



Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi

Dergiye Geliş Tarihi: 09.07.2014
Yayına Kabul Tarihi: 19.12.2014

Baş Editör: Bilge Hilal Çadırcı
Alan Editörü: Gülistan Erdal

Güç Trafolarında Arıza Tespitine Yönelik Gelişmiş Tanı Testleri

Nihat PAMUK¹ (nihatpamuk@gmail.com)

TEİAŞ 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü
Test Grup Başmühendisliği, 54100, Sakarya

Özet – Enerji, dünyadaki ekonomik ve sosyal kalkınmanın en temel verilerinden birisidir. Elektrik enerjisine olan talebin gün geçtikçe artması elektrik enerjisinin tüketiciye kesintisiz, yüksek verimde ve ekonomik biçimde ulaştırılmasıyla sağlanmaktadır. Bu nedenle, elektrik üretim, iletim ve dağıtım şirketleri sorumluluk alanlarında yer alan binlerce güç trafosunun durumlarını önceden bilmeleri ve gerekli tedbirleri arıza olmadan önce tespit etmeleri büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, güç trafolarının arıza tespitine yönelik gelişmiş tanı testleri detaylı olarak incelenmiştir. Güç trafosundaki arıza tespit çalışmalarında önemli rol oynayan faktörler açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler –
Güç faktörü, kısmi
deşarj, polimerizasyon

Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research 10 (2014) 25-35

Advanced Diagnostic Tests towards Fault Diagnosis in Power Transformers

Abstract – Energy is one of the most basic data of economic and social development in the world. The demand for electrical energy increasing day by day is achieved to consumers of electric energy by continually, high efficiency and economically. Therefore, electricity generation, transmission and distribution companies located in the area of responsibility to know the status of thousands power transformers faults before and to identify necessary measures are paramount significance. In this study, advanced diagnostic tests of power transformers for fault diagnosis have been investigated in detail. Some of the most important factors are explained in the power transformer fault diagnosis tests.

Keywords –
Power factor, partial
discharge,
polymerization

Received: 09.07.2014

Accepted: 19.12.2014

¹Nihat Pamuk

1. Giriş

Elektrik sistemlerinin temel görevi enerjiyi en ekonomik şekilde, kabul edilebilir bir güvenilirlik ve kalite seviyesinde son tüketiciye kadar iletilmesini sağlamaktır. Sistemin güvenilirliği de sistemi oluşturan elemanların güvenilirliğine bağlıdır (Teiaş, 2004). Sistemdeki en temel ve en önemli teçhizat güç trafolarıdır. Arızaların önlenmesinde güç trafolarının iyi işletme şartlarında çalıştırılması çok önemlidir. Enerji sistemlerinde güvenli sistem alt yapısı için varlıkların oluşturulması ne kadar önemli ise oluşan varlıkların etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi de oldukça önemlidir. Bu varlıkların içersinde en kıymetli yeri işgal eden güç trafolarının; hem fonksiyonları hem de ekonomik değerleri diğer varlıklarla karşılaştırıldığında en büyük bedeli oluşturmaktadır. Özellikle güç trafolarında çok büyük arızalarla karşılaşmanın ve bu arızaların meydana getirdiği çok ciddi finansal ve teknik problemlerden korunmanın yolu, uygun teknik cihazlarla donanmış ekip ve teçhizatlarla önceden arızaları saptama ve gidermeyi ilke edinmiş bir çalışma ortamının oluşmasını sağlamaktır. Enerji sistemlerinde problemleri önlemek ve trafoların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için düzenli olarak testlerinin yapılması ve koruyucu bakım standartlarına uyulması gerekmektedir.

Güç trafoları elektrik sisteminin en önemli elektromekanik elemanıdır ve fiziki olarak çok büyük hacme sahiptir. Güç trafoları, nüve-sargı-tank dışında buşing ve soğutma sistemi parçaları olan teçhizatlar (İlkkahraman, 2008). Yirmi birinci yüzyılın son çeyreğinde güç trafoları, gelişen nano teknolojisi sayesinde üretilen amorf saçları, soğutma ve izleme yöntemleriyle donatılmıştır. Fiber optik sargı ısı sensörleri, programlanabilir mantık kontrol (PLC) üniteli soğutma sistemi yapısı, koruma elemanları alarm bilgilerinin alınması, yalıtım yağında çözünmüş gaz artışının ve diğer alarmların eş zamanlı uzaktan izlenebilme özellikleri sayesinde teknolojik bir ürün haline almıştır (Bartley, 2003). Güç trafosu yardımcı donanımlarının fabrika ortamında birleştirilerek test ve deneylerinin yapılması gerekmektedir. Test sonuçlarına göre trafoyu servise alma işlemi gerçekleştirilmektedir. Güç trafosu testleri, müşteri tarafından verilen talimatlar ve uluslar arası standartlarda belirtilen koşullara uygunluğunun doğrulanması amacı ile yapılır. Günümüzde trafo arızası tespitinde kullanılan temel ve standart elektriksel testlerin kapsamlı paketi, ilgili kullanım süreleri açısından farklılık gösterir. Güç trafosu arızasında kullanılan testler aşağıda verilmiştir (Odoğlu, 2005):

- Çevirme oranı ve bağlantı grubu kontrolü,
- Sargı dirençlerinin ölçülmesi,
- Kısa devre kayıpları ve geriliminin ölçülmesi,
- Boştaki kayıp ve boştaki akımın ölçülmesi,
- Yalıtım testleri,
- Darbe testleri,
- Uygulanan gerilim testi,
- İndüklenen gerilim testi,
- Sıcaklık artış (Isınma) testi,
- Gürültü (Ses) seviyesi ölçümü,
- Sıfır empedans ölçümü,
- Akım ve gerilim harmonikleri ölçümü,
- Yalıtkanlık direnci ölçümü,
- Yağda çözünmüş gaz analizidir.

Arıza tespitine yönelik ölçümler olan ve bu çalışmanın konusu olan gelişmiş tanı testleri ise aşağıdaki testleri içermektedir.

- Polimerizasyon indeksinin belirlenmesi,
- Kısmi deşarj ölçümü,
- Güç ve kayıp faktörü ölçümü,
- Frekansa bağlı güç faktörü ölçümü

2. Polimerizasyon İndeksinin Belirlenmesi

50 Hz civarındaki frekans aralığında iki tip polimerizasyon indeksi bulunmaktadır. Bu indeksler; ara yüzey polimerizasyonu (0.0003Hz) ve moleküler polimerizasyondur (10kHz). Selüloz ve yağ gibi benzemeyen maddeler birleştirildiğinde, ara yüzey polimerizasyon süreci gerçekleşir. Ara yüzey polimerizasyonu, farklı elektriksel geçirgenliğe veya iletkenliğe sahip homojen olmayan dielektrik malzemeler için tipik bir özelliktir. Ara yüzeylerde iyonlar gibi uzay yükü taşıyıcıları birikerek dipol benzeri bir davranış ile bulutlar oluştururlar (Erge, 2011).

Ara yüzey polimerizasyonu, uzay yükü taşıyıcılarının yayılma hızı ile yalıtım geometrisinin bir işlevi olarak kat ettikleri mesafeler arasında gerçekleşen rezonanstır (Yağ, bariyerler ve ara parçalar arasındaki orandır). Selüloz ile yağ arasındaki ara yüzey polimerizasyonu daha düşük frekanslarda meydana gelir. Kuru ve soğuk yalıtım sistemleri için 1 mHz, nemli ve sıcak yalıtım sistemleri için 10 Hz'dir (Özkan, 2007). Selüloz ve yağ yalıtım sistemlerinde her bir moleküler yapı polimerizasyon indeksini meydana getirir. Bu moleküler kayıplar 10 kHz'ye kadar yükselebilirler. Bu kayıplar 60 Hz'de veya civarında güç faktörü değerlerinin sağlıklı yalıtım sistemlerinin frekansı ile orantılı olarak hafif artmasına ve azalmasına neden olurlar (Erge, 2011).

3. Kısmi Deşarj Ölçümü

Yalıtkan malzemelerin özelliklerinin kalitesi ve tasarımı hakkında en iyi bilgi veren ölçmelerden birisi de, kısmi deşarj ölçümüdür. Bir yalıtım düzeninin hazırlanışı sırasında, yalıtkan malzemelerde, bazen küçük kusurlu yerler veya homojen olmayan noktalar meydana gelir. Kısmi deşarj sözü; iki iletken arasındaki yalıtkanın belirli bir bölgesi ile sınırlanmış ortamda, elektriksel alan tarafından meydana getirilen zayıf enerjili deşarjlar, anlamındadır. Sürekli ve süratli olarak yükselen ve düşen darbeler, giderek zaman içinde gaz oluşumuna, erken yaşlanmaya ve hatta yalıtkanın delinmesine neden olabilirler.

İşletme güvencesi ve ömür yönünden trafonun kısmi deşarjsız olması gereklidir. Bir trafonun içindeki herhangi bir arıza kaynağında oluşan kısmi deşarjların ölçümü, güç trafosunun ölçüm noktasının karmaşık yapısından ötürü mümkün değildir. Ancak sargı sonlarına yansıyan büyüklükleri ölçülebilir. Yalıtkanın kabul edilebilir bir kısmi deşarj noktasındaki elektriksel deşarj büyüklüğü, bu bölgedeki yalıtkanın bozulması için tam ve direkt bir ölçü değildir. Sayısal değer yanında, darbenin şiddeti, formu ve bölgesel deşarj yoğunluğu, yalıtkanın yapılışı ve düzenlenişi önemli rol oynamaktadır. Şekil 1'de kısmi deşarj görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 2'de bir yalıtkanın kısmi deşarj oluşumunu gösteren basit şeması verilmiştir.

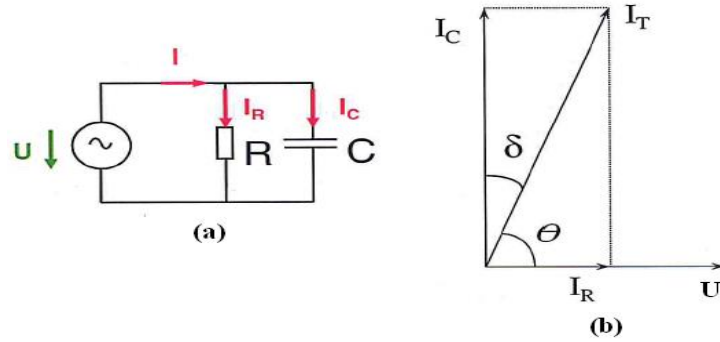
- Elektriksel stres,
- Termik stres,
- Mekanik streştir.

Güç trafosunda yaşanan kısmi deşarjların başlıca etkileri ise (Pustu, 2013);

- Yalıtım malzemesinin tahribatı,
- Ağaçlanma ve zincir reaksiyonu,
- Isınma,
- İzolasyon bozulması ve kısa devredir.

4. Güç ve Kayıp Faktörü Ölçümü

Güç faktörü ölçümü, Tan δ olarak ta adlandırılır. Güç faktörü ölçümünde trafo sargıları ve tankı doğal bir kapasite gibi değerlendirilir. Kapasite, yalıtkan malzemenin özelliklerine ve elektrotların yapısına çok bağlıdır. Malzemenin özelliklerinde ve elektrot düzeninde bir değişme olursa, ölçülecek kapasite değerinde de bir değişme olur (Odoğlu, 2004). Şekil 3’de basit bir kapasitenin eşdeğer devresi ve vektör diyagramı gösterilmiştir.

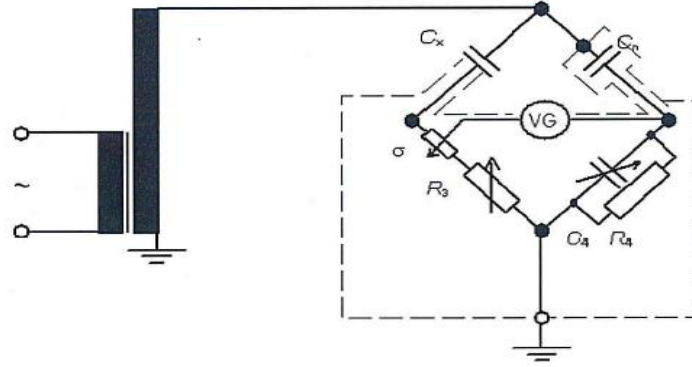


Şekil 3. Kapasite eşdeğer devresi ve vektör diyagramı

Şekil 3’de görüldüğü gibi yalıtkindan toplam “I” akımı akacaktır. Bu akımın kapasitif “ I_C ” ve omik “ I_R ” iki bileşeni mevcuttur. Kapasite değerinin yanında, toplam akım “I” ile kapasitif akım “ I_C ” arasındaki açı δ ve omik akım “ I_R ” arasındaki açı ϕ , yalıtkanın durumu hakkında bilgi veren temel faktörlerdir. Burada; güç faktörü: $\cos \phi = I_R / I_T$, kayıp faktörü: $\tan \delta = I_R / I_C$ ‘dir. Güç faktörü, elektrik sisteminin verimliliğini tanımlamada kullanılır. Sadece yalıtım sistemleri için kullanılmayıp, farklı boyutlardaki yalıtım sistemlerinin bağlı kayıplarını karşılaştırmaya yönelik bir indekstir.

Kayıp faktörü (açısı) yalıtım malzemesinin kalınlığına ve yüzeyine, yalıtkanın özelliğine, malzeme cinsine bağlıdır. Yalıtkanın kullanımı ile birlikte yaşanacak ve kayıpları da yükselecektir. Nem veya kimyasal etkilerle kayıplar artarken, olabilecek fiziksel bozulmalar da kayıpları etkileyecektir. Çoğunlukla yalıtkanın kayıplarını doğuran koşullar ve nedenler yalıtkanın dayanımının azalması sonucunu da doğururlar. Bu nedenle, belli bir frekansta yalıtkan maddesi hakkında, kayıp açısı ölçümü, belirli bir fikir veren esas ölçüdür. İşletme sırasında da yapılacak ölçümler, yalıtımın genel durumunu gösteren önemli göstergelerden biri olup, katı yalıtımın yaşlanması veya yağın bozulması durumu, şüpheli ve arızalı trafolardaki tespit için arızanın yeri ve olası nedenleri hakkında bilgi

verir. Kapasite, $\tan \delta$ aktif kayıp ve $\cos \phi$ Schering köprü yöntemi ile ölçülür. Şekil 4’de Schering köprü yöntemi gösterilmiştir.



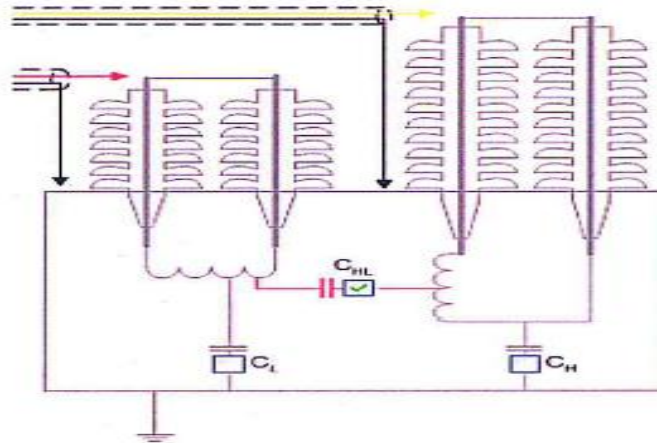
Şekil 4. Schering köprü yöntemi devresi

Schering köprü yöntemi denge prensibine göre çalışır. Denge prensibi değerleri denklem 1 ve denklem 2 ile hesaplanır.

$$\tan \delta = \omega \cdot C_4 \cdot R_4 \quad (1)$$

$$C_x = C_n \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} \right) \quad (2)$$

Güç trafosunda kapasiteyi oluşturan iletkenler sargılar ve tank elemanlarından, yalıtkan ise yalıtım yağı, yalıtım bandajları ve diğer selülozik yapılardan oluşur. Şekil 5’de iki sargılı güç trafosunun kapasitelerini gösteren basitleştirilmiş bir yapı verilmiştir.



Şekil 5. İki sargılı güç trafosuna ait kapasitelerin basit gösterimi

CH: Yüksek gerilim sargıları ile tank arasındaki kapasite değeri,
 CL: Alçak gerilim sargıları ile tank arasındaki kapasite değeri,
 CHL: Sargılar arası kapasite değeri,
 CH+CHL: Yüksek gerilim sargıları ile tank-sargılar arasındaki toplam kapasite değeri,
 CL+CHL: Alçak gerilim sargıları ile tank-sargılar arasındaki toplam kapasite değeri,
 CL+CH: Yüksek gerilim – alçak gerilim sargıları ile tank arasındaki toplam kapasite değeridir.

Güç faktörü testi 10 kV'nin altındaki gerilim seviyelerinde teçhizatın gerilim seviyesi cinsinden, daha yüksek gerilim seviyesindeki teçhizatlarda ise test gerilimi olarak 10 kV uygulanarak yapılır. Ölçmeler sırasında, ortamın nem ve sıcaklığı ile trafonun sıcaklığının da kaydedilmesi gereklidir. Kayıp faktörü sıcaklığa bağlı olarak çok değişir. Bu nedenle daha sonra karşılaştırma yapılabilmesi için referans sıcaklığa (20 °C) bir çarpan kullanarak dönüştürülmesi gerekir (ANSI/IEEE std C57.12.90, 2006). Dönüştürülmede kullanılan düzeltme bağıntısı denklem 3'de verilmiştir.

$$F_{20} = \left(\frac{F_t}{K}\right) \quad (3)$$

Denklem 3'de F_{20} , 20 °C'deki kayıp faktörünü, F_t , t ölçme sıcaklığındaki kayıp faktörünü, K ise düzeltme faktörünü belirtmektedir. Aşırı nemli, yağışlı ve çok soğuk ortamlarda sonuçlar çok olumsuz etkileneceğinden, ölçüm yapmaktan kaçınılmalıdır.

Kayıp faktöründen elde edilen arıza tespit bilgileri (Yılmaz, 1983) ve (Allan, 2005);

Bushingler için;

- Yaşlanma,
- Nem,
- Yetersiz bağlanmış elektrotlar veya kapasitif tabakalar,
- İzolasyondaki çatlaklar ve kısmi deşarjlardır.

Trafo için;

- Yaşlanma,
- Kâğıtta nem,
- Yağın iletkenliğidir.

Güç faktöründen elde edilen arıza tespit bilgileri (Çubukçu, 1991);

Bushingler için;

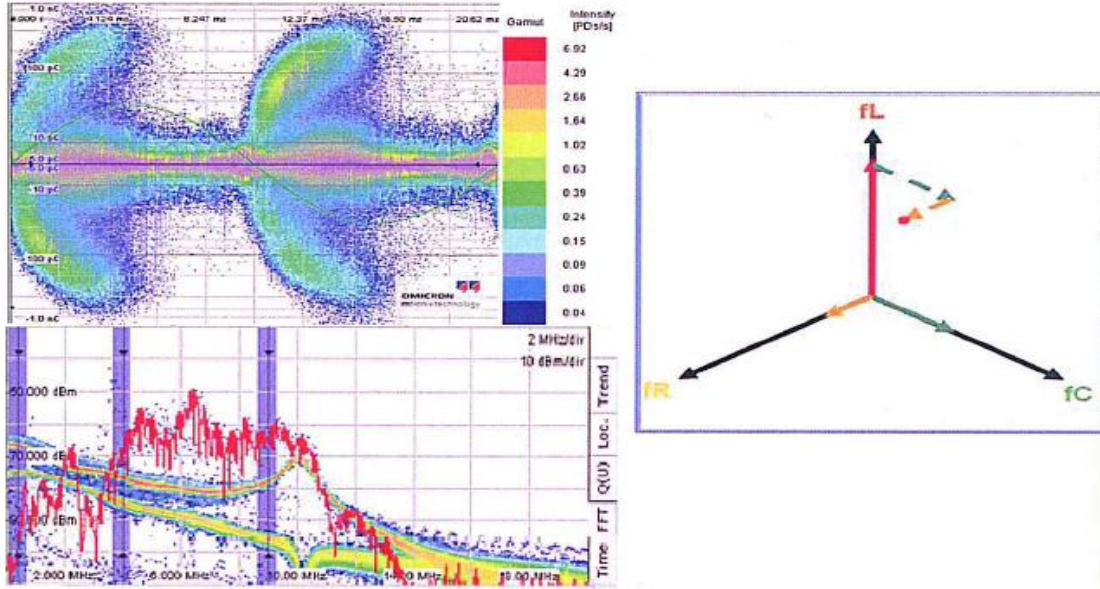
- Tabakalar arasında kısmi delinmeler,
- Çatlaklardaki yağ tabakaları,

Trafo için;

- Sargılar arası uzaklık ölçülerinin değişimi,
- Sargılar ile tank arasındaki aktif parçanın yer değiştirmesi,
- Sargılar ile çekirdek arasındaki sargı veya çekirdeğin yer değiştirmesi,
- Çekirdek ile tank arasındaki çekirdeğin hareketidir.

5. Frekansa Bağlı Güç Faktörü Ölçümü

Yalıtım sisteminin bütünlüğünü belirlemek için şebeke frekansında tek bir güç faktörü ölçümü kullanılmaktadır. Bu test sırasında ölçülen değerlerden elde edilen hesaplanmış bileşke, test altındaki numunenin ortalama durumunu gösteren bir indekstir. Şekil 6'da frekansa bağlı güç faktörü ölçüm grafiği gösterilmiştir.



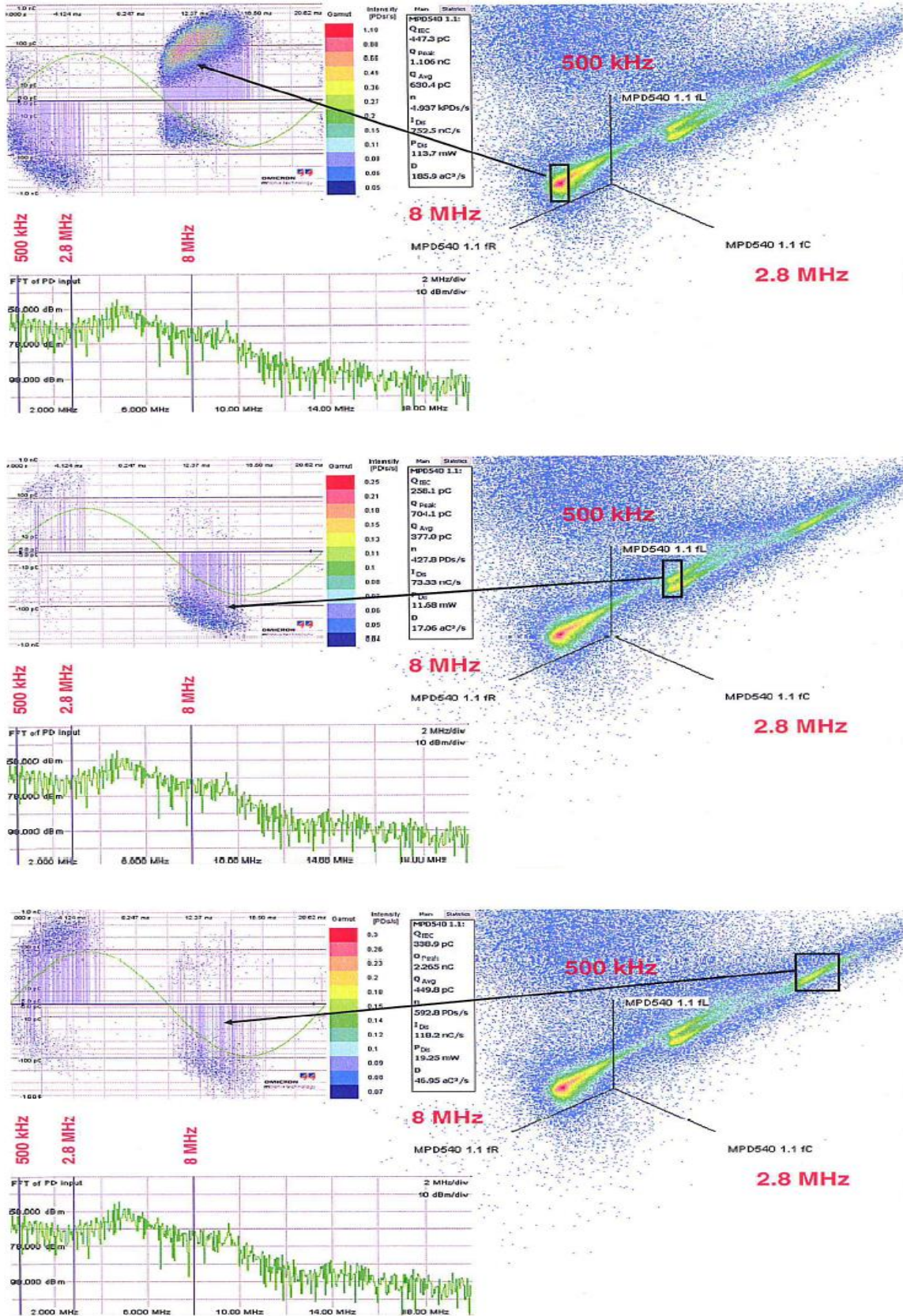
Şekil 6. Frekansa bağlı güç faktörü ölçümü

Kirlenmiş veya bozulmuş bir yalıtım sistemi, yüksek bir güç faktörü sonucunu ortaya koyacaktır. Bir numunenin güç faktörü, önceki güç faktörü ile veya benzer şekilde test edilen cihazdan elde edilmiş beklenen bir değer ile karşılaştırıldığında, numunenin durumunu ve kayıplarının artmış olduğunu belirlemek mümkündür. Ancak nem, yaşlanma, birikinti, yağ iletkenliği veya bunların kombinasyonuna işaret eden bu kayıpları ayırt etmek ve karakterize etmek imkânsızdır. Bu artmış kayıplar dış çevre koşullarının etkisini de yansıtır olabilir. Ancak, söz konusu etkilerin rol oynayıp oynamadığını belirlemenin yöntemleri mevcuttur. Buna karşılık bir “frekans bandında” güç faktörü ölçümünü sağlayan teknikler kayıpların ayırt edilmesini kolaylaştırır.

Söz konusu gelişmiş teknikler yalıtım sistemi tehlikede olduğu durumda test cihazını alarma geçirmektedir. Öte yandan bu tür bir gözlem şebeke frekansındaki tek bir güç faktörü ölçümü ile henüz anlaşılmamaktadır. Güç faktörü veya kayıp faktörünün grafik anlatımı, frekans işlevi olarak temelde daha çok “dielektrik frekans yanıt” testleri olarak bilinen yöntemler grubuna ait olan, “frekans bölgesi spektroskopi testi” olarak bilinen test ile gerçekleştirilir. Şekil 7’de frekans bölgesi spektroskopi test görüntüsü gösterilmiştir.

Frekans bölgesi spektroskopi testi ile 10 MHz - 0.1 mHz gibi geniş bir frekans aralığındaki yalıtım sistemlerinin özellikleri ölçülür ve modellenir. Bu durum genel yalıtım sistemi dahilindeki polimerizasyon indeksi kayıplarının, iletken kayıplarının ve yaşlanan yan ürünlerin etkilerinin birbirinden ayırt edilmesini sağlamaktadır (Çuhadaroğlu, 2013).

Nem, iletkenlik ve yalıtım geometrisi düzeylerini belirlemek üzere analiz algoritmaları uygulanır. Mineral yağ ve selülozdan oluşan bir yalıtım sisteminde hem polimerizasyon hem de iletkenlik olayları gerçekleşir. Bu iki olay eşzamanlı olarak meydana gelir ve etkilerini ayırt etmek için süper pozisyon teoremi uygulanır. Nem, sıcaklık ve yaşlanan yan ürünler polimerizasyon ve iletkenlik bölgelerini etkiler. Söz konusu trafo malzemelerini (polimerizasyon kayıpları ve iletken kayıpları) rastgele seçilmiş bir frekansta ayırtmak mümkün değildir (Moser, 1983).



Şekil 7. Frekansa bölgesi spektroskopisi testi

6. Sonuçlar

Elektrik sisteminde yatırımlar yapılarak güvenli sistem alt yapısı için varlıkların oluşturulması ne kadar önemli ise, oluşan varlıkların etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi de oldukça önemlidir. Bu varlıkların içerisinde en kıymetli yeri işgal eden güç trafolarının; hem fonksiyonları hem de ekonomik değerleri diğer varlıklarla karşılaştırıldığında en büyük bedeli oluşturmaktadır. Modern yöntemlerle işletmecilik ve yönetim yapıları güç sistemi işletmelerinde tüm mal varlıklarının etkili yönetimi, finansal performans açısından son derece önemlidir. Bu durumun gerçekleştirilebilmesi için izlenecek stratejiler, risk değerlendirmeleri ve kullanılan malzemelerin sağlamlığıdır.

Özellikle güç trafolarının kalan kullanım ömürlerinin değerlendirilmesi ve arızaya dayalı bakımlarının çok ciddi takip ve uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Son yıllarda güç trafolarının sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için birçok test yöntemleri ve cihazları geliştirilmiştir. Güç trafolarında çok büyük arızalarla karşılaşmanın ve bu arızaların meydana getirdiği çok ciddi finansal ve teknik problemlerden korunmanın yolu, uygun teknik cihazlarla donanmış ekip ve donanımlarla önceden hataları saptamaktır. Güç trafosunda yaşanan sorunun erken fark edilmesi problemin gelişim sürecini yavaşlatmakta, istenmeyen enerji kesintilerini önlemekte ve enerji kalitesinin devamı açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Allan, D., Maintaining assest performance, Doble Eng. Co., Ankara, 2005; 1(3): p. 6–12.
- ANSI/IEEE std C57.12.90, Standart test code for liquid immersed distribution, Power Andregulating Transformer, 2006.
- Bartley, W.B., Analysis of transformer failures, International Association of Engineering Insurers 36th Annual Conference, Stockholm, 2003, p. 1–5.
- Çubukçu, Z., Kısa devre neticesinde sargı şekil bozukluğuna uğramış transformatörler, TEK Elektrik Üretim İletim Müessesesi Test Grup Başmühendisliği, İstanbul, 1991; 91(47): p. 1-3.
- Çuhadaroğlu, H., Uyaroğlu, Y., Sönmez, G., Yılmaz, H., Güç transformatörlerinde güç faktörü testleri ve enerji kalitesine etkileri, 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 2013, p. 271-273.
- Erge. E.B., Sürekli polimerizasyon işletmelerinde ürün geçiş miktarının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011.
- İlkkahraman, M., Güç transformatör arızalarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- Moser, H.P., Transformerboard, Weidmann Co., USA, 1983, p. 104-108.
- Odoğlu, H., Transformatör deneyleri, Bileşim Yayınevi, İstanbul, 2005, p. 85–98.

Odoğlu, H., Transformatör test tekniđi, AREVA, İstanbul, 2004, p. 4–47.

Özkan, G., Çalışkan, İ., Sürekli karıştırmalı polimerizasyon reaktörünün benzetimi ve kontrolü, 4th Otomasyon Sempozyumu, Samsun, 2007.

Pustu, M., Güç transformatörleri ve saha testleri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, 2013.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (Teiaş), Elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliği, 10 Kasım 2004 Tarihli ve 25639 Sayılı Resmi Gazete, 2004.

Yılmaz, F., Trafo arızaları ve giderilmesi, TEK Batı Anadolu Şebeke İşletme Grup Müdürlüğü Hizmet İçi Eğitim Notları, İzmir, 1983, p. 1-6.