

Elektrik Motorlarında Sargı Yalıtım Testleri: PI Testi

Coşkun Arslan

Elektrik Elektronik Yük. Mühendisi
Omaks Bobinaj, Bursa, Türkiye

Özet

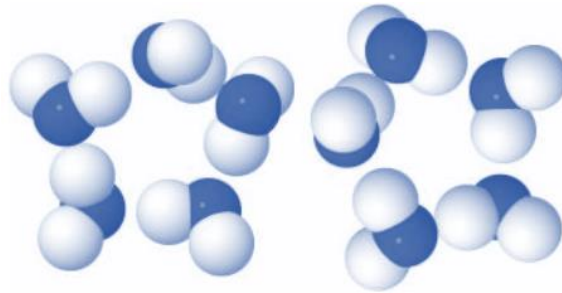
Yalıtım direnci testi, her türlü elektrikli ekipmana uygulanan en yaygın test tekniklerinden biridir. Yalıtımdaki potansiyel zayıflıkların önceden tespitini ve bu zayıflıkların ileride doğuracağı sonuçların erken uyarısını sağlar. Bununla birlikte, dikkat edilmeden ve gerekli tecrübe olmadan yapılan testler pahalı ve rahatsız edici bir kalıcı arızaya yol açabilir. Yalıtım testleri içinde sargı yaşlanma durumunu, kirlilik, nem veya karbonlaşma gibi durumlar hakkında en kolay tespiti PI testi ile yapabiliriz. Peki polarizasyon indeksi (PI) testinin normal bir yalıtım testinden farkı nedir? Bir polarizasyon indeksi testinde, test nesnesinin izolasyon direnci 10 dakikalık bir süre boyunca sürekli olarak ölçülür. Test seti, 10 dakika sonra ölçülen direncin bir dakika sonra ölçülen direncine oranını otomatik olarak gösterir. Bu oran kutuplaşma endeksidir. Yalıtım iyi durumda ise, PI 2.0 veya daha yüksek olacaktır. Sonuç bundan düşükse (oranın 1.0'dan az olması mümkündür) bu bir sorunun göstergesidir. Bu, izolasyon malzemesinin özelliğini kaybetmesine neden olan yüzey kirliliği de olabilir başka bir nedeni de olabilir, ancak 2.0'dan daha düşük olan tüm PI ölçümleri daha fazla araştırma yapılması gerektiğini gösterir.

Anahtar Kelimeler: elektrik motorları, izolasyon, IR, PI, polarizasyon indeksi testi, sargı yalıtımı

1. Giriş

Polarizasyon indeksi (PI), elektrik makinelerinde, elektrik motorunun yaşı arttıkça ortaya çıkan kalite ve yalıtım bozulmasını belirlemek için önemli bir ölçüm metodudur.

İzolasyon, dipolar karaktere sahip milyonlarca molekülden oluşur. Bu, bir molekülün farklı iki kutbu bulunuyor anlamına gelir.



Şekil 1 . Dipol molekül

Polarizasyon genel olarak moleküllerin elektrik alanında dönme ve hizalanma yeteneği olarak ifade edilir. Elektriksel yalıtım görevi olan bu atomlar elektrik alanı altında kutuplaşır. Yalıtım

ne kadar eskiyse, moleküllerin hareketliliği o kadar kötüdür. Sonuç olarak, kutuplaşma azsa elektrik yalıtımı zayıflamış demektir. Bu ciddi motor hasarlarına yol açabilir.

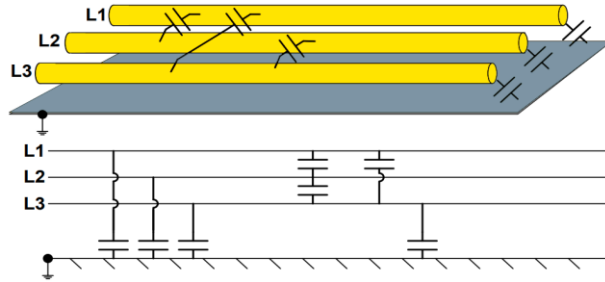
2. Eşdeğer sargı devre şemaları

Test yöntemlerinin işleyişinin daha iyi anlaşılması için genellikle test edilecek sargının eşdeğer devre şeması kullanılır. Bu eşdeğer devre şemaları yardımıyla fiziksel koşulları, ölçümleri, zamansal davranışı göstermek ve analiz etmek daha kolaydır. Bir sargı, sargı endüktansı ve sargı direncinden oluşur.



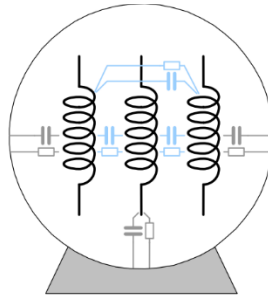
Şekil 2. Sargı endüktansı ve sargı direncinden oluşan eşdeğer devre

Sargılar ve motor gövdesi arasındaki yalıtımın eşdeğer devresi sadece bir dirençten oluşmaz. İki iletken yüzey ve arasında yalıtkan malzeme bulunan her eleman kapasitif etki gösterir. Buradaki kapasitif etki iletken metallerin yüzey alanına, aradaki yalıtkan malzemenin dielektrik özelliğine ve metal yüzeyler arasındaki mesafeye göre değişir. Elektrik motorlarında birden fazla iletken yüzey ile gövde arasında bu etki oluşur.



Şekil 3. İletken yüzeyler arasında oluşan kapasitanslar

Kapasiteler birbirinden izole edilmiş metal yüzeyler arasında oluşur. Yüzey ne kadar büyükse ve/veya her iki metal yüzey arasındaki mesafe ne kadar küçükse, kapasite o kadar büyük olur. Test nesnesinde elektrik sargıları ve gövde burada belirtilen metal yüzeyleri temsil eder. Şekil 4'te, üç sargı arasındaki ve sargılardan motor gövdesine kadar olan kapasiteleri göstermektedir. Yalıtım direnci, doğrudan her bir kondansatöre paraleldir.

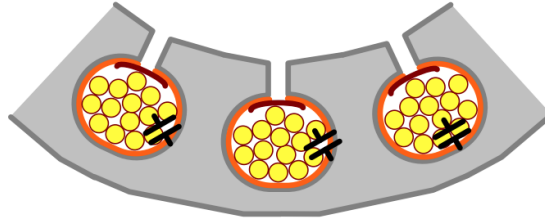


Şekil 4. İletken yüzeyler arasında oluşan kapasitanslar

Sargı ve motor gövdesi arasındaki kapasiteler nispeten yüksektir. Bunun nedeni, sipirlerin ankoş içine sıkı bir şekilde yerleştirilmesindendir. Bu nedenle sac paketine olan mesafe nispeten küçüktür.

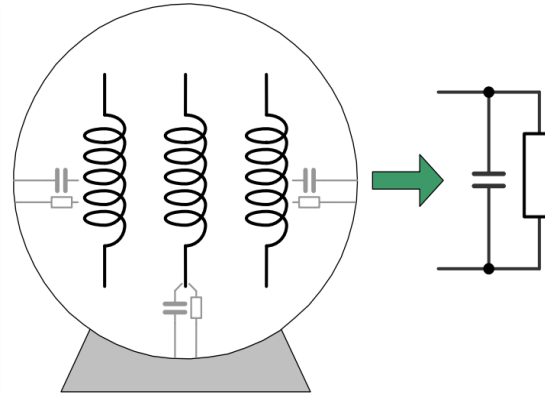
$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (1)$$

Burada C kapasitans değerini, ε aradaki yalıtkanın dielektrik sabitini, A iletkenlerin yüzey alanını ve d iletken yüzeyler arasındaki mesafeyi gösterir. Mesafe küçüldükçe C artar.



Şekil 5. Sargılar ile motor gövdesi arasında oluşan kapasitans

Sargılar ve motor gövdesi arasındaki yalıtım için eşdeğer devre şeması özetle aşağıdaki gibidir. (Şekil 6.)

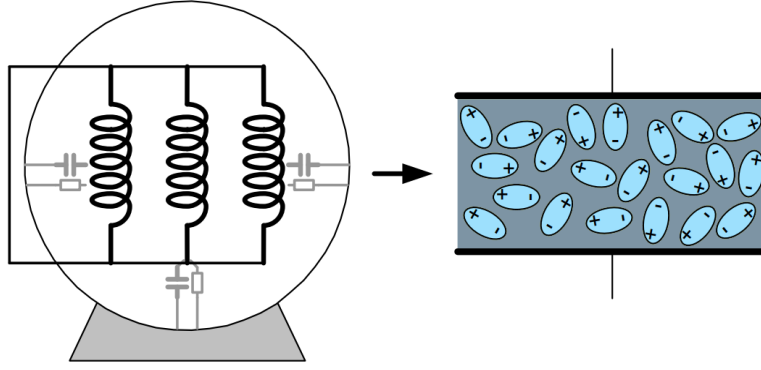


Şekil 6. Sargılar ve motor gövdesi arasındaki yalıtım için eşdeğer devre

Tüm kapasiteler ve yalıtım dirençleri, bir ortak kapasite ve bir ortak yalıtım direnci olarak özetlenmiştir.

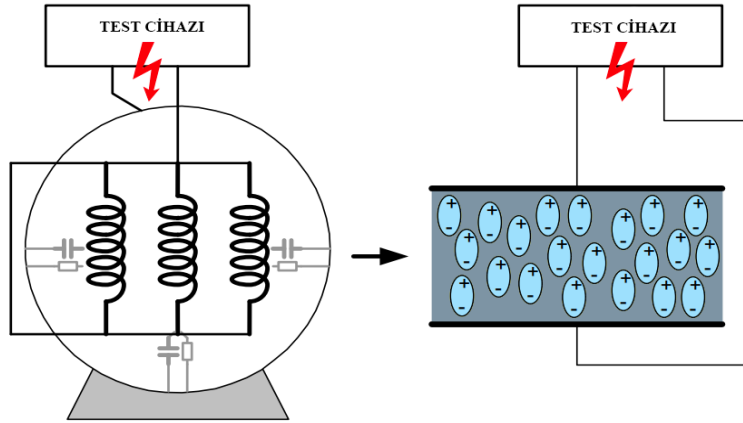
3. Polarizasyon İndeksi

Test edilecek izolasyona gerilim bağlanmamışsa ve yakın zamanda herhangi bir test yapılmamışsa izolasyon malzemesindeki tüm moleküller kaotik diziliş şeklinde dizilidir.



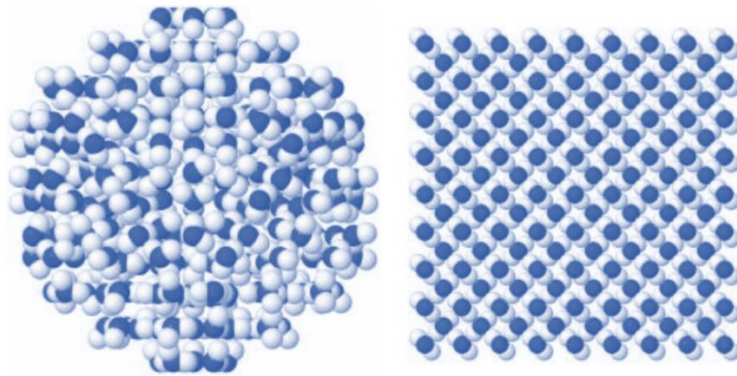
Şekil 7. İzolasyon malzemesindeki kaotik dizili moleküller

Test gerilimi bağlanmasıyla, iki yalıtım yüzeyi arasında (örn. sargı ve stator/motor gövdesi arasında) bir elektrik alanı oluşur. Dipolar olan bu moleküller bu alan boyunca hizalanmaya başlar. Bu işleme polarizasyon denir. Molekülleri hareket ettirmek (polarize etmek) için akım gereklidir. Moleküllerin polarize olmaları tamamlandıkça bu akım seviyesi zamanla azalır. Tüm moleküller polarize olduğunda bu akım değeri sıfır olur. Polarizasyonun sonunda, tüm dipolar moleküller manyetik alan boyunca hizalanmış olur.



Şekil 7. İzolasyon malzemesindeki moleküllerin polarize olması

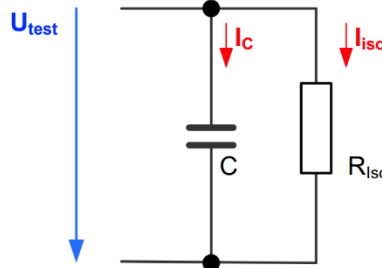
Şekil 8.'de polarizasyon başlamadan önce tamamen dağınık halde bulunan moleküller ile test voltajı bağlandıktan ve polarizasyon gerçekleşikten sonra moleküllerin dizilişi "optimum hizalaması" gösterilir.



Şekil 7. Polarize olmadan önce ve polarize olduktan sonra moleküllerin dizilişi

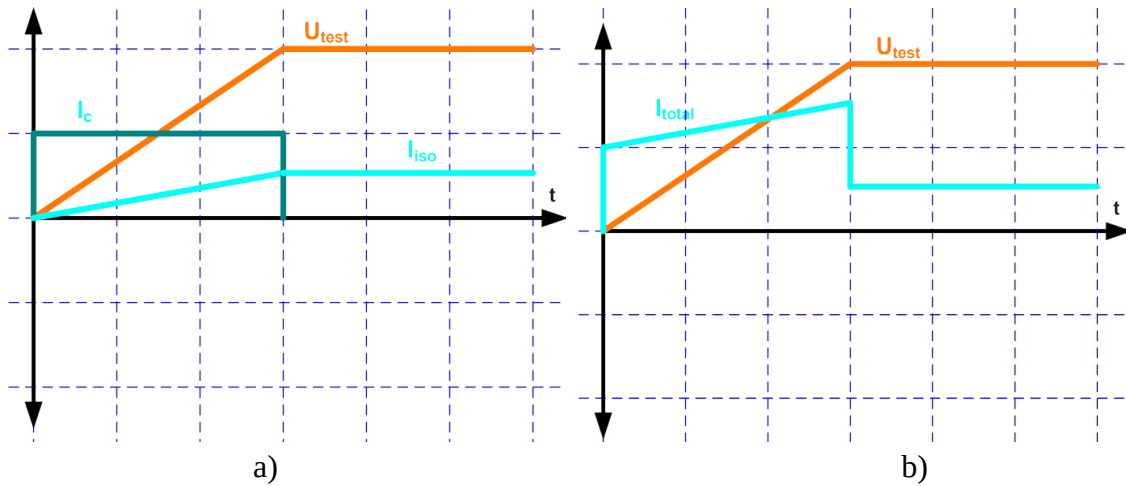
4. Polarizasyonun Ölçülmesi

Polarizasyonu ölçebilmek için, test sırasında akım analiz edilmelidir. Bununla birlikte, akım, birkaç fiziksel tabanlı akım bileşeninden kaynaklandığı için, bunları ayrıntılı olarak anlamak gerekir. Polarizasyon ölçümünün açıklaması, yalıtımın eşdeğer devresi aracılığıyla kolayca anlaşılabilir.



Şekil 8. Bağlı test voltajı ve karşılık gelen akımların bileşenlerinin eş değer devresi

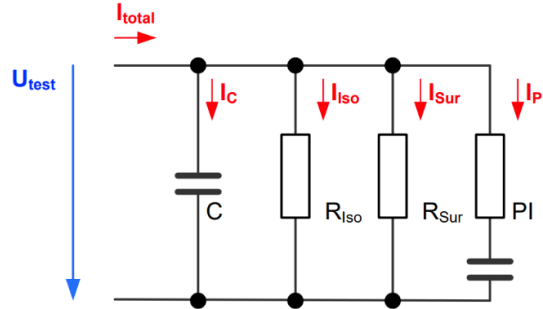
Basitleştirilmiş eşdeğer devrede I_C ve I_{iso} akımlarının olduğunu kabul ediyoruz. Bu akımlarını toplamını I_{total} ile göstereceğiz. Sadece toplam akım dışarıdan ölçülebilir. Eşdeğer devrenin bileşenlerinde meydana gelen akımlar, dışarıdan ölçülebilen toplam akımın temelini oluşturur. Kapasitedeki şarj akımı I_C , yalnızca test voltajı değiştiği sürece oluşur. Voltaj rampa şeklinde değiştiğinden, rampa süresi boyunca şarj akımı sürekli akar. Yalıtım direncinin akımı I_{iso} ise gerilimle orantılı olarak akar. Voltaj arttıkça bu akım da artar voltaj sabit olduğunda ise bu akım da sabittir.



Şekil 9. a) Bağlı test voltajı ve karşılık gelen akımların grafiği b) Toplam akımın grafiği

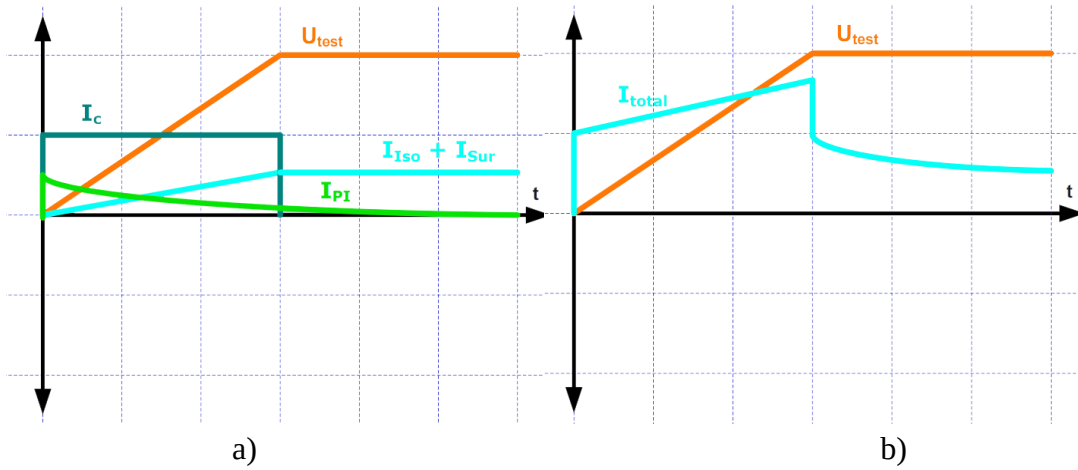
Dışarıdan ölçülebilen toplam akım I_{total} , I_C ve I_{iso} akımlarının toplamına bağlıdır. Bu durum gerçekte de gözlemlenebilir. Fakat burada moleküllerin polarize olması için gereken akım henüz hesaba katılmamıştır. Polarizasyon indeksi testinin doğru anlaşılması için genişletilmiş, daha karmaşık bir eşdeğer devre gereklidir. Hem kapasitansın yüklenmesini hem de polarizasyonla gecikmeli akım düşüşünü simüle etmek gereklidir. Ayrıca test nesnesinde tozlu metal yüzeyler, boş alanlar, bilezikler veya kömürler gibi yalıtımı etkileyen dış etkenlerin de

belirtilmesi gerekir. Bunu eşdeğer devrede yalıtım direncine paralel olarak eklenen R_{Sur} (yüzey direnci) ile ifade edeceğiz.



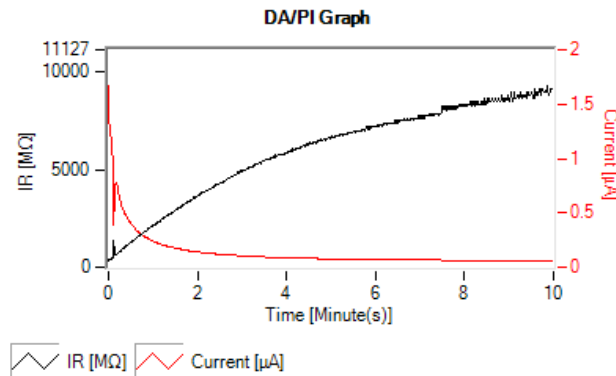
Şekil 10. Yüzey direnci ve akımlarının da gösterildiği gerçek eşdeğer devre

Bu eşdeğer devreye göre oluşan akımlara ait grafik aşağıda (Şekil 11.) gösterildiği gibi olur.



Şekil 11. a) Bağlı test voltajı ve karşılık gelen akımların grafiği b) Toplam akımın grafiği

Akım (I_{total}) gerilim rampası ve istenen test gerilimi U_{test} 'e ulaşıldıktan hemen sonra akım seviyesi I_{Iso} 'ya düşmez, burada düşüş yavaş gerçekleşir ve birkaç dakika sürer. Yaklaşık 10 dakika sonunda polarizasyon akımı azalır ve yalnızca izolasyon direncine denk gelen akım kalır. Bu etki, yalıtkanın polarizasyonu ile ilgilidir. Yavaş yavaş azalan polarizasyon akımı, eşdeğer devrede RC elemanı tarafından sağlanır. RC elemanındaki kondansatör, seri direnç tarafından geciktirilerek yavaşça şarj edilir.



Şekil 12. Gerçek ölçüm sonucu elde edilen IR ve I grafiği

Polarizasyon akımı çok düşük olduğundan, polarizasyon akımının ölçümüne başlamadan önce yüksek akımlı diğer etkiler beklenmelidir. Bu yaklaşık bir dakika olarak kabul edilir. Böylece moleküllerin hareketliliği, başlangıçtaki akım ile polarizasyondan sonraki indirgenmiş akım arasındaki ilişki ile belirlenebilir.

$$PI = \frac{1 \text{ dakika sonundaki akım}}{10 \text{ dakika sonundaki akım}} \quad (2)$$

veya

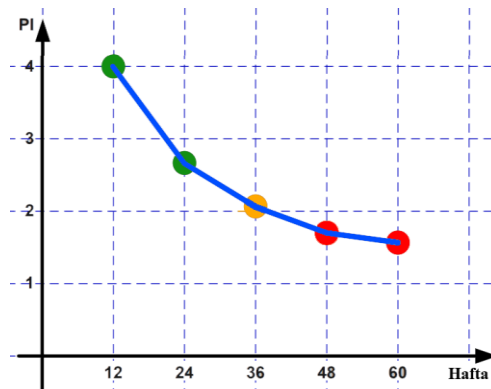
$$PI = \frac{10 \text{ dakika sonundaki direnç}}{1 \text{ dakika sonundaki direnç}} \quad (3)$$

İyi bir izolasyon durumunda, akımın 10 dakika sonunda üç veya dört kat azalması gerekir, çünkü bu süre içinde tüm dipolar moleküllerin polarize olması tamamlanmıştır. Bu, yüksek ve iyi bir PI oranı demektir. Örneğin. PI=4 veya PI=5. Eğer kötü bir yalıtım varsa polarizasyon gerçekleşmez veya çok yavaş gerçekleşeceği için azalmayan bir toplam akım görülür. Bu durumda yalıtımın eskidiği ve kötü anlamına gelir. Bu durumda düşük bir PI oranı hesaplanmış oluruz. Örneğin. PI=1,5 veya daha düşük bir seviye görürüz. Böyle bir elektrik motoruna acilen bakım yapılmalıdır.

Tablo 1. PI oranlarına göre yalıtımın durumu

PI : < 1,2	Kötü
PI : 1,2 ... 1,3	Eski veya yaşlanmış yalıtım
PI : 2 >	İyi
PI: 3 ... 4	Çok iyi

Bu oranlar, yalıtım durumu için bize genel bir bilgi verse de en doğru tespiti yapabilmek için tüm testlerin belli periyotlar halinde yapılması ve uzman kişi tarafından yorumlanması gerekir. Polarizasyon İndeksi (PI) testi, çoklu ölçümlerle yapıldığında önleyici ve kestirimci bakım gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, PI-testi düzenli aralıklarla yapılmalıdır. Şekil 12.'de, her 12 haftada bir düzenli olarak yapılan ölçümleri göstermektedir. Bu trend, zaman içindeki bozulmayı göstermektedir. Makinenin önleyici bakımı, tamamen arıza meydana gelmeden planlanabilir.



Şekil 13. 12 haftada bir düzenli olarak yapılan PI testi

5. PI testi için bilinmesi gerekenler

En sık yapılan hata, diğer testlerden sonra bir PI testi gerçekleştirmektir. PI testini yalıtımı test ettikten veya yüksek gerilim DC testi yapıldıktan sonra tekrar yapılması durumunda hatalı bir ölçüm yapılmış olur. Burada moleküller önceden polarize edilmiş olacağından test yanlış ölçüm sonuçlarına yol açar. Önceden zaten DC testi ile bir test yapıldıysa (bunun bir yalıtım veya yüksek gerilim testi olması fark etmez) yalıtımda tüm sargı uçlarını birbirine ve test nesnesinin gövdesine kısa devre yapılarak depolanan enerjinin boşaltılması gerekir. Boşaltma en az 1 saat süreyle yapılmalıdır.

Ayrıca yalıtım direnci $5G\Omega$ 'dan büyükse, PI testi yapmanın bir anlamı yoktur. $\geq 5G\Omega$ 'luk bir direnç zaten o kadar iyidir ki bazı sargı boyutlarında hiçbir PI etkisi görülemez. Yalıtım dirençlerinin çok iyi olduğu durumlarda yanlış yorumlara bile yol açabilmektedir. Yalıtım direncinin çok iyi olduğu durumlarda polarizasyon daha kısa bir süre sonra biter. 1 dakika ve 10 dakika sonraki akım oranları bu yüzden daha küçük olur. Bu, PI'nin çok kötü olduğu yorumuna yol açabilir.

6. Örnek bir IR ve PI testi

Tester Type:Dx Serial Number:12265 Firmware version:1.2.2.0 Configuration:DXHost

Temperature [°F] --- Relative Humidity [%] 0.0

IR Results

Voltage [V]	I [μ A]	IR [$M\Omega$]
510	0.242	2107

DA/PI Results

Voltage [V]	DA Ratio	PI Ratio
510	4	4.2

HiPot Result

Voltage [V]	I [μ A]	IR [$M\Omega$]
2010	0.748	2687

DA/PI Results

Time [Minute(s)]	Voltage [V]	I [μ A]	IR [$M\Omega$]
00:15	510	0.655	778.63
00:30	510	0.411	1240.88
00:45	510	0.304	1677.63
01:00	510	0.242	2107.44
01:30	510	0.176	2897.73
02:00	510	0.141	3617.02
02:30	510	0.120	4250.00
03:00	510	0.103	4951.46
04:00	510	0.087	5862.07
05:00	510	0.077	6623.38
06:00	510	0.071	7183.10
07:00	510	0.067	7611.94
08:00	510	0.062	8225.81

09:00	510	0.059	8644.07
10:00	510	0.057	8947.37

