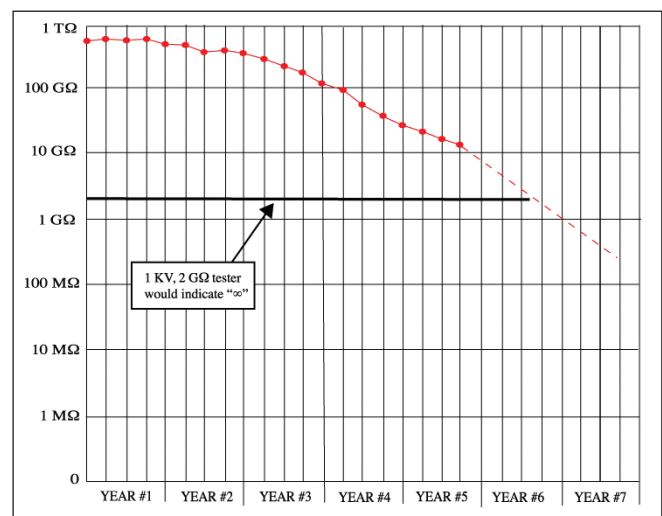
Een van de belangrijkste kenmerken van een isolatietester is het meetbereik van het instrument. Het doel van de tests bepaalt of een basisfunctie volstaat, dan wel of een groter bereik aanbevolen is. Voor eenvoudige controletoeepassingen, bijvoorbeeld bij het aftekenen van taken door elektriciens, volstaat een basisbereik van duizend mega-ohm ($M\Omega$). Nieuwe apparatuur die niet defect is of tijdens de installatie werd beschadigd, geeft wel oneindig op alle testers, met uitzondering van de meest geavanceerde, maar dit is geen probleem. Bij deze taken heeft de elektricien immers geen specifieke waarde nodig, maar wil hij een hoge waarde zien en 'oneindig' beantwoordt zeker aan dat criterium. 'Oneindig' is geen meetwaarde, maar een aanduiding dat de geteste isolatie een weerstand heeft die het meetbereik van de tester overtreft. Dit moet altijd worden geregistreerd als 'groter dan $1000 M\Omega$ ' of welke waarde ook de hoogste waarde is die beschikbaar is op uw isolatietester. Doorgaans is dit voldoende, omdat de minimaal aanvaardbare waarde voor weerstand meestal veel lager is dan de beschikbare maximale aflezing.

Bij onderhoud van kapitaaluitrusting doet een tester met slechts een beperkt bereik de gebruiker evenwel 'tekort'. Voor preventief/

voorspellend onderhoud zijn oneindige aflezings waardeloos. De gebruiker weet alleen dat het geteste item 'goed' is, meer niet. Testers met een groter bereik, tot tera-ohm ($1 T\Omega = 1.000.000 M\Omega$), maken werkelijke metingen vanaf de installatie mogelijk, zodat het onderhoudspersoneel beschikt over een lange tijdlijn en veel 'ademruimte'.

Aanzienlijke veranderingen in de kwaliteit van de isolatie kunnen optreden bij hoge isolatieweerstanden, voorbij het bereik van beperktere instrumenten, zoals getoond in de grafiek van afbeelding 17.

In dit voorbeeld zou een tester met beperkt bereik deze waardevolle gegevens niet registreren. We kunnen duidelijk zien dat de laatst geregistreerde isolatiewaarde hoger dan $10 G\Omega$ is, maar de snelheid van de daling neemt toe; er is dus iets mis. Bij een instrument met een beperkt bereik tot $2000 M\Omega$ ontbreekt deze informatie compleet. Tegen de tijd dat de aflezings zijn gedaald tot in het meetbereik van het instrument, heeft de onderhoudsmonteur relatief weinig tijd meer om onderhoud tijdens een geprogrammeerde uitschakeling te plannen. (Het kan zelfs te laat zijn om de storing te herstellen.)



Afbeelding 17: veranderingen in isolatieweerstand bij hoge waarden

DIAGNOSTISCHE ISOLATIETESTS MET HOGE SPANNING

Diagnostische isolatietests stimuleren de isolatie elektrisch en meten de reactie. Op basis van die reactie kunnen we conclusies trekken over de toestand van de isolatie.

Diagnostische isolatietests omvatten een zeer breed scala aan technieken; sommige werken met draagbare apparatuur en voor andere is heel wat vaste apparatuur nodig. Hier gaan we het alleen hebben over tests die kunnen worden uitgevoerd met een eenvoudig draagbare gelijkstroomisolatietester. Dit zijn:

- Trendregistratie van spot-tests
- Tijdconstante
- Polarisatie-index (PI)
- Stapspanning (SV)
- Stijgtest
- Diëlektrische ontlading (DD)

Elke test geeft een ander zicht op of andere informatie over de toestand van de isolatie. U beschikt pas over het hele plaatje wanneer alle vereiste tests zijn voltooid.

Spot-test

De spot-test is de eenvoudigste isolatietest en wordt het meest geassocieerd met isolatietesters met een lagere spanning. De testspanning wordt toegepast gedurende een korte, specifieke tijdsduur (gewoonlijk 60 seconden aangezien elke capaciteitslaadstroom in die tijd is gedaald) en vervolgens wordt een aflezing geregistreerd. De aflezing kan vervolgens worden vergeleken met de minimumspecificaties voor de installatie. Tenzij het resultaat catastrofaal laag is, kan het het best worden gebruikt voor een trendregistratie ten opzichte van eerder verkregen waarden.

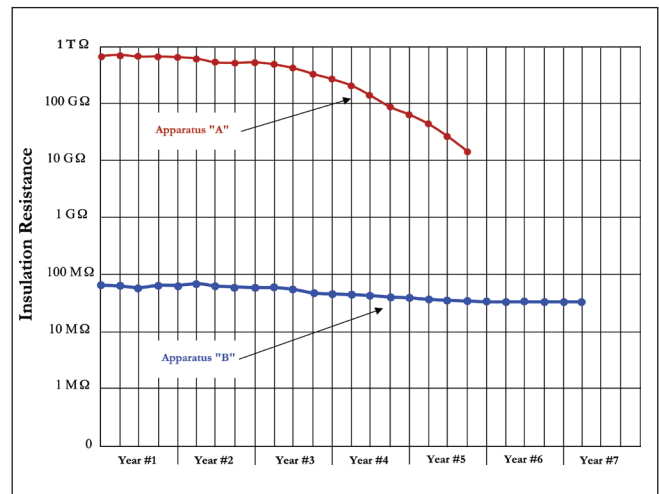
Isolatie weerstand is evenwel zeer temperatuurafhankelijk, en daarom moeten de resultaten worden gecorrigeerd voor een standaardtemperatuur van gewoonlijk 40 °C. De effecten van temperatuur worden later besproken, maar een goede vuistregel is: elke temperatuurstijging van 10 °C verdubbelt de stroom (halveert de weerstand). Het belangrijkste voor een waardevolle spot-test is consistente tijdsopvolging, effectieve registratie en trendregistratie van de resultaten.

Zoals eerder vermeld, maakt de hogere gevoeligheid van diagnostische isolatietesters met een microprocessor het mogelijk om isolatieproblemen op te sporen in de eerste stadia, voordat deze problemen catastrofaal worden. In vele gevallen is de trend veel belangrijker dan de absolute waarde.

Vergelijk de twee lijnen in afbeelding 18. Apparaat 'A' toont een hoge isolatieweerstand, terwijl Apparaat 'B' een lage waarde toont. Wanneer we echter de trend bekijken, is er bij Apparaat 'B' weinig reden tot ongerustheid; de waarde is al jaren ongeveer dezelfde en het ziet er naar uit dat deze trend zich nog vele jaren zal voortzetten. De curve voor Apparaat 'A' daarentegen duikt dramatisch naar beneden en het apparaat zal een van de volgende jaren defect raken, als er niets wordt gedaan om dit te voorkomen.

Hoewel Apparaat 'A' een veel hogere absolute waarde heeft dan Apparaat 'B', is de trend zeer onrustwekkend. Apparaat 'B' heeft een consistente vlakke trend, die erop wijst dat de kwaliteit van de

isolatie waarschijnlijk aanvaardbaar is



Afbeelding 18: vergelijking van de trend van meetresultaten

Aflezingen van isolatieweerstand moeten relatief in plaats van absoluut worden geïnterpreteerd. Ze kunnen aanzienlijk variëren voor dezelfde motor of machine die drie opeenvolgende dagen wordt getest, zonder dat dit wijst op een slechte isolatie. Zoals gezegd, is de trend van aflezingen over een bepaalde tijdsduur de belangrijkste informatie; deze toont de afname van weerstand en geeft een waarschuwing voor aankomende problemen. Regelmatig testen is dan ook essentieel voor preventief onderhoud van elektrische apparatuur. Het interval tussen de tests (een maand, twee jaar, een jaar enz.) is afhankelijk van het type, de locatie en de belangrijkheid van de apparatuur. Door een reeks aflezingen over een aantal maanden of jaren te evalueren, kan de gebruiker een diagnose stellen.

Regelmatige tests moeten elke keer op dezelfde wijze worden uitgevoerd. Gebruik dezelfde testansluitingen en pas dezelfde testspanning toe gedurende dezelfde tijdsduur. Tests moeten ook bij ongeveer dezelfde temperatuur worden uitgevoerd, of de gebruiker moet de resultaten corrigeren bij dezelfde temperatuur. Een registratie van de relatieve vochtigheid nabij de apparatuur op het ogenblik van de test is nuttig bij het evalueren van de aflezing en trend, aangezien lage temperaturen en hoge vochtigheid kunnen wijzen op condensatie op het oppervlak van de isolatie. Het is dan ook van essentieel belang om ervoor te zorgen dat de geteste apparatuur een temperatuur boven het dauwpunt heeft; anders treedt condensatie op, die de aflezingen zal vervormen tenzij de meting goed 'beveiligd' is.

In de volgende tabel vindt u enkele algemene richtlijnen over hoe u regelmatige isolatieweerstandstests moet interpreteren en wat u moet doen met de resultaten.

Toestand	Wat u moet doen
a) Redelijke tot hoge waarden en goed onderhouden	<ul style="list-style-type: none"> ■ Geen reden tot ongerustheid, goed onderhouden.
b) Redelijke tot hoge waarden met een constante tendens naar lagere waarden	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vind de oorzaak, los ze op en controleer de neerwaartse trend.
c) Laag maar goed onderhouden	<ul style="list-style-type: none"> ■ Toestand is waarschijnlijk in orde maar controle is nodig wegens lage waarden. Mogelijk alleen toe te schrijven aan gebruikte isolatietype.
d) Zo laag dat het onveilig is	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reinig en droog de apparatuur of verhoog de waarden op een andere wijze voordat u de apparatuur weer in bedrijf stelt (test de natte apparatuur tijdens het drogen).
e) Redelijke tot hoge waarden, voorheen goed gehandhaafd maar nu plotse daling	<ul style="list-style-type: none"> ■ Voer vaak en regelmatig tests uit tot de oorzaak van de lage waarden is gevonden en het probleem is opgelost of, ■ Tot de waarden zijn gestabiliseerd op een lager niveau maar veilig voor bedrijf of, ■ Tot de waarden zo laag zijn dat het onveilig is om de apparatuur in bedrijf te houden.

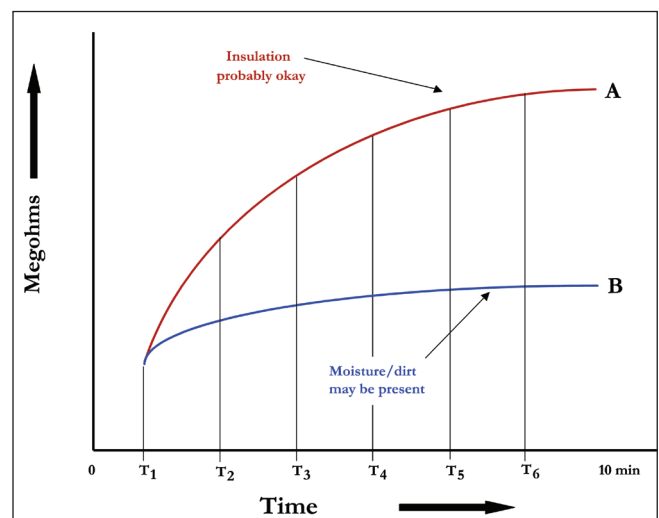
Tijdgebonden weerstandstest

De grotere mogelijkheden van geoptimaliseerde diagnostische tests hebben bekende standaardtestprocedures die reeds vele jaren in gebruik zijn, verbeterd. Een van de belangrijkste verbeteringen is de tijdgebonden weerstandsmethode. Een waardevolle eigenschap van isolatie, die we goed moeten begrijpen, is dat ze wordt 'opgeladen' tijdens de duur van een test dankzij de beweging van elektronen, zoals we eerder hebben uitgelegd. Deze beweging van elektronen vormt een stroom.

De waarde hiervan als diagnostische indicator is gebaseerd op twee tegengestelde factoren; de stroom verzwakt naarmate de structuur zijn uiteindelijke oriëntatie bereikt, terwijl 'lekstroom' die wordt bevorderd door vocht of kwaliteitsvermindering een relatief grote, constante stroom is. Dit komt erop neer dat bij een 'goede' isolatie de lekstroom relatief laag is en de weerstand continu toeneemt naarmate de stroom afneemt door de effecten van oplading en diëlektrische absorptie. Verslechterde isolatie laat relatief grote hoeveelheden lekstroom door die constant is voor de toegepaste spanning, waardoor de effecten van oplading en absorptie eerder verborgen blijven.

Als de aflezing van de weerstand volgens tijdsintervallen vanaf het begin van de test wordt weergegeven in een grafiek, wijst een gelijkmatig stijgende curve op een 'goede' isolatie en een 'vlakke' curve op slijtage van de apparatuur. Het concept van de tijdgebonden weerstandstest is dat opeenvolgende aflezingen worden geregistreerd bij specifieke tijden. Deze test is gebaseerd op de relatieve omvang van lek- en absorptiestromen in een schone en droge isolatie vergeleken met die van een vochtige of verontreinigde isolatie. Bij een goede isolatie neemt de weerstand na verloop van tijd voortdurend toe. Bij een verontreinigde isolatie is de lekstroom veel hoger en zijn daardoor de effecten van de absorptiestroom veel minder zichtbaar.

De voordelen van de tijdgebonden weerstandstest zijn dat deze relatief temperatuuronafhankelijk is en informatie kan geven waaruit conclusies kunnen worden getrokken zonder de resultaten van vorige tests.



Afbeelding 19: grafiek van tijdgebonden weerstandstest

Polarisatie-indextest

De populaire polarisatie-index-test (PI-test) is de eenvoudigste toepassing van een tijdgebonden weerstandstest voor massieve isolatie. Deze test vereist slechts twee aflezingen gevolgd door een eenvoudige berekening; de aflezing na één minuut wordt gedeeld door de aflezing na tien minuten om tot een verhouding te komen. Het resultaat is een natuurlijk getal en is normaal temperatuuronafhankelijk aangezien de thermische massa van de geteste apparatuur gewoonlijk zo groot is dat de totale koeling die plaatsvindt tijdens de 10 minuten durende test verwaarloosbaar is.

In het algemeen is een lage verhouding een indicatie van een geringe verandering, dus een slechte isolatie, terwijl een hoge verhouding het tegenovergestelde aangeeft. Publicaties met referenties naar gebruikelijke PI-waarden zijn gemakkelijk terug te

vinden, waardoor de test zeer eenvoudig en gebruiksvriendelijk is. We zeggen wel 'in het algemeen', omdat er materialen zijn die een zeer geringe of helemaal geen diëlektrische absorptie vertonen, zoals eerder vermeld. Bij een test op deze materialen ligt het verkregen resultaat zeer dicht bij 1.

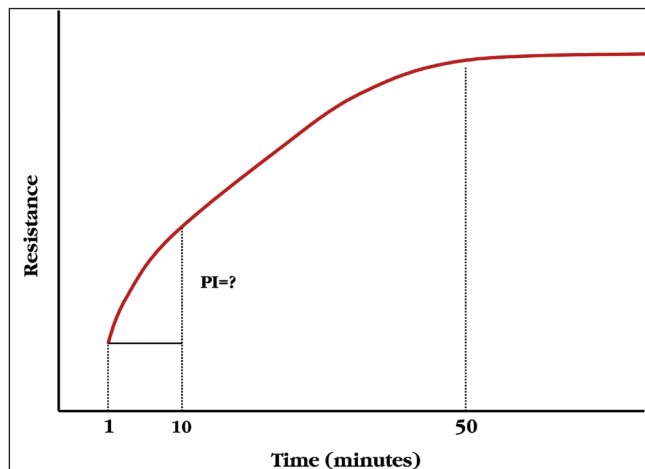
Het is moeilijk om alleen met weerstandsaflezingen te werken; deze kunnen immers variëren van zeer hoge waarden in nieuwe apparatuur tot enkele mega-ohm net voor de buitenbedrijfstelling.

Een PI-test is zeer handig omdat deze zelfs op de grootste apparatuur kan worden uitgevoerd en een op zichzelf staande evaluatie oplevert op basis van relatieve aflezingen in plaats van absolute waarden. Maar een PI kan nooit worden berekend met een tester met een beperkt bereik, want 'oneindig' is geen getal! Geavanceerde testers hebben een bereik in tera-ohm, zodat de metingen nooit buiten de grafiek vallen. De grootste en nieuwste kapitaaluitrusting kan gemakkelijk worden getest om herhaalbare gegevens te verkrijgen voor registratie en vervolgens trendevaluatie. De volgende tabel vermeldt enkele PI-waarden en wat ze betekenen voor de gebruiker.

Polarisatie-index	Toestand van isolatie
<1	Zwak
1-2	Twijfelachtig
2-4	In orde
>4	Goed

Waarden boven 4 zijn een indicatie van uitstekende apparatuur waarvoor waarschijnlijk geen actie nodig is en heeft geen hoge prioriteit in een onderhoudsschema. De gebruiker kan evenwel advies geven in verband met kritieke beoordelingen. Sommige hoge PI-waarden (boven 5) kunnen wijzen op een broze isolatie of scheuren in de isolatie; dit zou vrij duidelijk moeten zijn. Een plotse stijging van de PI met meer dan 20%, zonder dat enig onderhoud is uitgevoerd, moet een waarschuwing zijn; isolatie kan lange tijd dezelfde waarde behouden, maar het is onwaarschijnlijk dat ze uit zichzelf op indrukwekkende wijze verbetert.

Een voordeel van de PI-test is dat de test binnen de tien minuten een indicatie van de kwaliteit van de isolatie kan geven voor zeer grote apparatuur waarbij het opladen een uur of langer kan duren; zie afbeelding 20. Met een spot-test zou de gebruiker moeten wachten tot de aflezing is gestabiliseerd. Om die reden wordt gewoonlijk een PI-test met een relatief lage spanning uitgevoerd voordat de typische hoge spanningen voor een doorslagtest worden toegepast.



Afbeelding 20: voordeel van de polarisatietest voor grote apparatuur

De tabel met PI-waarden is reeds vele jaren in gebruik en wordt algemeen geaccepteerd, maar af en toe worden ook uitzonderlijke PI-aflezingen aangetroffen. Jaren geleden werd de stator van een generator van 3750 kVA getest, toen de stator net was oververhit. Er werd een PI van 13,4 gemeten. De stator was afgekoeld en bevond zich ongetwijfeld nog in de uithardingsfase. De daaropvolgende tests leverden lagere PI-waarden op tot de waarde zich stabiliseerde rond 4,7. Tijdens routineonderhoud halen PI-waarden deze indrukwekkende hoogten niet.

Belangrijk om te vermelden is ook dat velen hebben geprobeerd om de PI-test uit te voeren op oliegevlude transformatoren en niet kunnen begrijpen waarom een bekend goede transformator resultaten dicht bij 1 oplevert. Het antwoord is eenvoudig. PI-tests zijn niet geschikt voor oliegevlude transformatoren. Het concept is gebaseerd op de relatief stijve structuren van massieve isolatiematerialen, waar absorptie-energie nodig is om de elektronische structuur van de relatief vaste moleculen ten opzichte van het toegepaste spanningsveld opnieuw te configureren. Aangezien dit proces kan duren tot een theoretische staat van voltooiing (op een 'oneindig tijdstip', dat in de praktijk natuurlijk niet kan worden bereikt, maar redelijkerwijs kan worden benaderd), is het resultaat een constante verlaging van de stroom naarmate de moleculen hun 'uiteindelijk' uitlijning bereiken. Dit fenomeen is bepalend voor de PI-test, waardoor de test niet kan worden toegepast op vloeibare materialen. De teststroom door een oliegevlud monster creëert convectiestromen die de olie voortdurend doen kolken, wat resulteert in een chaotisch gebrek aan structuur, het tegenovergestelde van de basisvoorwaarde waarop de PI-test is gebaseerd.

Stapspanningstest

Aangezien een goede isolatie weerstand heeft, leidt een hogere testspanning tot een hogere stroom wanneer de weerstand constant blijft. Elke afwijking hiervan kan op een defecte isolatie wijzen. Bij lagere testspanningen, zoals 500 V of 1000 V, is het heel goed mogelijk dat deze defecten niet worden opgemerkt. Maar naarmate de spanning stijgt, bereiken we een punt waar ionisatie kan plaatsvinden binnen scheuren of holtes, wat tot een hogere stroom leidt en dus tot een verlaging van de isolatieweerstand. De nominale spanning van de isolatie hoeft niet noodzakelijkerwijs te worden bereikt om deze defecten te kunnen vaststellen, aangezien we gewoon willen zien of er ionisatie optreedt bij het defect.

De stapspanningstest steunt precies op dit principe en is goed te gebruiken bij spanningen tot wel 2500 V en hoger. De stapspanningstest kan worden gebruikt voor een onderspannings- of overspanningstest. Denk eraan dat een hogespanningstest kan leiden tot een catastrofale storing als de isolatie doorslaat, want hoogspanningstestsets (bijv. hoogpotentiaaltesters) hebben een groot beschikbaar vermogen. Bij een lagespanningstest die wordt uitgevoerd met een isolatietester is het beschikbare vermogen relatief klein, waardoor de kans op destructieve gevolgen veel onwaarschijnlijker is.

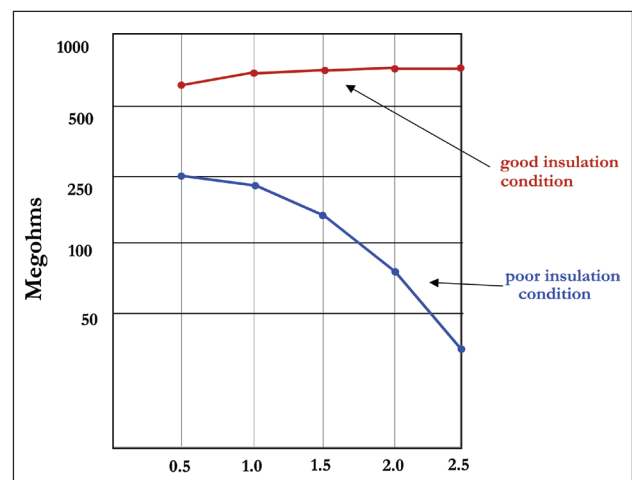
Een erkende standaardprocedure is om de spanning te verhogen in vijf gelijke stappen met een interval van één minuut, en de uiteindelijke isolatieweerstand op elk niveau te noteren. Elke opmerkelijke of ongewone daling van de weerstand is een indicatie van beginnende zwakte. Met moderne elektronica kunnen deze aflezingen automatisch worden geregistreerd.

Hieronder tonen we enkele mogelijke resultaten van een stapspanningstest op een motor van 500 tot 2500 volt en wat ze betekenen voor de gebruiker:

- **Geen merkbaar verschil in waarden - isolatie in betrouwbare staat.**
- **Merkbaar verschil in waarden - isolatie moet grondiger worden gereviseerd.**
- **Isolatie defect bij 2500 V - de motor is twijfelachtig; zal hoogstwaarschijnlijk defect raken tijdens bedrijf, zelfs bij een poging tot revisie op basis van uitsluitend laagspanningstests.**

De grafiek in afbeelding 21 toont een motor die vochtig en vuil was (onderste lijn) en de motor na het reinigen en drogen (bovenste lijn).

Een afwijking van 25% in de gemeten weerstand over het bereik van opeenvolgende spanningen is doorgaans een indicatie van aanwezigheid van vocht of andere verontreiniging. Plaatselijke fysieke schade kan verder worden vastgesteld door een doorslag of vlamboog. Deze toestand kan worden voorafgegaan door een 'haperende' of 'trillende' beweging van de wijzer, naarmate de doorslagspanning wordt benaderd. Het kan wenselijk zijn om de test op dit punt te beëindigen voordat een doorslag van de isolatie leidt tot verdere verslechtering van de toestand van het geteste item.



Afbeelding 21: grafiek van stapspanning

Net als de PI-test is de stapspanningstest een herhaalbare, op zichzelf staande test die door zijn korte tijdsduur niet wordt beïnvloed door externe factoren zoals temperatuur.

Stijgtest

De stijgtest is vastgelegd in IEEE 95-2002 als onderdeel van de aanbevolen methode voor het testen van de isolatie van wisselstroommachines (2300 V en hoger) met een hoge gelijkspanning. Bij gebruik van deze testmethode wordt de testspanning met een ingestelde snelheid geleidelijk verhoogd (stijgfunctie) naar een eindniveau, hetgeen resulteert in een toename van de stroom. Eventuele stroomschommelingen ten opzichte van de stijging van de toegepaste testspanning kunnen waardevolle diagnose-informatie leveren over de toestand van de isolatie. Deze test wordt veel gebruikt voor roterende machines om diverse isolatiedefecten en vormen van kwaliteitsvermindering te helpen opsporen, zoals:

- **Scheuren en barsten**
- **Oppervlakteverontreiniging**
- **Niet-uitgeharde hars**
- **Vochtabsorptie**

- Delaminatie
- Holtes

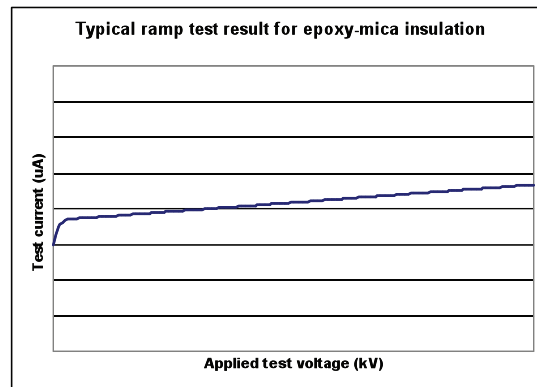
Deze test wordt door het Amerikaanse Bureau of Reclamation aanbevolen voor een breed scala aan roterende machines met isolaties van polyester, asfalt en epoxy-mica. Een andere mogelijke toepassing van de stijgtest is het testen van inrichtingen voor overspanningsbeveiliging, waarbij de toegepaste spanning bij een specifieke stroom wordt bewaakt.

De stijgtest zorgt voor een betere controle van de toegepaste spanning vergeleken met de stapspanningstest, en waarschuwt beter voor een dreigende doorslag van de isolatie, zodat schade aan de isolatie kan worden vermeden. Bovendien stijgt de spanning bij de stijgtest gewoonlijk met 1000 V per minuut, terwijl de spanningsstijging tijdens een stap gewoonlijk 1000 V per seconde is. Door de langzamere spanningsstijging is er ook minder kans op schade aan de isolatie.

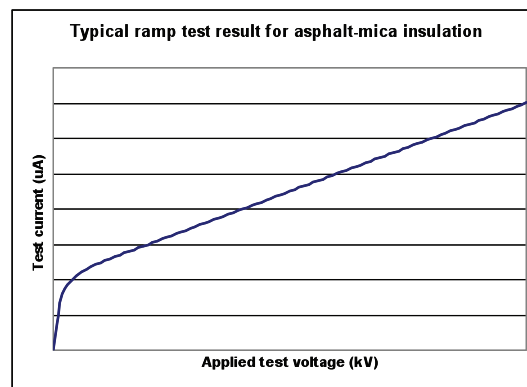
Met de stijgtest kan de gebruiker bovendien de lekstroom scheiden van de capacatieve laadstroom en de polarisatiestroom. Hierdoor worden kleine defecten van de isolatie gemakkelijker opgespoord.

Net als bij de stapspanningstest moet de gebruiker de meetresultaten van de stijgtest interpreteren en de toestand van de isolatie bepalen op basis van de verkregen grafieken. De onderstaande richtlijnen helpen u bij de interpretatie van de grafische weergave van resultaten:

- **Wikkelingen in goede staat moeten een gelijkmatig, bijna lineair stijgende stroomcurve ten opzichte van de toegepaste spanning produceren.**
- **Elke afwijking van een gelijkmatige curve moet worden beschouwd als een waarschuwing dat de isolatietest een mogelijke doorslag nadert (afwijkingen van slechts 5% onder de doorslagspanning zijn mogelijk).**
- **Een plotse stroomstijging is gewoonlijk een indicatie van een dreigende doorslag.**
- **Een bruske daling van de stroom is zeldzaam, maar als dit zich voordoet wanneer de testspanning hoger is dan de piekbedrijfsspanning van de wikkeling, is dit een indicatie van een dreigende doorslag.**

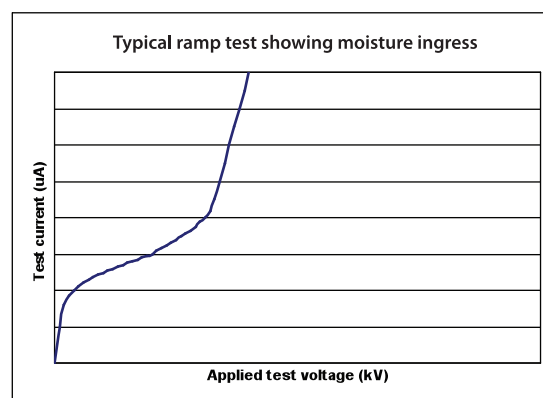


Afbeelding 22: typisch resultaat van een stijgtest voor isolatie van epoxy-mica



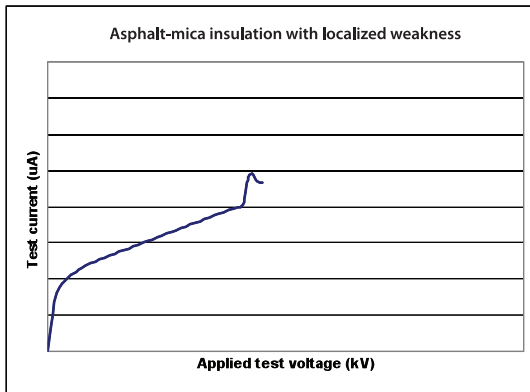
Afbeelding 23: typisch resultaat van een stijgtest voor isolatie van asfalt-mica

Het verschil tussen de resultaten voor isolatie van epoxy-mica in afbeelding 22 en die voor isolatie van asfalt-mica in afbeelding 23 is toe te schrijven aan het niveau van de aanwezige absorptiestroom. Isolatie van asfalt-mica heeft een veel hogere absorptiestroom ten opzichte van de geleidingslekstroom. Dit resulteert in een veel steilere helling. De diagnose voor beide isolaties is dat ze in goede staat zijn, wegens de lineaire reactie.



Afbeelding 24: typische stijgtest die wijst op indringing van vocht

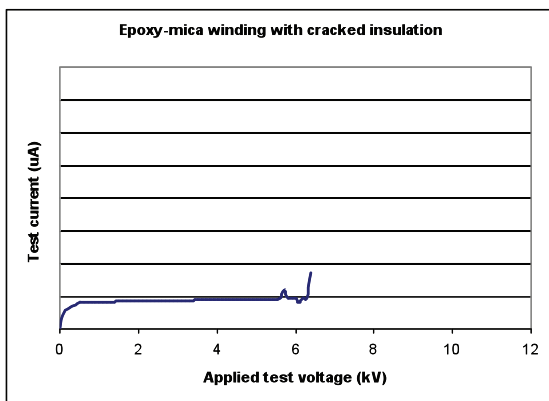
Afbeelding 24 toont de reactie van isolatie met geabsorbeerd vocht. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een lange periode van niet-gebruik. Wegens de plotse stroomstijging zou deze test gestopt zijn om doorslag te voorkomen.



Afbeelding 25: isolatie van asfalt-mica met plaatselijke zwakheid

Oude asfaltisolatie kan een lichte niet-lineaire reactie geven en zeer kleine afwijkingen of onregelmatigheden in de stroomgrafiek vertonen. Bij aanzienlijke plaatselijke zwakheid wordt een veel grotere, plotse stroomstijging getoond, zoals u kunt zien in afbeelding 25. In dit geval werd de test beëindigd omdat de grafiek bijna verticaal was en de kans op een doorslag zeer groot was.

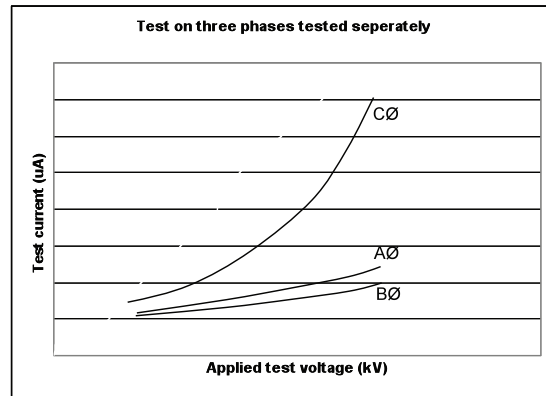
Bij scheuren in de spoelisolatie is er ook een plotse, vrijwel verticale stroomreactie, vaak voorafgegaan door kleine piekjes voordat de doorslag uiteindelijk optreedt. Afbeelding 26 toont een typische reactie voor een isolatie van epoxy-mica in dit geval.



Afbeelding 26: wikkeling van epoxy-mica met gescheurde isolatie

De stroomcurven van verschillende fasen kunnen ook worden

vergeleken. Alle drie de wikkelingen moeten vergelijkbare resultaten opleveren. Als een fase een verschillende reactie heeft, zoals getoond in afbeelding 27, is dit gewoonlijk een indicatie van een probleem met de toestand van de isolatie.

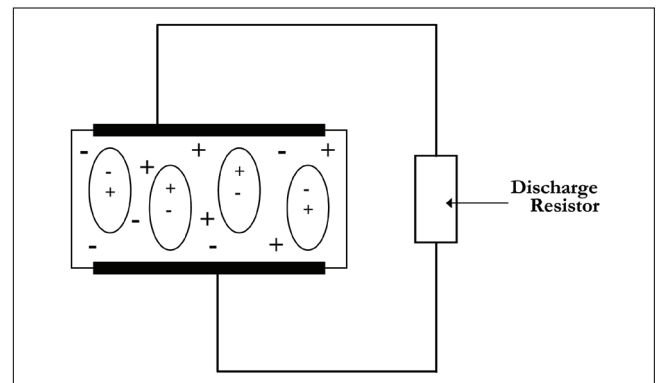


Afbeelding 27: resultaat voor drie fasen die afzonderlijk zijn getest

De getoonde grafieken zijn voorbeelden van het type storingen dat met een stijgtest kan worden opgespoord. Raadpleeg IEEE95-2002 voor meer gedetailleerde informatie over de diagnostische mogelijkheden van de test.

Test van de diëlektrische ontlading

De test van de diëlektrische ontlading (DD) is een relatief nieuwe testmethode die werd ontwikkeld door EDF, de Franse nationale elektriciteitsmaatschappij, en het resultaat is van jarenlange research. Terwijl de andere genoemde methoden de stromen tijdens het opladen meten, meet de DD-test de stroom tijdens de ontlading van het testobject. Als zodanig is dit geen zuivere isolatieweerstandstest, maar eerder een aanvulling op conventionele isolatietests. De opgeslagen lading tijdens een isolatietest wordt automatisch ontladen aan het eind van de test wanneer de ontladingsweerstand van de isolatietester over de klemmen worden geschakeld.



Afbeelding 28: ontlading van opgeslagen lading van het geteste item

De ontladingssnelheid is alleen afhankelijk van de

ontladingsweerstand en de hoeveelheid opgeslagen lading van de isolatie. De capacatieve lading wordt evenwel snel ontladen totdat de spanning over de isolatie is gedaald tot vrijwel nul. Op dat ogenblik is het effect van lekstromen te verwaarlozen. Zo blijft alleen de omkering van diëlektrische absorptie over. Dit wordt diëlektrische reabsorptie genoemd en is het spiegelbeeld van de diëlektrische absorptie.

De capacatieve stroom daalt snel vanaf een hoge waarde met een relatief korte tijdconstante (enkele seconden). De absorptiestroom (of reabsorptiestroom tijdens een ontlading) is aanvankelijk altijd hoog, maar heeft een veel langere tijdconstante (tot vele minuten). Deze stroom wordt veroorzaakt door de dipolen die zich willekeurig uitlijnen binnen de isolatie en de elektronenschillen die terugkeren naar een onvervormde toestand. Dit leidt tot een stroom als het ontladingscircuit nog verbonden is, of een opnieuw optredende spanning op het object als het circuit open wordt gelaten. Door de effecten van lek- en capacatieve stromen snel uit te sluiten kan de mate van polarisatie in de isolatie worden geïnterpreteerd en in verband worden gebracht met vocht of andere factoren die de polarisatie beïnvloeden.

Het geteste item wordt eerst gedurende 10 tot 30 minuten opgeladen bij een hoge spanning tot volledige absorptie heeft plaatsgevonden. (De Megger isolatietesters die deze test automatisch uitvoeren, laden het testobject op gedurende 30 minuten.) Op dat ogenblik is de capaciteit volledig opgeladen en de diëlektrische absorptie in feite voltooid. Er is alleen nog lekstroom. Op dit punt wordt de testspanning verwijderd en de isolatie via de interne ontladingsweerstand van het instrument ontladen om de capacatieve lading snel te ontladen. Na een ontlading van 60 seconden wordt de resterende stroom gemeten. Op dit ogenblik is de capaciteit ontladen en de spanning gezakt zodat de in de dipolen opgeslagen lading kan worden weergegeven, onafhankelijk van de 'verborgen' stromen die dominant zijn tijdens de opladingsfase van een isolatietest.

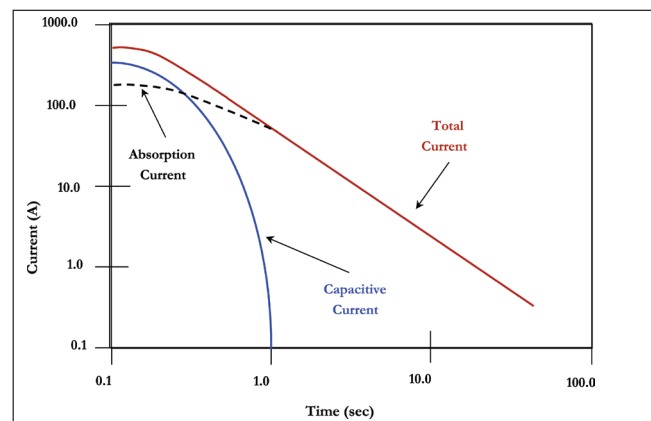
De meetresultaten worden vervolgens ingevoerd in de volgende formule en er wordt een index berekend.

$$\frac{\text{Aanwezige stroom na 1 minuut (nA)}}{\text{Testspanning (V) x capaciteit (\mu F)}}$$

De meting is temperatuurafhankelijk; het is dus belangrijk dat de test wordt uitgevoerd bij een referentietemperatuur of dat de temperatuur wordt geregistreerd.

Isolatie in hoogspanningsapparatuur bestaat vaak uit lagen, waarbij elke laag zijn eigen capaciteit en bijbehorende lekweerstand heeft. Bij isolatie die op deze manier is opgebouwd, is het de bedoeling de spanningsbelasting gelijkmatig te verdelen tussen de lagen. Wanneer de isolator wordt ontladen, daalt de lading van elke laag gelijkmatig tot er geen spanning meer overblijft.

Als er een laag defect is tussen goede lagen, daalt de lekweerstand van de defecte laag terwijl de capaciteit doorgaans hetzelfde blijft. Met een standaard isolatietest worden alleen de goede lagen gedetecteerd en zal deze toestand hoogstwaarschijnlijk onopgemerkt blijven. Tijdens de diëlektrische ontlading zal echter de tijdconstante van de defecte laag niet overeenkomen met de overige lagen en een hogere DD-waarde opleveren. Een lage DD-waarde is een indicatie dat de reabsorptiestroom snel daalt, en de tijdconstante van elke laag gelijk is. Een hoge waarde is een indicatie dat de reabsorptie lange relaxatietijden vertoont, wat kan wijzen op een probleem.



Afbeelding 29: reabsorptiestromen

De prestatiecijfers in de onderstaande tabel zijn gebaseerd op typische omstandigheden bij praktische research, die hoofdzakelijk op generatoren werd uitgevoerd door EDF. Deze techniek werd ontwikkeld voor hoogspanningsgeneratoren maar is geschikt voor gebruik op elke meerlagige isolatie.

D-waarde (in mA V ⁻¹ F ⁻¹)	Toestand van isolatie
> 7	Slecht
4 - 7	Zwak
2 - 4	Twijfelachtig
< 2	In orde

Verschillende problemen/verschillende tests

Zoals we net zagen, kan de test van diëlektrische ontleding worden gebruikt om problemen in één laag van een meerlagige isolatie vast te stellen. Andere testmethoden zullen problemen bij deze specifieke isolatiestructuur mogelijk niet opsporen. De polarisatie-indextest is bijzonder waardevol voor het aantonen van binnendringend vocht, olie-opname en soortgelijke diepgaande vervuiling. Deze binnendringende verontreinigingen zijn gemakkelijke paden voor elektrische lekstroom, die de omliggende isolatie beschadigt en uiteindelijk kan doorbranden als een 'kortsluiting'. Dit soort problemen wordt opgespoord bij vrijwel elke testspanning en is te zien aan de kenmerkende 'vlakke' PI. Vocht en verontreinigingen doen de aflezingen ook dalen, maar er is een eerder gemeten waarde nodig om te kunnen vergelijken. De PI-test heeft als voordeel dat er een interne vergelijking wordt gemaakt.

Andere problemen kunnen evenwel door een PI-test of eenvoudige spot-test 'glijpen' omdat hoge weerstandswaarden worden gemeten bij een bepaalde spanning. Dergelijke problemen zijn onder meer plaatselijke fysieke schade zoals gaatjes of droge, broze isolatie in verouderde apparatuur. Stapspanningstests brengen deze problemen aan het licht. Een toenemend aantal gebreken laat stroom door naarmate de toegepaste spanning wordt verhoogd en wordt weerspiegeld in een dalende weerstand. Een hogere spanning leidt tot vlambogen over kleine luchtspleten, wat een 'vroegge waarschuwing' kan zijn voor een dreigend probleem. Naarmate apparatuur verouderd, kunnen deze spleten smaller worden door ophoping van vuil en vocht tot er een kortsluiting naar aarde ontstaat.

BIJLAGEN

Mogelijke bronnen van fouten/hoogwaardige meetresultaten garanderen

In dit deel beschrijven we enkele mogelijke bronnen van fouten bij isolatietests boven 1 kV. Deze factoren kunnen van minder belang zijn bij tests tot 1 kV, maar zijn kritiek bij hoogspanningstests met hogere spanningen en gevoeligheden.

Meetsnoeren

Pas op met instrumenten met snoeren van mindere kwaliteit en een nominale spanning die lager is dan de gebruikte testspanningen. Het is uiterst belangrijk dat de enige lekstromen tijdens een meting degene zijn die worden ontwikkeld door de geteste isolatie. Als de snoeren zelf lekstroom veroorzaken, meet u mogelijk de isolatieweerstand van de snoeren in plaats van die van het geteste item.

Alle meegeleverde snoeren van Megger isolatietesters zijn van hoge kwaliteit en getest om spanningen te weerstaan die ruim hoger zijn dan de hoogste testspanning die door het betreffende instrument wordt gegenereerd. Ook dan is het belangrijk om bijkomende lekstroom te beperken door te voorkomen dat snoeren in contact komen met elkaar, de grond en vooral water.

Extra informatie over het ontwerp en het belang van veilig werken vindt u op pagina 31.

Metingen boven 100 GΩ uitvoeren

Metingen tot 100 GΩ kunnen worden uitgevoerd zonder speciale voorzorgsmaatregelen op voorwaarde dat de snoeren redelijk schoon en droog zijn. Indien nodig kan de beveiliging worden gebruikt om de effecten van oppervlaktelekstroom uit te sluiten. Meer voorzorgsmaatregelen zijn noodzakelijk wanneer weerstanden boven 100 GΩ worden gemeten, aangezien bijkomende lekstroom de kwaliteit van de meetresultaten kan aantasten. Let op het volgende:

- Meetsnoeren mogen elkaar of andere objecten niet raken aangezien dit lekstroempaden zal veroorzaken.
- Scherpe punten bij de meetsnoeraansluitingen moeten worden vermeden omdat dit corona-ontlading bevordert.
- De meetaansluitingen van het instrument moeten diep zitten zodat er geen ongewenste lekstroom tussen de aansluitingen optreedt.

Nauwkeurigheidsverklaringen

Let goed op de nauwkeurigheidsverklaring van een isolatietester. Aanvaard geen plus/min percentage als enige aanduiding voor digitale apparaten. De verklaring moet ook plus/min een aantal cijfers vermelden, want geen enkel digitaal display kan zijn laatste cijfer (minst significante cijfer, of l.s.d.) vastleggen op een enkel getal. Nauwkeurigheden die zijn opgegeven als 'percentage van aflezing' geven dezelfde afwijking aan op alle punten van de schaal.

Analoge verklaringen die zijn vermeld als 'percentage van schaal' of 'volledige schaaluitslag' (f.s.d.) kunnen misleidend zijn. Aangezien het nauwkeurighedsinterval is gebaseerd op de volledige schaallengte, betekent dit dat het foutpercentage toeneemt naarmate de aflezingscijfers stijgen op een logaritmische schaal. Met andere woorden: hetzelfde aantal wijzerbreedtes op de verbrede lage zijde van de schaal telt voor slechts enkele mega-ohm, terwijl dit op de vernauwde hoge zijde enkele honderden mega-ohm is. Daarom moet u voor een gewenste of vereiste nauwkeurigheidsspecificatie niet alleen letten op de vermelde percentages, maar ook op de gebruikte termen.

Nauwkeurighedsverklaringen kunnen ook misleidend zijn als ze niet zorgvuldig zijn uitgelegd. Controleer zeker ook het meetbereik waarop de nauwkeurighedsverklaring betrekking heeft in het gegevensblad, want dit kan aanzienlijk variëren tussen verschillende instrumenten onderling. Er is een groot verschil tussen een instrument met een nauwkeurigheid van 5% tot 40 GΩ of 100 GΩ, en een instrument met een nauwkeurigheid van 5% tot 1 TΩ. Voor sommige instrumenten wordt een nauwkeurighedsverklaring vermeld, maar geen toepasselijk bereik. Vraag altijd naar het bereik voor een specifieke nauwkeurigheid als dit niet is opgegeven.

Opmerking: wees voorzichtig met instrumenten waarvan geen belastingcurven bekend zijn.

Afgifte van nominale spanning

De spanningsregeling van een isolatietester is in de handleiding aangegeven met een belastinggrafiek, die de uitgangsspanning ten opzichte van de weerstandsbelasting toont. De belastingcurve garandeert dat de isolatietester bij typische isolatieweerstandswaarden de maximale nominale testspanning levert aan het geteste item. Dit lijkt voor de hand te liggen, maar is niet noodzakelijk het geval tenzij dit zo wordt vermeld door de fabrikant van een gegeven testapparaat. Een slecht geregeld testapparaat kan overbelast worden onder een belasting met hoge weerstand, waardoor de isolatie van het geteste item mogelijk slechts een fractie ontvangt van de nominale testspanning, die de transformator alleen onder maximale omstandigheden kan uitvoeren. Bij dergelijke instrumenten is waarschijnlijk geen belastingcurve opgegeven.

Inspecteurs van regelgevende instanties als UL[®] hebben dit probleem ontdekt bij 'testapparaten' die 'voorlopig' werden gemaakt van beschikbare transformatoren en andere componenten op werkterreinen om tests met hoog potentiaal uit te voeren. Omdat deze systemen ongeschikt waren, wordt er in standaardpublicaties nu een uiterst specifiek taalgebruik gehanteerd met betrekking tot uitgangsspanning. Megger isolatietesters zijn conform want ze leveren en behouden de nominale testspanning bij een minimale belasting evenredig met typische isolatiewaarden (gewoonlijk 1 tot 10 MΩ, afhankelijk van het model en de gekozen spanning). De testspanning is gewoonlijk enkele volt boven de nominale spanning, en mag nooit lager zijn, om de integriteit van de test en de herhaalbaarheid te handhaven wanneer gepland preventief onderhoud wordt uitgevoerd. Als uitermate precieze registratiegegevens verplicht zijn, geven sommige modellen naast de geselecteerde spanning ook de werkelijke testspanning aan, en wordt deze informatie opgenomen bij de gegevens in de conclusie.

Onderdrukking van interferentie

Interferentie is de elektrische ruis die wordt geproduceerd bij diverse frequenties en kan zich voordoen in het testobject. Het gaat gewoonlijk om geïnduceerde stromen of spanningen van aangrenzende apparatuur, wat vaak voorkomt in substations, vooral in hoogspanningssubstations waar stroomfrequenties overheersen. Deze elektrische ruis legt een wisselstroomsignaal op de gelijkstroom van de test en kan leiden tot aanzienlijke schommelingen in aflezingen. Het kan ook zijn dat de gebruiker helemaal geen resultaat kan aflezen, afhankelijk van de mogelijkheden van het instrument. 4 mA van 50/60 Hz is bijvoorbeeld een vrij typische elektrische ruis die kan optreden in grote substations (400+ kV).

Let erop of de isolatietester die u gebruikt de effecten van deze wisselstroomruis effectief kan onderdrukken, zodat deze geschikt is voor metingen in steeds moeilijker omstandigheden. Niet alle ruis beperkt zich echter tot stroomfrequenties. Voor andere frequenties hebben sommige instrumenten van topkwaliteit ingebouwde softwarefilters die de effecten van deze ruis kunnen uitsluiten. Het is belangrijk dat het gebruikte instrument geschikt is voor de mate van interferentie die u verwacht.

Regels bij het testen en vergelijken

Vergelijking van de resultaten om de mate van achteruitgang te bepalen is essentieel in het hele concept van preventief/predictief onderhoud. Het is belangrijk om te benadrukken dat dit concept gebaseerd is op aflezingen die zijn geregistreerd bij verschillende onderhoudsintervallen. Bovendien moeten testprocedures volgens strikte standaarden en onder bepaalde voorwaarden worden uitgevoerd. Afleringen 'on the spot' vergelijken is een heel ander scenario dat gepaard gaat met potentiële fouten.

Het is verleidelijk om te proberen tests te ondersteunen met extra aflezingen. Misschien past u het geteste item aan of verandert u de opstelling, of iemand anders kan het resultaat moeilijk aanvaarden en wil het controleren. Maar een isolatietester is geen multimeter! Hoogspanningstests werken op een manier die zeer sterk lijkt op het onzekerheidsprincipe van Heisenberg (het is onmogelijk om zowel de snelheid als de positie van een elektron te kennen), toegepast op isolatie. Dit wil zeggen dat de handeling van het meten een invloed heeft op het gemeten item, waardoor opeenvolgende aflezingen niet zijn gemeten op precies hetzelfde item.

Zoals eerder beschreven, wordt door het uitvoeren van een isolatietest het isolatiemateriaal gepolariseerd. Hierdoor worden de elektrische configuratie en diëlektrische eigenschappen in feite gewijzigd. Aangezien isolatiemateriaal door zijn ontwerp een slechte geleider is, kan het erg lang duren voordat 'relaxatie' of terugkeer naar een willekeurige configuratie optreedt. Onmiddellijk na het beëindigen van een test is het geteste item niet precies hetzelfde apparaat als vóór de test. Een onmiddellijke tweede test wordt, vaak in grote mate, beïnvloed door de achtergebleven lading van de eerste test. Welke meetwaarde is dan juist? Allebei! Van beide tests kan worden verwacht dat ze een juiste meetwaarde geven van de toestand van de isolatie op het ogenblik van de test. Bovendien zijn ontladingsprocedures volgens industriële normen onvoldoende voor het starten van een herhalingstest. Deze procedures zijn bedoeld voor de veiligheid van personeel, niet voor het kwalificeren van het geteste item. Restladingen die niet door een mens maar wel door een gevoelige meter waarneembaar zijn, kunnen uren of zelfs dagen aanwezig blijven. Apparatuur moet gedurende meerdere uren en bij voorkeur tot de volgende dag geaard blijven voordat een extra test wordt uitgevoerd. Verder mogen externe factoren, temperatuur in het bijzonder, niet over het hoofd worden gezien.

Dit betekent niet dat er nooit opnieuw on-the-spot mag worden getest. Voor relatieve informatie kan dit vrij waardevol zijn. Maar het moet in perspectief worden gehouden. Verwacht niet dat de aflezingen overeenkomen.

Twee verschillende gebruikers houden zich mogelijk ook niet in dezelfde mate aan de procedures. Temperatuur is slechts één factor. Als de apparatuur wordt ingeschakeld, om bijvoorbeeld de prestaties te controleren, en vervolgens opnieuw wordt getest, is de tweede test niet noodzakelijk vergelijkbaar met de eerste. De tijdsduur van de test wordt ook gemakkelijk vergeten. De ene gebruiker volgt de tijd van de test strikt op, terwijl een andere nauwelijks wacht tot de aflezing is gestabiliseerd. Dit kan tot gevolg hebben dat metingen op verschillende punten van de tijdgebonden weerstandscurve (zoals getoond onder 'Spot-test') worden genomen, en dan zijn de twee resultaten ook niet vergelijkbaar.

Als dit lijkt op overdreven aandacht voor details, let dan eens op wat instanties voor normalisatie voorschrijven. Organisaties als UL[®] en ASTM[®] beschrijven procedures niet in de zin van: 'sluit een meter aan en meet de waarde'. Ze specificeren elke variabele, met inbegrip van opstelling, procedure en kenmerken van het meetinstrument, die bepalen of resultaten als conform kunnen worden beschouwd. Standaardonderhoudsprocedures verdienen hetzelfde niveau van zorgvuldigheid.

Veiligheidscategorie

Naast de duidelijke prestatiespecificaties moeten instrumenten ook worden geëvalueerd volgens diverse kwaliteitsnormen. De belangrijkste norm is veiligheid. Een van de meest erkende en gerespecteerde veiligheidsnormen werd vastgelegd door de Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) in EN61010-1:2001. Deze norm bepaalt de vereisten waaraan testinstrumenten moeten voldoen om beveiligd te zijn tegen een vonkoverslag en vlamboogexplosie in specifieke omgevingen. De omschrijving dat een instrument voldoet aan een 'veiligheidscategorie', zoals algemeen aangeduid, volstaat niet. De betekenis van de veiligheidscategorie moet duidelijk zijn, omdat ze beschrijft waar in een elektrische omgeving een gegeven apparaat wel of niet veilig kan worden gebruikt.



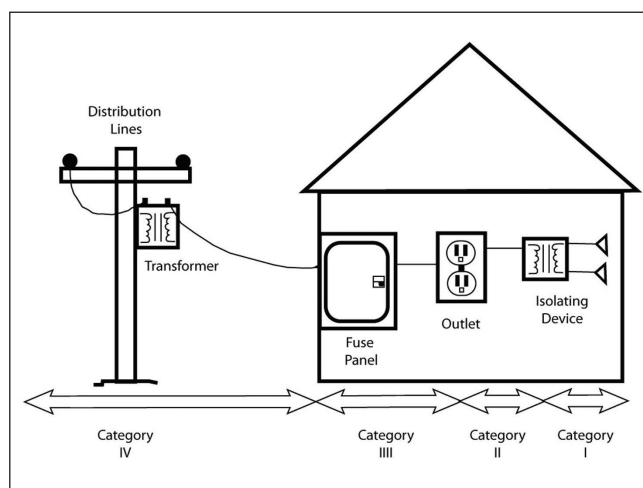
Afbeelding 30: om veiligheidsredenen biedt Megger de garantie dat alle aansluitingen op de MIT-modellen voldoen aan de veiligheidscategorie. Sommige momenteel verkochte instrumenten zijn misleidend.

Richtlijnen voor veiligheidscategorie

De 'veiligheidscategorie' wordt omschreven met twee parameters: een parameter die het systeemniveau aangeeft en een andere die de nominale bedrijfsspanning opgeeft. De omschrijving 'CAT IV 600 V' betekent dat de unit veilig kan worden gebruikt in elke elektrische omgeving tot en met CAT IV, met een kabel of apparaat met een nominale spanning tot 600 volt fase-aarde. Kijk uit voor producten die de veiligheidscategorie opgeven zonder het spanningsniveau te vermelden. Dit is onvolledige informatie, wat grote gevolgen kan hebben met betrekking tot veilige bediening. De veiligheidscategorie definieert de transiënt (piek of overspanning) waartegen het instrument volgens zijn ontwerp bestand is. Transiënten variëren in grootte en duur afhankelijk van de bron. Een transiënt kan een amplitude van enkele kV hebben, maar de duur is opmerkelijk kort, met een interval van gewoonlijk 50 µsec (microseconden). Het grootste gevaar is het optreden van

deze spanning samen met de sinusoidale spanning, waarbij een vlamboog kan ontstaan, die zich voortzet tot het einde van de cyclus. In een CAT IV-omgeving kan de beschikbare kortsluitstroom meer dan 1000 A zijn. In een instrument dat toevallig het circuit aan het meten is, kan dit leiden tot honderden kilowatt warmte in een kleine ruimte gedurende enkele milliseconden. Door de snelle uitzetting van lucht kan het instrument uiteenvallen of ontploffen. Dit kan brand, brandwonden en gevaarlijke rondvliegende deeltjes tot gevolg hebben.

Instrumenten die zijn ontworpen voor een veiligheidscategorie hebben voldoende ruimte tussen kritieke onderdelen, om te voorkomen dat een vlamboog leidt tot de eerste doorslag wanneer een transiënt optreedt. IEC61010 definieert de ontwerpeisen waaraan instrumenten moeten voldoen voor een specifieke veiligheidscategorie en specificeert zowel de elektrische als de fysieke vereisten (de zogenaamde kruipweg en speling) voor de circuits en behuizing.



Afbeelding 31: elektriciteitsvoorziening volgens categorieën

Het belang van een veiligheidscategorie

Een veiligheidscategorie wordt bepaald door de afstand stroomafwaarts van de transformator die het gebouw van stroom voorziet. De bovengrondse en ondergrondse transmissieleidingen vormen de CAT IV-omgeving omdat de beschikbare energie van de voedingsbron veel groter is nabij de transformator. Dit is de gevaarlijkste omgeving waar de beveiliging het hoogst moet zijn. Wanneer de spanning via het zekeringpaneel in het gebouw komt, is de circuitimpedantie hoger en worden transiënten gedempt, waardoor de beschikbare energie in de transiënt afneemt. Dit proces van progressieve demping, lagere energie en verminderd gevaar gaat verder in de resterende categorieën. Stroomafwaarts van de dienstingang bevindt zich de CAT III-omgeving. Vanaf de aansluiting of het stopcontact geldt de veiligheidscategorie CAT II, en in de apparaten (fotokopieermachines, televisietoestellen enz.) die zijn geïsoleerd door een interne transformator geldt

CAT I. Deze verzwakking is de reden waarom toestellen meestal niet ontploffen, maar een multimeter mogelijk wel. Het spanningsmeetbereik van een multimeter valt mogelijk binnen de nominale spanning voor de CAT IV-omgeving, waardoor men onterecht de indruk krijgt dat het testapparaat daar kan worden gebruikt.

Enkele belangrijke statistieken over veiligheidscategorieën

Verwar bedrijfsspanning en stabiele spanning niet met transiënte spanningen. Het testapparaat moet transiënten van enkele veelvoudenvan de nominale spanning kunnen weerstaan. Om bijvoorbeeld te voldoen aan de veiligheidseisen voor een leiding van 300 Vrms fase-neutraal in een CAT IV-omgeving, moet het testapparaat dus weerstand kunnen bieden aan een impuls van 4 kV!

De MIT- en S1-modellen van Megger met een maximale uitgangsspanning van 5 kV en 10 kV zijn goedgekeurd voor CATIV 600V, wat betekent dat ze een impuls van 8 kV kunnen weerstaan. De 15 kV-instrumenten MIT1525 en S1-1568 die onlangs werden geïntroduceerd, zijn gespecificeerd voor CATIV 1000V, en kunnen impulsen van 12 kV weerstaan.

Hoe groot is het werkelijke gevaar voor dergelijke impulsen? Kleine transiënten van enkele honderden volt komen dagelijks voor, maar grote transiënten (5 tot 12 kV) zijn gelukkig zeldzaam. Dit betekent echter niet dat we er geen rekening mee hoeven te houden. Wanneer u werkt met een instrument dat voldoet aan de specificaties, is de kans op een gevaarlijke doorslag één op een miljoen per uur dat het instrument op de voedingsbron is aangesloten. Maar als u de beveiliging verlaagt met één categorie, is de kans op een ongeval ongeveer 30 keer groter. Dit betekent dat als 100 personen instrumenten van een onjuiste veiligheidscategorie gebruiken op onder stroom staande systemen gedurende een uur per dag, 200 dagen per jaar, er zich waarschijnlijk elke 18 maanden een gevaarlijke situatie zal voordoen.

Testen op grote hoogten

De norm EN61010-1:2001 van de Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) specificeert dat de veiligheids categorie geldig moet zijn tot op een hoogte van 2000 m. Naarmate de hoogte toeneemt, daalt immers de luchtdichtheid en daardoor nemen ook de isolerende eigenschappen van de lucht af. Dit is een probleem voor locaties zoals dagbouw mijnen in Chili, met hoogten tot circa 4000 m, waar de veiligheids categorie van de meeste instrumenten niet meer geldig is. Vele instrumenten slaan trouwens intern door onder hun eigen testspanning op deze hoogten.

Met de introductie van de nieuwste MIT- en S1-modellen werden de veiligheids categorieën gespecificeerd voor hogere hoogten, die de standaardvereiste van EN61010-1:2001 overtreffen. De MIT515,

MIT525 en MIT1025 kunnen worden gebruikt en voldoen aan hun veiligheids categorie tot op 3000 m, en de S1-568, S1-1068 en S1-1568 voldoen aan hun veiligheids categorie tot op 4000 m hoogte.

Isolatie weerstand van roterende machines testen

In maart 2000 keurde de IEEE-SA Standards Board een herziening goed van de norm IEEE 43-1974 door het Electric Machinery Committee van de IEEE Power Engineering Society. Deze herziening is de norm IEEE 43-2000, 'IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery' (door IEEE aanbevolen methode voor het testen van isolatie weerstand op roterende machines). De soorten isolatie die worden gebruikt in elektrische roterende machines zijn veranderd, en dus ook de isolatie weerstandskennmerken, waardoor een grondige herziening van de IEEE-norm noodzakelijk was. Volgens de IEEE is de norm bedoeld voor:

- Personen/organisaties die roterende machines produceren.
- Personen/organisaties die verantwoordelijk zijn voor de afdruk van nieuwe roterende machines.
- Personen/organisaties die roterende machines testen en onderhouden.
- Personen/organisaties die roterende machines bedienen.

Megger raadt iedereen die betrokken is bij het testen en/of onderhouden van roterende machines aan om deze norm in detail te bekijken. We vermelden hier enkele van de hoofdzaken.

De norm IEEE 43-2000 raadt een methode aan voor het meten van de isolatie weerstand van anker- en veldwikkelingen in roterende machines van 1 pk, 750 W of meer, en is van toepassing op synchrone machines, inductiemachines, gelijkstroomb machines en synchrone condensatoren. De norm is niet van toepassing op machines met een laag vermogen. De norm bevat tevens aanbevelingen voor de isolatietestspanning (gebaseerd op de nominale waarde van de wikkelingen) en de minimaal aanvaardbare waarden van de isolatie weerstand voor de wikkelingen van roterende wissel- en gelijkstroomb machines.

In de volgende tabel vindt u richtlijnen voor de toegepaste gelijkstroomspanning tijdens een isolatie weerstandstest. Bij wikkelingen voor een spanning van meer dan 12 kV worden testspanningen tot 10 kV aanbevolen.

*Nominale spanning van wikkeling (V)	Gelijkspanning isolatieweerstandstest (V)
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12.000	2500-5000
>12.000	5000-10.000

* Nominale lijnspanning voor driefasige wisselstroommachines, nominale aardspanning voor enkelfasige machines en nominale gelijkspanning voor gelijkstroommachines of veldwikkelingen

De norm geeft de aanbeveling om elke fase te isoleren en afzonderlijk te meten (indien mogelijk) omdat bij deze werkwijze vergelijkingen tussen fasen mogelijk zijn. De twee fasen die niet worden gemeten, moeten worden geaard via dezelfde aardverbinding als de statorkern of het rotorhuis. Wanneer alle fasen gelijktijdig worden gemeten, wordt alleen de isolatie naar aarde getest. Isolatieweerstanden moeten worden gemeten met alle externe apparatuur (kabels, condensatoren, overspanningsbeveiligingen etc.) losgekoppeld en geaard, want deze onderdelen kunnen de weerstandswaarde beïnvloeden. Er moet een gemeenschappelijke aardverbinding worden gebruikt om zwerfverliezen in het aardcircuit te voorkomen die de meetresultaten kunnen beïnvloeden.

Specificatie van machine	Evaluatiecriteria
10.000 kVA of minder	Waarde van de PI-test OF waarde van de isolatieweerstandstest (bij 40 °C) moet boven de aanbevolen minimumwaarden liggen.
10.000 kVA	Meer dan Waarde van de PI-test EN waarde van de isolatieweerstandstest (bij 40 °C) moeten boven de aanbevolen minimumwaarden liggen.

De norm vernoemt zowel de isolatieweerstandstest als de polarisatie-indextest (PI), en geeft de aanbeveling om beide tests uit te voeren (indien mogelijk). Er wordt vermeld dat historische testgegevens moeten worden gebruikt om veranderingen op te sporen. De norm geeft minimumwaarden voor beide tests die kunnen worden gebruikt als er geen historische gegevens beschikbaar zijn om de geschiktheid van de wikkeling te evalueren. Dit zijn de aanbevolen minimumwaarden voor een wikkeling die geschikt is voor een overspanningstest of in bedrijf.

De aanbevolen minimumwaarden voor PI zijn gebaseerd op de thermische klasse van de isolatiematerialen en gelden voor alle

isolatiematerialen, ongeacht de toepassing volgens IEC 60085-01: 1984. De PI-test is niet geschikt voor niet-geïsoleerde veldwikkelingen. Houd er rekening mee dat een zeer hoge PI (groter dan 8) voor statorwikkelingen van gelakt batist, schellak, mica-folium of asfalt een indicatie kan zijn dat de isolatie thermisch verouderd is en defect kan raken. Visuele inspectie kan bevestigen of de isolatie droog en broos is.

Thermische klasse	Minimale PI-waarde
Klasse A	1,5
Klasse B	2,0
Klasse F	2,0
Klasse H	2,0

De aanbevolen minimale isolatieweerstand na een minuut bij 40 °C kan worden bepaald aan de hand van de onderstaande tabel. De minimumweerstand van een fase van een driefasige ankerwikkeling, die wordt gemeten terwijl de twee andere fasen geaard zijn, moet ongeveer tweemaal die van de volledige wikkeling zijn. Als elke fase afzonderlijk wordt getest (met gebruik van beveiligingscircuits voor de niet-geteste fasen), moet de waargenomen minimumweerstand drie keer die van de volledige wikkeling zijn.

Minimale isolatie-weerstand (MΩ)	Testobject
kV* + 1	Voor de meeste wikkelingen die zijn gemaakt vóór circa 1970, alle veldwikkelingen en overige die hieronder niet zijn beschreven.
100	Voor de meeste gelijkstroomanker- en wisselstroomwikkelingen die zijn gemaakt na circa 1970 (vormspoelen).
5	Voor de meeste machines met willekeurig gewikkelde statorspoelen en vormspoelen met nominale spanning lager dan 1 kV.

* kV is de nominale machinespanning van klem tot klem in rms kV.

De specificatie van de machine bepaalt of de motorwikkelingen de minimumwaarde moeten bereiken voor de isolatieweerstandstest of de PI-test, of voor beide tests. **Effecten van temperatuur**

Temperatuurschommelingen kunnen een grote invloed hebben op aflezingen van isolatieweerstand. De weerstand daalt aanzienlijk bij een stijging van de temperatuur voor hetzelfde apparaat. Voor elk type isolatiemateriaal is de mate waarin de weerstand verandert met de temperatuur anders. Er bestaan tabellen met temperatuurcorrectiefactoren voor diverse types van elektrische

apparatuur, die verkrijgbaar zijn bij de fabrikant. Hebt u deze niet, dan is het aanbevolen uw eigen tabellen met correctiefactoren op te stellen door twee weerstandswaarden voor hetzelfde apparaat te registreren bij twee verschillende temperaturen. Vervolgens kunt u een grafiek plotten met weerstand (op een logaritmische schaal) ten opzichte van temperatuur (op een lineaire schaal). De grafiek is een rechte lijn en kan worden geëxtrapoleerd naar elke temperatuur zodat correctiefactoren rechtstreeks kunnen worden afgelezen.

In plaats van gedetailleerde gegevens kan deze 'vuistregel' worden gebruikt: halveer de weerstand voor elke temperatuurstijging van 10 °C, en verdubbel de weerstand voor elke daling van de temperatuur met 10 °C. Bijvoorbeeld: een weerstand van 100 GΩ bij 20 °C wordt 25 GΩ bij 40 °C.

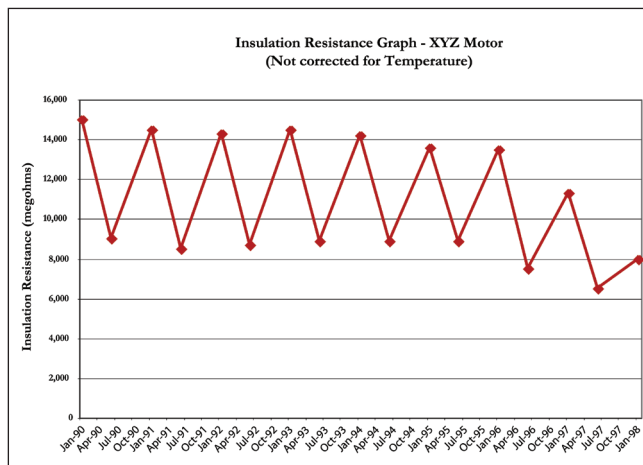
Waarom is temperatuurcorrectie belangrijk? Bekijk het voorbeeld in de onderstaande tabel, waarbij een motor wordt getest op verschillende tijdstippen van het jaar bij verschillende temperaturen (binnen een bereik van 15°). De temperaturen werden aangepast volgens de vuistregelcorrectie.

Datum	Isolatie-weerstand (MΩ)	Temperatuur °F	Temperatuur-gecorrigeerde isolatie-weerstand (MΩ)
Jan-01	15.000	68	14.990
Jun-01	9.000	80	14.276
Jan-02	14.500	68	14.490
Jun-02	8.500	82	14.562
Jan-03	14.300	68	14.290
Jun-03	8.700	81	14.341
Jan-04	14.500	68	14.490
Jun-04	8.900	81	14.671
Jan-05	14.200	69	14.748
Jun-05	8.900	80	14.117
Jan-06	13.600	68	13.591
Jun-06	8.900	78	13.071
Jan-07	13.500	66	12.491
Jun-07	7.500	80	11.896
Jan-08	11.300	68	11.292
Jun-08	6.500	80	10.310
Jan-09	8.000	67	7.693

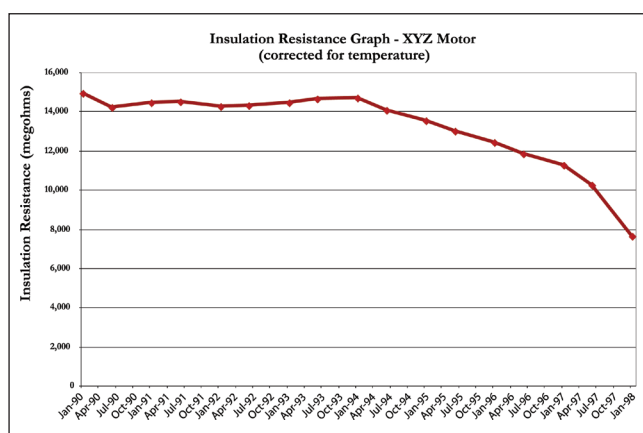
De geregistreerde waarden zorgen voor verwarring als ze niet worden gecorrigeerd voor de temperatuur. Weergegeven in een grafiek kunnen ze slechts in beperkte mate worden gebruikt om een trend te bepalen.

Als we dezelfde gegevens corrigeren voor de temperatuur en vervolgens plotten, geeft de grafiek een waardevol beeld van de achteruitgang van de isolatie.

Temperatuurcorrectie is uiterst belangrijk bij tests met hogere spanningen en een hogere gevoeligheid.



Afbeelding 32: grafiek van isolatieweerstand zonder temperatuurcorrectie



Afbeelding 33: grafiek van isolatieweerstand met temperatuurcorrectie

Effecten van vochtigheid

Vochtigheid (vochtgehalte) heeft een invloed op de isolatieweerstand, die echter niet zo precies kan worden gemeten als de invloed van temperatuur. Verschillende typen isolatie absorberen vocht in verschillende mate, en er zijn ook verschillen volgens de ouderdom en toestand van elk type isolatie. We kunnen alleen zeggen dat vochtigheid een factor is waarmee rekening moet worden gehouden bij het evalueren van meetresultaten. In tegenstelling tot temperatuur is er bij vochtigheid geen constante gradiënt en zolang de temperatuur boven het dauwpunt blijft, zal vochtigheid de isolatiewaarden niet opmerkelijk beïnvloeden.

Toenemende vochtigheid in de omringende (omgevings-)lucht kan de isolatieweerstand in diverse mate beïnvloeden. Als apparatuur regelmatig wordt gebruikt boven het dauwpunt (temperatuur waarbij de vochtdampen in de lucht condenseren tot vloeistof), wordt de meetwaarde niet erg beïnvloed door de vochtigheid. Dit geldt ook voor apparatuur die stilstaat, op voorwaarde dat de temperatuur boven het dauwpunt blijft (en de isolatieoppervlakken vrij zijn van verontreinigingen zoals bepaalde stoffen en zuren of zouten, die de eigenschap hebben vocht te absorberen).

Bij elektrische apparatuur zijn we in de eerste plaats bezorgd over de toestand van de blootliggende oppervlakken waar vocht condenseert en de algemene weerstand van de isolatie beïnvloedt. Uit onderzoek blijkt evenwel dat dauw eerst ontstaat in de scheuren en holtes van de isolatie en pas daarna zichtbaar is op het oppervlak. Metingen bij het dauwpunt geven een aanwijzing als er sprake is van een dergelijke onzichtbare situatie, die de meetresultaten beïnvloedt.

Bij hogere testspanningen moet meer aandacht worden besteed aan de invloed van vochtigheid, omdat de hogere spanningen veel gemakkelijker ionisatie bevorderen dan lage spanningen. Hierdoor kan vochtigheid die niet opgemerkt wordt bij 1 kV, verbluffend lage aflezingen geven bij 5 kV. Dit wijst niet noodzakelijk op een probleem. Het verschil in reactie bij twee verschillende spanningen kan worden gebruikt om vocht op te sporen en tests kunnen met en zonder beveiliging worden uitgevoerd om oppervlaktevocht of inwendig vocht op te sporen.

Indringingsbescherming

Ergens bij de kleine lettertjes in de productbulletins van de meeste testapparatuur staat een IP-klasse, een nummer dat de gebruiker vitale informatie geeft. Aan de hand van de IP-klasse weten gebruikers of een apparaat geschikt is voor hun toepassing en testomgeving.

'IP' staat voor 'Ingress Protection' of indringingsbescherming. Dit is de mate waarin het instrument bestand is tegen het indringen van vreemd materiaal. Het systeem met IP-klassen werd vastgelegd in norm 529 van de IEC (Internationale Elektrotechnische Commissie) en is bedoeld als richtlijn om gebruikers te helpen de levensduur van het instrument te beschermen. Bovendien kunnen gebruikers een betere aankoopbeslissing nemen, omdat ze kunnen controleren of het testapparaat ontworpen is voor gebruik in de omgeving(en) waar zij mee te maken hebben.

De IP-klasse bestaat uit twee cijfers, die elk een afzonderlijk kenmerk aangeven. De aanduiding geeft aan hoe goed het item is afgesloten tegen indringing van vreemd materiaal, zowel vocht als stof (hoe hoger het cijfer (de cijfers), hoe beter de bescherming). Welke informatie geeft een typische IP54 over de toepassingsmogelijkheden van een model? Een expert spreekt dit uit als IP vijf-vier en niet vierenvijftig. Elk cijfer heeft betrekking op een apart kenmerk, er is geen onderling verband tussen de cijfers.

Het eerste cijfer verwijst naar indringing van deeltjes, en geeft aan in welke mate vaste objecten in de behuizing kunnen binnendringen. Het cijfer '5' betekent 'stofbestendig', en beschermt ook tegen het binnendringen van een draad tot 1,0 mm. Er is maar één hogere klasse: 'stofdicht'. Het tweede cijfer verwijst naar vocht. Het cijfer '4' betekent bestand tegen 'spatwater, alle richtingen'. De hogere cijfers 5 tot en met 8 betekenen bestand tegen 'waterstralen' en 'tijdelijke' of 'voortdurende' onderdompeling.

Is dit belangrijk? Stel dat u overweegt om een instrument te kopen dat slechts voldoet aan IP43. Wat zegt dit over de bruikbaarheid? Kan het instrument goed worden benut in een steengroeve of cementfabriek? Eigenlijk niet! Het cijfer 4 voor deeltjes betekent 'objecten gelijk aan of groter dan 1 mm'. Dat zijn keien in vergelijking met de deeltjes die we gewoonlijk aantreffen in industriële processen. Vliegend stof kan ertoe leiden dat het apparaat buiten bedrijf moet worden gesteld.

Stel dat het apparaat voldoet aan IP42. Het cijfer 2 voor vocht betekent waterdruppels. Het apparaat zou dus niet bestand zijn tegen sproeiwater. Als u een instrument koopt voor een omgeving die niet binnen de gespecificeerde IP-klasse valt, zult u waarschijnlijk heel snel een ander instrument nodig hebben. Wat betekent de specificatie IP40? Het cijfer 0 voor vocht betekent dat het apparaat niet beschermd is tegen indringing van vloeistoffen.

De volgende tabellen geven een richtlijn voor de diverse IP-klassen en wat ze betekenen voor de gebruiker:

Bescherming tegen toegang tot gevaarlijke onderdelen (eerste cijfer)	
Getal	Beschrijving
0	Niet beschermd
1	Beschermd tegen toegang met achterkant van de hand (50 mm)
2	Beschermd tegen toegang met gelede testvinger (12 x 80 mm)
3	Beschermd tegen toegang met gereedschap (2,5 mm)
4, 5, 6	Beschermd tegen toegang met een draad (1,0 mm)

Bescherming tegen indringing van vaste vreemde voorwerpen (eerste cijfer)	
Getal	Beschrijving
0	Niet beschermd
1	Voorwerpen gelijk aan of groter dan 50 mm
2	Voorwerpen gelijk aan of groter dan 12,5 mm
3	Voorwerpen gelijk aan of groter dan 2,5 mm
4	Voorwerpen gelijk aan of groter dan 1 mm
5	Stofbestendig
6	Stofdicht

Bescherming tegen indringing van vloeistoffen (tweede cijfer)	
Getal	Beschrijving
0	Niet beschermd
1	Waterdruppels, verticaal
2	Waterdruppels, behuizing gekanteld tot 15°
3	Sproeiwater, tot hoek van 60° verticaal
4	Spatwater, alle richtingen
5	Waterstraal, alle richtingen
6	Krachtige waterstraal, alle richtingen
7	Tijdelijke onderdompeling in water
8	Voortdurende onderdompeling in water

Tests met hoog potentiaal

Er bestaat geen echte eenduidige definitie van de test met 'hoog potentiaal'. De test wordt veel gebruikt, maar de definitie is afhankelijk van de situatie, van het 'oog van de toeschouwer' zouden we kunnen zeggen. Een test met hoog potentiaal is in feite een elektrische spanningstest die wordt uitgevoerd met een spanning die twee of meer keer groter is dan de nominale spanning, en wordt soms ook doorslagtest of normtest genoemd.

De test wordt uitgevoerd met een aanzienlijk hogere spanning dan de nominale spanning van de geteste apparatuur, en wordt beschouwd als een overspanningstest, in tegenstelling tot de hoogspanningsisolatietest, die doorgaans wordt toegepast met een spanning die lager is dan de nominale spanning van de apparatuur. De overspanningstest veroorzaakt abnormale spanningen in het testobject en kan leiden tot een snellere veroudering van de isolatie. Sommige normen vereisen zelfs dat de spanning wordt verhoogd tot het testobject doorslaat.

Als een overspanningstest nodig is, wordt normaal eerst een PI-onderspanningstest uitgevoerd voor een voorafgaande evaluatie van de kwaliteit van de isolatie.

Tests met hoog potentiaal kunnen worden uitgevoerd met wisselstroom- of gelijkstroomspanningen, afhankelijk van wat geschikt is. Objecten met een grote capaciteit vertonen een kortsluiting bij een wisselspanningstest, en er moet een testset met zeer hoog vermogen worden gebruikt om de capacitieve laadstromen te overwinnen. In situaties als deze is het vrij gebruikelijk om een gelijkspanningstest met een gelijkwaardige piek toe te passen.

Stroomwaarden (nA) vs. weerstandswaarden (MΩ)

Isolatietesters meten stroom en berekenen de weerstandswaarde. Waarom doen we dit? Hoofdzakelijk omdat dit een traditionele methode is. Goede isolatie levert een hoge aflezing op, terwijl slechte

isolatie een lage aflezing oplevert. Verder is een goede isolatie hoofdzakelijk resistent. Als we de testspanning verdubbelen, verdubbelen we de stroom maar de weerstand blijft constant. Soms is het evenwel gemakkelijker om problemen op te sporen door de werkelijke stromen te onderzoeken.

De keuze is aan u want vele moderne isolatietesters kunnen hun meetwaarden weergeven in elk van beide eenheden.

Brandmodus

Volwaardige isolatietesters boven 1 kV hebben vaak een 'brandmodus'. Deze functie wordt mogelijk nooit gebruikt, maar biedt mogelijkheden binnen een beperkt toepassingsbereik.

Isolatietesters genereren hoge spanningen in aanzienlijke weerstanden. Als de isolatie echter doorslaat, daalt de weerstand, verhoogt de stroom en daalt de spanning. Als er niet wordt ingegrepen, heeft dit tot gevolg dat de vlamboog wordt gedoofd, de weerstand toeneemt en de spanning stijgt, wat opnieuw leidt tot een doorslag, enzovoort. Door deze continue cyclus kan de weerstand niet worden gemeten en kunnen er zelfs gaatjes of grote brandsporen ontstaan. De meeste isolatietesters zullen worden uitgeschakeld om verdere schade te voorkomen.

Maar als u de locatie van de doorslag wilt vinden, is dit heel onpraktisch. Daarom hebben sommige instrumenten een door de gebruiker instelbare 'brandmodus'; het instrument wordt niet automatisch uitgeschakeld en er wordt een vlamboog met lage stroom gehandhaafd. We wijzen er wel op dat de kortsluitbegrenzing van het instrument steeds in werking blijft. De tester wordt niet 'kortgesloten'. Met deze functie kan de gebruiker de plaats of aard van de storing bepalen door te zoeken naar een vonk of rookpluim, of met behulp van een ionisatiedetector. Gaatjes in wikkelingen kunnen worden opgespoord en bedekt met isolatielak, zodat de apparatuur weer in bedrijf kan worden gesteld. Bij het onderhoud van kabels wordt een hoogpotentiaaltester met veel hogere stromen dan die van isolatietesters gebruikt om een storing met hoge weerstand 'door te slaan', waardoor een 'open circuit' ontstaat dat veel gemakkelijker wordt herkend met reflectietechnieken bij een vlamboog.

Elektrische apparatuur drogen

Elektriciteit en water zijn geen goede vrienden en isolatie moet vaak worden 'gedroogd'. Hierbij wordt vocht op het oppervlak of aan de binnenkant van de isolatie verwijderd. Sommige apparaten hebben ingebouwde verwarmingselementen die hiervoor kunnen worden gebruikt. Er zijn ook nog enkele andere methoden om elektrische apparatuur te drogen.

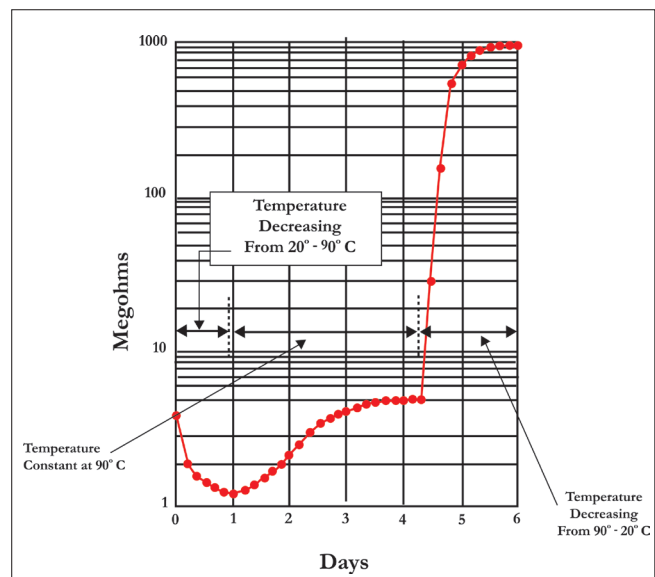
De meest afdoende oplossing voor het probleem is de wikkelingen in een oven met geschikte temperatuurregeling en goede luchtcirculatie te plaatsen. Waar dit niet mogelijk is, kunnen banken van infraroodlampen worden gebruikt, of er kan een geschikte behuizing rond de machine worden gebouwd, met spiraalbuizen of apparaten met een elektrische weerstand als warmtebron. Er moeten openingen zijn voor een vrije luchtcirculatie; anders leidt de vochtverdrrijving gewoon tot een hogere vochtigheid in de droogkamer. Blazers kunnen worden gebruikt om de luchtbeweging te verhogen.

Vacuümdrogen is ook een methode die effectief wordt gebruikt om apparatuur sneller weer in bedrijf te stellen, maar dit vereist extra voorzorgsmaatregelen en ervaren personeel.

Een andere vaak gebruikte methode bestaat erin een laagspanningsstroom door de wikkelingen te laten circuleren. Deze methode mag echter niet worden gebruikt voordat de isolatieweerstand een waarde van minstens 100 MΩ heeft bereikt. De stroom mag slechts een fractie van de ampèrewaarde op het typeplaatje bedragen en de maximumtemperaturen van de geïsoleerde delen moeten voortdurend zorgvuldig worden gecontroleerd. De maximale droogtemperaturen op wikkelingen mogen niet hoger zijn dan 90 °C (194 °F) gemeten met een thermometer. Dit voorkomt niet alleen snelle thermische slijtage van de isolatie maar ook schade als gevolg van een hoge dampdruk die ontstaat als stoom wordt geproduceerd.

Als drogen noodzakelijk is, kunt u met geregistreerde waarden gemakkelijker bepalen wanneer de isolatie vochtvrij is. Als voorbeeld van het belang van eerdere aflezingen geven we een motor die nat is geworden. Na reiniging geeft een spot-test met de Megger tester een waarde van 15 MΩ weer. Als eerder geregistreerde meetwaarden een isolatieweerstand van 10 tot 20 MΩ aangaven, is de motor in goede staat. Maar als uit eerdere meetwaarden blijkt dat de normale weerstandswaarden tussen 100 en 150 MΩ liggen, weet de gebruiker dat er nog vocht in de motorwikkelingen aanwezig is.

Wanneer isolatieweerstandswaarden tijdens het drogen worden gebruikt als een indicatie van de geschiktheid van wikkelingen voor bedrijf of voor toepassing van het testpotentiala, moet het drogingsproces lang genoeg worden voortgezet om er zeker van te zijn dat de waarden betrouwbaar zijn. Vaak vertoont de weerstandscurve een of meerdere dipjes voordat deze vlak wordt of verder stijgt in een positieve richting. Dit komt door het vocht dat zich uit de wikkelingen verwijdert. Wanneer de machine helemaal droog is, is er verder werk nodig om resterend stof te verwijderen. Hiervoor kan droge perslucht van maximaal 40 psi worden gebruikt.



Afbeelding 34: typische grafiek van weerstand tijdens drogingsproces

Afbeelding 34 toont een typische curve van het drogingsproces voor een gelijkstroommotoranker, die de veranderingen in isolatieweerstand weergeeft. Tijdens het eerste deel van het proces daalt de weerstand wegens de hogere temperatuur. Naarmate het drogingsproces vordert, neemt de weerstand toe bij een constante temperatuur. Ten slotte stijgt de weerstand tot een hoge waarde, wanneer de kamertemperatuur (20 °C) is bereikt.

Er is een belangrijk voorbehoud bij het testen van natte isolatie met een isolatietester: natte apparatuur is gevoelig voor een spanningsdoorslag. Als wikkelingen een grote hoeveelheid vocht hebben geabsorbeerd, kunnen zelfs lage spanningen gaatjes in de isolatie veroorzaken. Daarom moet de gebruiker uiterst voorzichtig zijn voordat hij hoge spanningen toepast. Op meer geavanceerde Megger isolatietesters kan de testspanning worden ingesteld tussen een lage spanning van 25 volt en een hoge spanning van 5000 volt, in stappen van 25 volt.

Ontlading van het geteste item

Misschien hebt u geleerd om een condensator te ontladen en hem dan op te bergen met onderling kortgesloten klemmen. Hebt u zich ooit afgevraagd waarom u de klemmen moest kortsluiten, ook al had u de condensator ontladen en had u mogelijk ook gecontroleerd dat er bij de klemmen geen spanning meer aanwezig was?

De reden hiervoor is de diëlektrische absorptiestroom. Als u de klemmen niet kortsluit, komt de energie die is opgeslagen door diëlektrische absorptie langzaam vrij, waarbij de negatieve lading naar één klem gaat en de positieve lading naar de positieve klem. Na verloop van tijd kan deze lading een gevaarlijk niveau bereiken, zo hoog als de originele testspanning, met een aanzienlijke hoeveelheid opgeslagen energie. Deze energie is dodelijk.

Aan het eind van een isolatietest lijkt het testobject sterk op een opgeladen condensator; er blijft een grote hoeveelheid energie opgeslagen in het diëlektricum van de isolatie.

Er is een belangrijke 'vuistregel' met betrekking tot het laden en ontladen van items die worden getest. De gebruiker moet het geteste item ontladen voor een tijdsduur die vijf keer zo lang is als de duur van de test. Als de gebruiker een PI-test van 10 minuten uitvoert, moet hij/zij het apparaat 50 minuten laten ontladen.

Een hoogwaardig instrument zal het testobject automatisch ontladen wanneer een test is voltooid of wordt onderbroken. Bepaalde instrumenten van een lagere kwaliteit hebben een aparte keuzeknop of schakelaar voor ontlading, wat een stap aan de test toevoegt. Als deze stap wordt vergeten, kan het geteste item dodelijk zijn voor de volgende persoon die ermee omgaat.

Megger isolatietesters detecteren ook de spanning over het testobject tijdens de ontladingsfase en tonen deze spanning totdat deze is gedaald tot een veilig niveau. Op dat ogenblik is het veilig om het item te hanteren.

Maar dan hebben we alleen maar de opgeslagen capacatieve lading ontladen. Zoals we in het begin van deze brochure zagen, wordt de capaciteit relatief snel opgeladen bij het begin van een test. Zo wordt de capacatieve lading ook snel ontladen aan het eind van een test. Het duurt echter veel langer om de diëlektrische absorptiestroom in en ook weer uit het testobject te krijgen.

Het testobject is dus onmiddellijk veilig te hanteren, maar als de klemmen niet worden kortgesloten, zullen ze langzaam een lading opbouwen en worden ze opnieuw gevaarlijk. Daarom moet u ervoor zorgen dat de klemmen zijn kortgesloten en geaard, tenzij de apparatuur weer in bedrijf wordt genomen.

Opladetid voor grote apparatuur

Een vraag die we vaak krijgen, is: "Hoe lang duurt het om een groot apparaat op te laden?" Het antwoord is: "Dat weten we niet!"

Waarom niet? Omdat dit afhankelijk is van de feitelijke configuratie van het betreffende apparaat. De Megger S1-5010 heeft bijvoorbeeld een gespecificeerde oplaadsnelheid van 'minder dan 5 seconden per microfarad met een kortsluitstroom van 2 mA' en '2,5 seconden per microfarad met een kortsluitstroom van 5 mA'. Als u de capaciteit van het testobject kent, kunt u dus de oplaadtijd bepalen, of het nu gaat om een motor, een kabel of gewoon een plakje isolatiemateriaal.

Isolatietesters met motoraandrijving

Een andere vraag die we vaak krijgen, is: "Wat is er gebeurd met de oude motoraangedreven isolatietesters in een houten doos?" Sommigen dachten blijkbaar dat deze de norm waren voor het testen van isolatie, en nog steeds zijn.

Deze houten dozen, aangedreven door een externe motor, werden gemaakt tussen 1910 en 1972 en waren gebaseerd op de originele 'kruisspoel-ohmmeter' volgens het patent van Evershed. Zoals de naam suggereert, werkten ze met twee onder een hoek geplaatste spoelen en een grote, zware beweging. Dit was de eerste 'echte ohmmeter'. De structuur van de beweging had voordelen en nadelen.

Het belangrijkste voordeel was de zeer grote inertie, als gevolg van het gewicht van de beweging, waardoor de meter vrijwel ongevoelig was voor interferentie of transiënten. Dit resulteerde in een zeer gelijkmatige beweging. Helaas waren deze instrumenten door het zware gewicht van de beweging vrij delicaat en moesten ze voorzichtig worden behandeld. Bovendien moesten de instrumenten horizontaal worden gezet voor gebruik; hiervoor waren ze uitgerust met een waterpas en verstelbare voetjes. Verder waren de bewegingen vrijwel ongevoelig en konden maximumweerstand worden gemeten in hoge mega-ohmwaarden of lage giga-ohmwaarden.

Er werden alternatieve voedingsbronnen ontwikkeld. De oude generator was groot en zwaar; wie een van deze oude instrumenten met krukbediening ooit heeft gebruikt, zal dit beamen. U zou het niet leuk vinden om zo een PI-test uit te voeren, maar zonder een netvoeding was er geen alternatief.

Door de vooruitgang van de technologie konden 'elektronische bewegingen' worden gebruikt, die robuuster en nauwkeuriger waren. Er werden nieuwe generatoren met lage spanning ontwikkeld die veel gemakkelijker werden opgestart en ten slotte maakte de accutechnologie het mogelijk om alleen accuvoeding te gebruiken. Het resultaat is de langdurige en zeer stabiele voeding die we vandaag kennen.

Het gebruik van elektronica heeft geleid tot lichtere, robuustere en nauwkeurigere instrumenten die sneller reageren. Ze geven meer informatie, zodat we transiënten kunnen zien die vroeger verborgen bleven door de relatieve instabiliteit van de voedingsbron en de inertie van de beweging.

Wat lijkt u het beste? Aan u de keuze.

ONTWERP VAN DE MEETSNOEREN

Het ontwerp van de meetsnoersets is bedoeld om de aansluiting op een verscheidenheid aan spanningsloze systemen te vergemakkelijken met als doel om de isolatieweerstand te meten. Het is te allen tijde de verantwoordelijkheid van de gebruiker om veilige werkprocedures te volgen en te controleren of het systeem veilig is voordat de aansluiting tot stand wordt gebracht. Zelfs elektrisch geïsoleerde systemen kunnen een aanzienlijke elektrische capaciteit vertonen die tijdens toepassing van de isolatietest uiterst hoog wordt geladen. Deze lading kan dodelijk zijn en aansluitingen, waaronder de snoeren en klemmen, mogen tijdens de test nooit worden aangeraakt. Het systeem moet veilig worden ontladen voordat aansluitingen mogen worden aangeraakt.

Meetsnoeren vormen een centraal onderdeel van elk precisie-instrument en de veiligheid, lange levensduur en de mogelijkheid om betrouwbare verbindingen tot stand te brengen met een verscheidenheid aan testobjecten die worden aangetroffen in alledaagse toepassingen, zijn van het grootste belang.

Een zorgvuldig ontwerp maakt herhaalbare aansluitingen mogelijk, die praktisch en veilig zijn. Om deze essentiële mix van prestaties en veiligheid te waarborgen, mogen alleen de beste en meest geschikte materialen worden gebruikt. De zorgvuldige specificatie van de kabel zorgt er bijvoorbeeld voor dat deze onder alle omstandigheden flexibel blijft en buitengewoon goede isolatiekenmerken heeft die de metingen niet beïnvloeden.

Het gebruik van een dubbel geïsoleerde siliconenkabel garandeert betrouwbare en veilige metingen. Tests uitvoeren met minderwaardige of elektrisch lekkende snoeren kan misleidende meetwaarden tot gevolg hebben en ertoe leiden dat een isolatie in perfecte staat als defect wordt gediagnosticeerd, waardoor u zowel tijd als geld verliest door onnodige reparaties. Dit is vooral het geval wanneer u lange meetsnoeren gebruikt.

Belangrijke veiligheidsverbeteringen

De internationale norm IEC 61010-031 omschrijft de veiligheidseisen voor handheld sondesets voor elektrische metingen en tests. De norm werd aangevuld met een aantal bijlagen, met name: preventie van risico's wegens vonkoverslag en kortsluitingen.

Het gaat om twee soorten risico's: (1) de gevaren van een sondetip of krokodilklem die tijdelijk twee geleiders met hoge energie overbrugt en (2) de gevaren van het verbreken van een contact terwijl er stroom aanwezig is.

Deze risico's zijn vooral van toepassing in vele van de omgevingen waarin isolatietesters van 5 kV en 10 kV worden gebruikt. Als een sonde of klem twee geleiders met hoge energie kortstondig kortsluit tijdens het aansluiten, zal een extreem hoge stroom het metaal verwarmen en de isolatie doen smelten. Dit alleen al kan leiden tot ernstige brandwonden voor de gebruiker of omstanders in de buurt van de klem of sonde. Als bovendien het contact wordt

verbroken terwijl stroom aanwezig is, kan een vlamboog ontstaan die resulteert in een uiterst gevaarlijke situatie die bekend staat als vonkoverslag.

De norm omschrijft het gevaar van een vlamboog als volgt: 'Een vlamboog leidt tot ionisatie van de lucht in de buurt van de vlamboog, wat continue stroom in de buurt van de sondetip of krokodilklem toelaat. Als er voldoende energie aanwezig is, zal de ionisatie van de lucht zich verder verspreiden en de stroom door de lucht blijven toenemen. Dit leidt tot een vonkoverslag, die lijkt op een explosie, met mogelijk ernstig of dodelijk letsel voor de gebruiker of een omstander tot gevolg.'

Conform IEC 61010-031:2008 moeten sondetips en krokodilklemmen zo gemaakt zijn dat ze het risico van vonkoverslag en kortsluitingen beperken. Dit geldt voor alle krokodilklemmen of andere klemmen die gespecificeerd zijn voor veiligheids categorie III of IV (CATIII of CATIV). De buitenvlakken van krokodilklemmen moeten daarom niet geleidend zijn en er mogen geen metalen onderdelen toegankelijk zijn (zoals gedefinieerd door de norm) wanneer de klem gesloten is.

Tijdens de ontwerpfase worden gedetailleerde meet- en testprocedures gebruikt om de elektrische kruipweg en speling te beoordelen, voor absolute conformiteit met de norm. De toegankelijkheid van geleidende metalen onderdelen wordt beoordeeld met behulp van een testvinger conform de IEC-norm.

Overwegingen met betrekking tot veilige bediening

In elektrische testomgevingen zijn veilige werkpraktijken essentieel om de veiligheid van de gebruikers van testapparatuur te garanderen. Isolatie tests in omgevingen met een hoge spanning en hoge energiedichtheid houden een aantal specifieke risico's in, die we hieronder vermelden:

1. Praktische uitvoerbaarheid behouden met volledig geïsoleerde klem

Als de extra isolatie van een klem de werking en betrouwbare aansluiting op een grote verscheidenheid aan vereiste stroomrails, draden en klemmen verhindert, is het ontwerp niet bruikbaar en probeert de gebruiker misschien om de extra isolatie te verwijderen voor het tot stand brengen van een aansluiting.

2. Bescherming tegen capacatieve lading van lange kabels

Vergrendelde hoogspanningsstekkers aan de instrumentzijde verkleinen de kans dat stekkers loszitten of losraken, waardoor de lading dodelijk hoog zou blijven aan het eind van de test terwijl het instrument onterecht zou aangeven dat er geen spanning aanwezig is. De vergrendeling is gebruiksvriendelijk en voorkomt loskoppeling aan de 'stekkerzijde' om een goede ontlading na afloop van een test te waarborgen.

3. Bescherming tegen hoge spanning in een CATIV 600V- of CATIV 1000V-omgeving

Bij een aansluiting op voedingssystemen van transformator tot de hoofdverdelers (veiligheids categorie IV heeft betrekking op inkomende voeding van industriële gebouwen) is een hogere bescherming vereist tegen overspanningen. Dit zijn normale transiënten op de voeding, die doorgaans worden veroorzaakt door schakelhandelingen of een blikseminslag op afstand en leiden tot impulsen van vele duizenden volt op de aangesloten apparatuur, meetsnoeren, klemmen etc. Deze apparatuur moet bescherming bieden voor de gebruiker tijdens het tot stand brengen van een aansluiting. Een klem die geschikt is voor gebruik op een voeding van 600 V in veiligheids categorie CATIV moet dergelijke impulsen tot 8 kV kunnen weerstaan.

Een klem die geschikt is voor gebruik op een voeding van 1000 V in veiligheids categorie CATIV moet dergelijke impulsen tot 12 kV kunnen weerstaan.

Klemmen die zijn gevormd van een isolerende polymeer met hoge diëlektrische sterkte en die zorgvuldig bepaalde afmetingen hebben, zorgen ervoor dat de elektrische kruipweg en speling zelfs onder ongunstige omstandigheden worden gehandhaafd.

4. Bescherming tegen uitgangsspanning van het instrument (5 kV, 10 kV of 15 kV)

Vele gebruikers zijn bang voor de uitgangsspanning van 5, 10 of zelfs 15 kV van hun isolatietester. Maar in werkelijkheid is de beschikbare stroom van het instrument doorgaans beperkt tot enkele milli-ampères, wat op zich relatief ongevaarlijk is.

Het gevaar schuilt niet zozeer in de uitgangsspanning, maar in de werkomgeving. Als de aangesloten lading capacitief is en wordt opgeladen door de hoge spanning van het instrument, kan dit leiden tot een zeer grote energiecapaciteit, en kan aanraking dodelijk zijn. Verder is het bij het testen van isolatie in vele hoogspanningsomgevingen niet ongevoelbaar dat ladders nodig zijn om bij aansluitingen op apparatuur zoals transformatoren te geraken, en dit gaat gepaard met risico's van het werken op hoogte. In dergelijke situaties kan een normaal onschadelijke elektrische impuls leiden tot een automatische reactie van de gebruiker, met kans op ernstig letsel door een val. Volledig geïsoleerde klemmen helpen het risico te beperken.

Veiligheidswaarschuwingen

Het circuit dat wordt getest, moet uitgeschakeld, spanningsloos en geïsoleerd zijn en op veiligheid zijn gecontroleerd voordat de aansluitingen voor de isolatietest tot stand worden gebracht. Zorg ervoor dat het circuit niet opnieuw onder spanning wordt gezet terwijl het instrument is aangesloten. Aansluitingen op het circuit mogen tijdens een isolatietest niet worden aangeraakt.

Nadat een test is voltooid, moeten capacitieve circuits volledig worden ontladen voordat de meetsnoeren worden losgekoppeld. Capacitieve ladingen kunnen dodelijk zijn.

Geteste items moeten na ontlading goed worden kortgesloten met een kortsluitverbinding totdat ze weer worden gebruikt. Dit dient als beveiliging tegen opgeslagen diëlektrische absorptielading die kan vrijkomen, waarbij de spanning stijgt tot potentieel gevaarlijke niveaus.

Meetsnoeren, inclusief krokodilklampen, moeten in goede staat verkeren, schoon en droog zijn en mogen geen breuken of scheuren vertonen in de isolatie. Het snoer mag niet worden gebruikt als een onderdeel ervan beschadigd is.

ONTWERP VAN DE INSTRUMENTBEHUIZING

Isolatietesters van 5 kV tot 15 kV worden gebruikt in diverse omgevingen, voor het testen van motoren in een werkplaats tot het testen van hoogspanningsleidingen en schakelkasten in hoogspanningsstations. De aard van het uit te voeren werk vereist uitstekend draagbare en robuuste instrumenten. In tegenstelling tot de meeste apparatuur in schakelstations, waar stevige metalen behuizingen met aarding zorgen voor duurzaamheid en veiligheid, moeten isolatietesters klein en lichtgewicht zijn, zodat werk op alle plaatsen en hoogten mogelijk is. Om dit te bereiken, gebruiken fabrikanten van instrumenten spuitgegoten plastic, meestal ABS of een vergelijkbaar materiaal, voor een lichtgewicht en duurzame behuizing.

Voor maximale veiligheid van de gebruikers moeten producten voldoen aan de strenge eisen van de internationale norm IEC61010 ('Safety of Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory use', veiligheid van elektrische apparatuur voor meting, regeling en laboratoriumgebruik).

Isolatietesters zijn niet alleen ontworpen voor het meten van isolatieweerstand op spanningsloze systemen, maar ook voor het meten van spanning op ingeschakelde systemen tot 600 V AC (fase naar aarde). In beide gevallen moet het instrument niet alleen geschikt zijn voor de toegepaste spanning, maar ook transiënten weerstaan die elders in het systeem kunnen optreden

en zich naar het aangesloten instrument kunnen verspreiden. In externe locaties met stroomdistributiesystemen kunnen deze transiënten aanzienlijk zijn, een zeer grote hoeveelheid energie vervoeren en een groot gevaar betekenen voor de gebruiker. Zelfs tijdens een isolatietest op een spanningsloos circuit kan een schakeling elders in het netwerk of een blikseminslag op afstand een hoge transiënte spanning in het spanningsloze systeem veroorzaken die het instrument veilig moet overleven om de gebruiker te beschermen.

Brandvertragende bescherming

In IEC61010 worden deze transiënten onderverdeeld in verschillende categorieën volgens de ernst ervan, afhankelijk van de plaats en voedingsspanning in het distributiesysteem. De ernst van transiënten neemt stroomopwaarts van het distributiesysteem toe. Instrumenten voor aansluiting op externe systemen moeten gespecificeerd zijn voor categorie IV (CATIV). Instrumenten die zijn gespecificeerd voor CATIV 600 V moeten bijvoorbeeld veilig weerstand kunnen bieden aan transiënten van 8000 V.

Als zich een storing voordoet terwijl het instrument op een dergelijk systeem is aangesloten en de transiënt een vonkoverslag in het instrument veroorzaakt, kan de plaatselijke ionisatie van de lucht leiden tot een effectieve kortsluiting over een potentieel heel hoge energietoever, wat voor de gebruiker zeer gevaarlijk is. Daarom bepaalt IEC61010-2-030 dat instrumenten ook veilig moeten zijn wanneer dergelijke transiënten zich voordoen.

Bovendien bepaalt Deel 1 van IEC61010 dat er geen branduitbreiding buiten de apparatuur mag zijn als zich in het instrument een enkelvoudige storing voordoet, bijvoorbeeld een defecte accu. Er zijn twee methoden om de conformiteit te controleren: voer eerst een test met 'enkelvoudige storing' in het instrument uit en breng ten tweede gewoon een brandvertragende behuizing aan. De veiligste instrumenten voldoen aan beide conformiteitsmethoden.

De spuitgegoten materialen die geschikt zijn voor de productie van behuizingen zijn lichtgewicht en duurzaam, maar ze zijn doorgaans helaas niet brandvertragend en bieden geen goede bescherming in geval van een storing. Materialen met brandvertragende additieven zijn beschikbaar maar ze zijn minder duurzaam, en zijn dus evenmin opgewassen tegen veeleisend dagelijks gebruik. Dit dilemma is een grote uitdaging voor fabrikanten van instrumenten.

Megger maakt gebruik van een uniek ontwerp met dubbele behuizing; de binnenlaag zorgt voor essentiële brandbescherming terwijl de buitenste behuizing maximale stevigheid en duurzaamheid biedt.

MEGGER ISOLATIETESTERS

De Megger isolatietesters van 5 kV, 10 kV en 15 kV zijn speciaal ontwikkeld voor industriële toepassingen en nutsbedrijven. Alle Megger-isolatietesters zijn robuust en betrouwbaar voor hoge prestaties. Deze instrumenten hebben de veiligheidsspecificatie tot CAT IV 1000 V op alle aansluitingen en ze worden voor transport opgeborgen in een robuuste koffer van polypropyleen met een volledige bescherming volgens beschermingsgraad IP65. Een uniek ontwerp met dubbele behuizing van alle instrumenten biedt een brandvertragende bescherming en zorgt voor robuustheid.

De 10 kV-instrumenten zijn volledig in overeenstemming met de norm IEEE 43-2000 'Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery' (Aanbevolen methode voor het testen van de isolatieweerstand van roterende machines). Hierdoor kan de gebruiker daadwerkelijk iedere machine op de markt testen. De 15 kV-instrumenten voldoen volledig aan de vereisten van NETA voor het testen van apparatuur met een nominale specificatie van 35 kV.

MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525

De MIT-serie bestaat uit vier instrumenten: Twee 5 kV-modellen, een 10 kV-instrument en een 15 kV-instrument. De serie is ontworpen voor industriële en vermogensdistributie. De MIT515 (5 kV-model) kan worden gebruikt voor zowel 'go/no go'-isolatietests als voor de belangrijkste diagnostische isolatietests zoals polarisatie-index (PI). Twee nieuwe geavanceerde modellen, MIT1025 (10 kV-model) en MIT1525 (15 kV-model) zijn testapparaten met geheugen voor diagnostische isolatietests. De MIT1025 en MIT1525 zijn geschikt voor het meer nauwgezet testen van hoogspanningsapparatuur.

De MIT-testers hebben een volledig geïntegreerde guardaansluiting/-schakeling voor nauwkeurige resultaten in zeer uiteenlopende testsituaties. De testers werken met een accu of met wisselstroomvoeding. Voordelen hierbij zijn de lange levensduur van de accu en de snelle oplaadtijd. Voor opslag en trendregistratie van resultaten kunnen de MIT525, MIT1025 en MIT1525 gegevens opslaan en downloaden naar een pc via USB. U kunt er ook extra diagnostische tests mee uitvoeren, zoals een stapspanningstest (SV) en stijgtest.

Enkele kenmerken van de MIT-modellen zijn:

- Intuïtieve bediening met draaiknop
- Werken op netvoeding of accu
- Eenvoudige vervanging van accu

■ Stijgtest

S1-568, S1-1068 en S1-1568

De S1-serie bestaat uit drie modellen van respectievelijk 5 kV, 10 kV en 15 kV (S1-568, S1-1068 en S1-1568). De S1-testers zijn speciaal ontworpen voor nutsbedrijven, met name in stroomvoorzienings- en stroomopwekkingstoepassingen, waar een hogere elektrische ruis en langere kabels worden aangetroffen, en voor onderhoudsbedrijven. Alle S1-modellen hebben een hoog nominaal uitgangsvermogen van 6 mA zodat ze opgewassen zijn tegen hoge capacatieve ladingen, en hebben een hogere immuniteit voor elektrische ruis (ideaal voor gebruik in de meest veeleisende substations en hoogspanningsomgevingen).

De S1-testers bieden vijf diagnostische tests, waaronder de PI-, SV- en stijgtest. De instrumenten kunnen resultaten opslaan en downloaden via de USB-poorten en via Bluetooth. Bovendien kunnen de S1-modellen op afstand worden bediend via USB en Power DB Lite-software voor extra vertrouwen en bedieningsgemak.

Enkele kenmerken van de S1-modellen zijn:

- Uitgangsstroom van 6 mA voor het snel opladen en testen van capacatieve ladingen
- Ruisimmuniteit van 8 mA voor stabiele metingen in omgevingen met extra hoge spanning
- Meetbereik tot 15 TΩ (5 kV-modellen) en 35 TΩ (10 kV- en 15 kV-modellen)
- USB en Bluetooth voor streamen van live gegevens en downloaden van opgeslagen resultaten
- Ingebouwd geheugen voor opslag van resultaten
- Afstandsbediening via USB



Modellen MJ15 en BM15

Isolati weerstandstesters van 5 kV

- Goed/fout-overlays voor snelle 'go/no go'-tests
- Isolati weerstand tot 20 GΩ
- Spanningsbereik tot 600 V geeft automatische ontlading aan

De BM15 en MJ15 zijn compacte isolatietesters van 5 kV die eenvoudig in gebruik zijn en een snelle, nauwkeurige aflezing van de isolati weerstand geven. Beide instrumenten bieden vier testspanningen (500 V, 1 kV, 2,5 kV, 5 kV), analoge schaal aanduidingen en een meetgevoeligheid tot 20 GΩ.

De BM15 werkt met 8 'AA'- of oplaadbare alkalinebatterijen, terwijl de MJ15 ook is uitgerust met een handbediende generator naast de batterijvoeding.

Meetsnoeren

Megger biedt een compleet assortiment meetsnoersets aan die zijn ontworpen conform IEC 16010-031:2008 voor een veilige isolatie. Waar praktisch mogelijk is dubbele isolatie voorzien. Bij hoogspanningstoepassingen wordt echter enkelvoudige isolatie gebruikt, omdat de klem grote fysieke afmetingen zou hebben en onpraktisch zou zijn om mee te werken. Veilige werkmethoden zijn noodzakelijk en klemmen en aansluitingen onder spanning mogen nooit worden aangeraakt.

Meer informatie over meetsnoeren van Megger vindt u op onze website www.megger.com onder de productgroep Isolati etesters van 5 kV en 10 kV.



Uw 'one-stop' bron voor al uw elektrische testapparatuur

- Testapparatuur voor accu's
- Foutopsporingsapparatuur voor kabels
- Testapparatuur voor stroomonderbrekers
- Testapparatuur voor datacommunicatie
- Testapparatuur voor vezeloptica
- Testapparatuur voor aardingsweerstand
- Testapparatuur voor arbeidsfactor van isolatie (C&DF)
- Testapparatuur voor isolatieweerstand
- Testapparatuur voor hoogspanningsleidingen
- Laagohmige weerstandsmeters
- Testapparatuur voor motorrotatie en faserichting
- Multimeters
- Olietestapparatuur
- Testers voor draagbare apparaten en gereedschap
- Power Quality-instrumenten
- Testapparatuur voor sluiters
- Testapparatuur voor relais
- Testapparatuur voor TDR
- Testapparatuur voor transformatoren
- Testapparatuur voor wattuurmeters
- STATES® klemmenblokken en testschakelaars
- Praktische opleidingsprogramma's voor professionals over techniek en veiligheid

Megger is een toonaangevende fabrikant en leverancier van test- en meetinstrumenten voor gebruik in elektriciteitscentrales, bij bedrading van gebouwen en in telecommunicatietoepassingen.

Met onderzoeks-, ontwikkelings- en productiefaciliteiten in de Verenigde Staten, Engeland en Zweden, en verkoop en technische ondersteuning in de meeste landen is Megger het best geplaatst om te voldoen aan de behoeften van klanten wereldwijd.

Voor meer informatie over Megger en zijn zeer diverse lijn van test- en meetinstrumenten:

Telefoon: 1-866-254-0962

E-mail: vfmarcom@megger.com

Of ga naar onze website: www.megger.com

Service van EURO-INDEX b.v.



EURO-INDEX b.v. verleent service op alle meetinstrumenten uit haar leveringspakket en biedt de faciliteiten, kennis en hoog gekwalificeerd personeel voor (preventief) onderhoud, reparatie en kalibratie van uw meetinstrumenten.

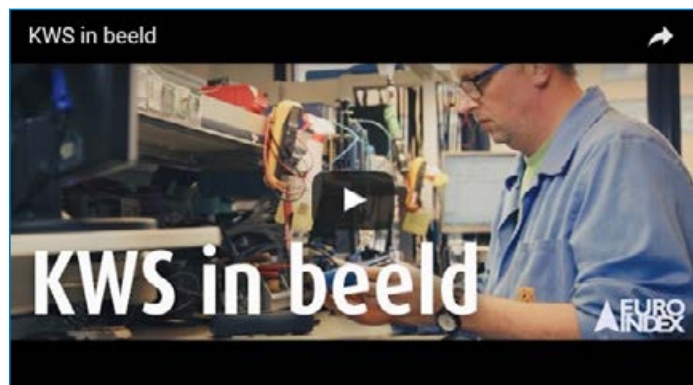
Geautoriseerd Service Centrum

EURO-INDEX b.v. is van alle vertegenwoordigde merken een Geautoriseerd Service Centrum.

Dit betekent dat uw instrumenten worden behandeld door goed opgeleid en kundig personeel, dat beschikt over de juiste gereedschappen en software. Er worden uitsluitend originele onderdelen toegepast en de garantie van uw instrument, evenals de certificering (ATEX, EN50379, etc.) blijven intact.

Service en kalibratielaboratorium

EURO-INDEX b.v. beschikt over een bijzonder modern service- en kalibratielaboratorium met RvA accreditatie naar NEN-EN-ISO/IEC 17025. Deze accreditatie geldt voor verschillende grootheden, zoals gespecificeerd in de scope bij accreditatienummer K105.



Bekijk de video en ontdek alles over KWS

KWS®

KWS is een uniek servicesysteem voor uw meetinstrumenten met periodiek onderhoud en kalibratie. Veel zaken worden voor u geregeld, zodat u zonder zorgen gebruik kunt maken van uw meetinstrumenten. De kosten zijn laag en voorspelbaar.

Digitale toegang tot uw kalibratiecertificaten met Mijn KWS

Via het Mijn KWS webportal heeft u altijd en overal beschikking over uw kalibratiecertificaten en gerelateerde documenten.

Verhuur van meetinstrumenten

- Uitgebreid assortiment
- Deskundig advies
- Instrumenten worden geleverd met accessoirepakket en herleidbaar kalibratiecertificaat

EURO-INDEX Academy

- Producttrainingen (individueel en klassikaal)
- Seminars
- Demonstratie- en instructievideo's



Servicebalie



Kalibratie rookgasanalyse



Seminars en workshops



Kalibratie thermografie

Wijzigingen voorbehouden EURO-INDEX® NL 16003



NEderland
Rivium 2e straat 12
2909 LG Capelle a/d IJssel
T: 010 - 2 888 000
F: 010 - 2 888 010
verkoop@euro-index.nl
www.euro-index.nl



BELGIË
Leuvensesteenweg 607
1930 Zaventem
T: +32 - (0)2 - 757 92 44
F: +32 - (0)2 - 757 92 64
info@euro-index.be
www.euro-index.be