

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN
GÜVENİLİRLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

İlkin ABDULLAYEV

Danışman

Prof. Dr. Saadettin AKSOY

İstanbul-2021

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : İlkin ABDULLAYEV

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Güç transformatörlerinin güvenilirliğinin artırılması

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Elektrik-elektronik mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 03/08/2021

Sayfa Sayısı : 63

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Saadettin AKSOY

Dizin Terimleri : Güvenilirliğin artırılması, DGA analizi, karşılaştırılmalı analiz

Türkçe Özet : Bu tez çalışmasında güç transformatörlerinin modern teşhis yöntemleri incelenerek güvenilirliğinin artırılması için öneriler sunulmuştur.Araştırmada , CNIM Group firmasına ait iki 110/15 kV 63MVA ve 15 / 0.690 kV 2MVA Siemens transformatör kullanılmıştır.Çalışmanın amacı, güç transformatörlerinin güvenilirliğini artırmak için modern teşhis ve izleme sistemlerini ve bunların pratik uygulamalarını incelemektir.

Dağıtım Listesi :
1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İlkin ABDULLAYEV

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN
GÜVENİLİRLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

İlkin ABDULLAYEV

Danışman

Prof. Dr. Saadettin AKSOY

İstanbul-2021

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

İlkin ABDULLAYEV

.../.../2021



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlkin ABDULLAYEV'in, "Güç Transformatörlerinin Güvenilirliğinin Arttırılması" adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Elektrik Elektronik Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Prof. Dr. Saadettin AKSOY

(Danışman)

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Khalid O. Moh. YAHYA

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif ŞENOL

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen üyelerine ait olduğunu onaylarım

.../.../2021

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışmasında güç transformatörlerinin modern teşhis yöntemleri ve pratik uygulamaları incelenerek güvenilirliğinin artırılması için öneriler sunulmuştur.

Çalışmada , CNIM Group firmasına ait 110/15 kV 63MVA ve 15 / 0.690 kV 2MVA Siemens transformatörü kullanılmıştır.

Tez 3 bölümden, oluşmaktadır. Birinci bölümde problemin mevcut durumu incelenerek, transformatörlerdeki sorunlar, arıza ve aşınmanın ana nedenleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, transformatörlerin teşhisinde kullanılan yöntemler, gerçek zamanlı izleme cihazları, özellikleri ve avantajları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde ise transformatörün DGA analizinde kullanılacak cihazlar ve çalışma prensipleri hakkında gerekli bilgiler verilmiş, çalışmada kullanılan iki transformatörden ayda iki kez yağ numunesi alınarak kromatografik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları farklı teşhis yöntemleriyle değerlendirilerek, iki farklı transformatör ile ilgili numunelerin analiz sonuçları arasındaki farklar belirlenip, transformatörlerin güvenilir çalışma olasılığı ve DGA analizi incelenmiştir. Transformatörün MATLAB/SİMULİNK yazılım ortamından matematiksel model oluşturularak farklı yük yüzdeleri için gerilim ve akım karakteristikleri incelenmiştir.

Sonuç olarak tez çalışmasında ele alınan Siemens marka transformatörler için diagnostik yöntemi seçilmiş olup, kromatografik ve termografik analizleri yapılmıştır. Transformatörler için tanımlanan matematiksel modellere ilişkin Matlab/Simulink benzetimleri ile yağ delinme gerilimleri belirlenerek, transformatörlerin güvenilir bir şekilde çalışmaya devam edip etmeyecekleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirliğin artırılması, DGA analizi, karşılaştırılmalı analiz

SUMMARY

In this thesis, modern diagnostic methods and practical applications of power transformers are examined and suggestions are presented to increase their reliability. The objectives of research are 110/15 kV, 63MVA and 15/0.690 kV, 2MVA two Siemens transformers from “CNIM Group”.

Dissertation consists of three chapters, result and used bibliography parts.

In the first chapter, research objective is being investigated comparatively with some scientific-research works, current situation of the given problem is being studied.

In the second chapter, methods used in diagnosing of transformers, current real-time monitoring devices, their characteristics and advantages were examined.

In third chapter, transformer device which will be used for DGA analysis and its working principle were introduced, chromatographic analysis was carried out by taking oil sample two times once a month from two transformers. Analysis results were evaluated using different diagnostic methods, by defining the comparison between two different sample analysis results, reliable usage of transformers were determined and next DGA analysis date was fix. Current and voltage characteristics in different loading percentages were observed by MATLAB mathematical model of transformer. As a result, in dissertation diagnostic method of transformer was chosen, Siemens transformers were analyzed with chromatographic, termo-graphic analysis, breakdown voltage of transformer oil was defined and reliable work of transformer was determined, mathematical model of transformer was developed and different load conditions were observed.

Keywords: Increasing reliability, DGA analysis, comparative analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLULARLİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KONU HAKKINDA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1 Giriş.....	3
1.2 Transformator İzolasyon Aşınması ve Artık Ömür.....	10
1.3 Transformator Arızalarının Sonuçları.....	11

İKİNCİ BÖLÜM

TRANSFORMATÖRLERİN MODERN TANI YÖNTEMLERİ

2.1. Yağda Salınan Gazların Analizi.....	13
2.2. Duvar Üçgeni Yöntemi.....	14
2.3. Gerçek Zamanlı Trafo İzleme Ekipmanı.....	15
2.4 Tipik Bir İzleme Sisteminin Mimarisi.....	18

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

CNİM GRUBU GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN KROMOTOGRAFİK ANALİZİ

3.1 Kromatografik Analizin Yapılması.....	21
3.2 DGA Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	23
3.2.1 Roger oran teşhisi.....	26

3.2.2 Transformatör yağı üzerinde yapılan testlerin karşılaştırmalı analizi.....	28
3.2.3 Gaz analizi.....	28
3.2.4 Transformatörün termografik analizi.....	33
3.3 MATLAB/SİMULİNK Ortamındaki Matematiksel Modele Genel Bakış.....	35
3.4 Matematiksel Bir Modelin Parametrelerini Belirleme	36
3.5 Transformatörün Farklı Çalışma Modlarının Benzetimi.....	39
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR.....	45



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Transformator arızalarının yaygın nedenleri.....	9
Tablo 1.2 Transformator arızalarının yaygın nedenleri.....	9
Tablo 2.1 Gazları ve arıza nedenlerini belirleme.....	12
Tablo 2.2 Duvar üçgeni yöntemi ile fay ve sınır bölgesinin belirlenmesi.....	14
Tablo 3.1 Test kayıtları ve trafo parametreleri.....	22
Tablo 3.2 DGA test sonucu.....	22
Tablo 3.3 Gaz konsantrasyonu sınırları.....	22
Tablo 3.4 Perforasyon gerilim testi sonuçları.....	23
Tablo 3.5 Gazların oranı.....	25
Tablo 3.6 Test sonuçları.....	27
Tablo 3.7 Test kayıtları ve trafo parametreleri.....	28
Tablo 3.8 DGA test sonucu.....	29
Tablo 3.9 Gaz konsantrasyonu sınırları.....	29
Tablo 3.10 Gazların oranı.....	31
Tablo 3.11 TR11 Temel gaz analizi.....	33
Tablo 3.12 Direnç ve endüktanslar.....	37
Tablo 3.13 Trafo aktif yük ve yük dirençleri.....	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Trafo arıza eğrisi.....	4
Şekil 1.2. Transformatorün çalışması sırasında kağıt yalıtımının DP değerinin değişim eğrisi.....	10
Şekil 2.1. Duvar üçgen diyagramı.....	13
Şekil 2.2. Tipik bir izleme sisteminin mimarisi.....	17
Şekil 2.3. GE HYDRAN® cihazının görünümü.....	18
Şekil 2.4. GE FARADEY™ cihazının genel görünümü.....	18
Şekil 3.1. GE Kelman Transport X cihazının görünümü.....	20
Şekil 3.2. Akustik spektroskopun prensip şeması.....	21
Şekil 3.3. Yüksek gerilim trafosunun yağ örnekleme.....	21
Şekil 3.4. TR1 Temel gazların yüzde oranları.....	24
Şekil 3.5. TR1 Duvar üçgeni.....	25
Şekil 3.6. Aşırı ısınma ve deşarjın sınıflandırılması.....	26
Şekil 3.7. Deşarjın özellikleri.....	26
Şekil 3.8. TR1 DGA sonuçlarının karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.9. TR1 Temel gaz analizi.....	28
Şekil 3.10. TR11 gazların yüzdesi.....	30
Şekil 3.11. TR11 duvar üçgeni.....	31
Şekil 3.12. FLIR P620 kızılötesi kamera ile çekilmiş bir transformatorün yüksek gerilim kablo bağlantılarının görünümü.....	32
Şekil 3.13. TR11 DGA sonuçlarının karşılaştırılması.....	32
Şekil 3.14. Gaz analizi.....	33
Şekil 3.15. Matematiksel modelin Matlab/Simulink benzetimi.....	34
Şekil 3.16. Sargı bağlantılar.....	35
Şekil 3.17. 15 kV hat akımı (%50 yük için).....	39

Şekil 3.18. 15 kV tarafındaki faz gerilimi (%50 yük için)	39
Şekil 3.19. 15 kV tarafındaki hat akımı (%70 yük için).....	40
Şekil 3.20. 15 kV tarafındaki faz gerilimi (%70 yük için).....	40
Şekil 3.21. 15 kV yan hat akımı (%100 yük için).....	41
Şekil 3.22. 15 kV'luk yan faz gerilimi (%100 yük için).....	41
Şekil 3.23. 15 kV tarafındaki hat akımı (%140 yük için).....	42
Şekil 3.24. 15 kV'luk yan faz gerilimi (%140 yük için).....	42



KISALTMALAR

PPM : (Parts per million) milyonda bir birime verilen isim

DGA : Yağda çözülmüş gaz analizi

DP : Polimerizasyon derecesi. Bir polimer molekülündeki monomer birimlerinin sayısı



ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bana yol gösterici ve destek olan danışman hocam Prof. Dr. Saadettin AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Tezin oluşturulmasında bilgi birikim ve tecrübelerinden yararlandığım "CANIM Azerbaijan"da çalışan Mühendis Emil Tehmezli ve tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve çok kıymetli kardeşlerime özel teşekkürlerimle.



GİRİŞ

Güç transformatörleri, bir elektrik sisteminin temel unsurlarıdır. Çeşitli kazalar, arızalar ve hasarlar, güç transformatörlerinin fiziksel olarak yıpranmasına neden olur. Bu nedenle temel amaç, güç transformatörlerinin güvenilirliğini artırıcı ömrünü uzatıcı önlemler almaktır. Çalışma sırasında, yağ transformatörleri ve ototransformatörler, gaz emisyonu, kısmi deşarjlar, genleşme tankının parçalarında aşırı ısınma ve çeşitli diğer anormal olaylar meydana gelir. Bu nedenle, güç transformatörlerinin güvenilirliğini etkileyen faktörleri incelemek önemlidir. İstenmeyen olayların nedeni olarak yük akımı ve kısa devre akımı sargıdan geçtiğinde, sargılar tarafından oluşturulan sargılar arasındaki manyetik akı saçılımındaki değişim, yapısal elemanların topraklama direncinin ihlali ve yapısal elemanların değişken potansiyele maruz kalması, sargılar arasında aşırı gerilim, yapısal elemanlar arasındaki bağlantının kopması, katı yalıtımın aşınması vb. gösterilebilir.

Bu **çalışmanın amacı**, güç transformatörlerinin güvenilirliğini etkileyen arızaları araştırmak, analiz etmek ve gaz emisyonlarının nedenlerini belirlemeye olanak tanıyan bir teşhis yöntemi geliştirmektir.

Çalışmada aşağıdaki problemlerin çözülmesi amaçlanmaktadır:

- Güç transformatörleri ve ototransformerlerdeki arızaların teşhisi (analizi);
- Güç transformatörlerinde gaz emisyonuna neden olan arızaların tanımlanması;
- Güç transformatörlerinin mevcut teşhis yöntemlerinin analizi;
- Güç transformatörlerinde gaz emisyonuna neden olan arızaları belirlemek için mevcut yöntemlerinin belirlenmesi;
- Gaz transformatörlerinde arızaları tespit etmek için metotların iyileştirilmesi;
- Güç transformatörlerindeki gaz oluşumuna neden olan arızaların deneysel olarak incelenmesi.

Çalışmanın bilimsel yeniliği, CNIM firmasında çalışan Siemens 110/15 kV, 36MVA ve 15 / 0.690 kV, 2MVA güç transformatörlerinin güvenilirliğini artırmak için gaz ayrışmasının nedenlerini araştırma ve tespit etme yöntemleri geliştirmektir:

Söz konusu transformatörlerin yüksek ve alçak gerilim sargılarının kısa devre direnç ölçülerini kullanarak arıza tespiti, sınırlandırma yöntemi, tasarımı, üretim, işletme ve

bakım sırasında meydana gelen, gaz ayrışmasını etkileyen arızaların tespit edilmesini ve aynı zamanda kusurun etkin güvenilirliğinin etkisinin belirlenmesini sağlar.

Araştırmanın pratik önemi, transformatörlerin çalışması sırasında gaz emisyonu işlemi ile ilişkili yedek kaynaklarını tahmin etmeye izin verir.



BİRİNCİ BÖLÜM

KONU HAKKINDA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1.Giriş

Güç transformatörlerinin güçleri birkaç kVA ile birkaç yüz MVA arasında değişir. Güç transformatörleri genellikle çok güvenilir ve uzun ömürlüdür. Uygun bakım ve izleme ile transformatörlerin ömrü 60 yıla kadar uzatılabilir. Ancak transformatörler yaşlandıkça iç yapılar bozulur ve gaz riski artar. Transformatörlerde meydana gelen kazalar, patlamalar, yangınlar ve yağ sızıntıları nedeniyle personel ve çevre için tehlikelidir. Ayrıca, arızalı transformatörlerin onarımı veya değiştirilmesi uygun maliyetli değildir ve maliyetleri önemli ölçüde artırabilir. Yeni transformatörler, çevresel etkiler ve kısa devreler gibi anormal koşullara dayanacak mekanik ve elektrik gücüne sahiptir, ancak transformatörler yıprandıkça, yalıtımları ve dayanıklılıkları artık bu koşullara dayanamayacakları ve başarısız oldukları noktaya kadar zayıflayabilir. Ek olarak, daha hızlı aşınmaya neden olabilecek ve kaza riskini artıracak belirli bir arıza gelişebilir [1].

Transformatör arızaları, farklı koşulların ve nedenlerin bir kombinasyonu şeklinde ortaya çıkabilir.

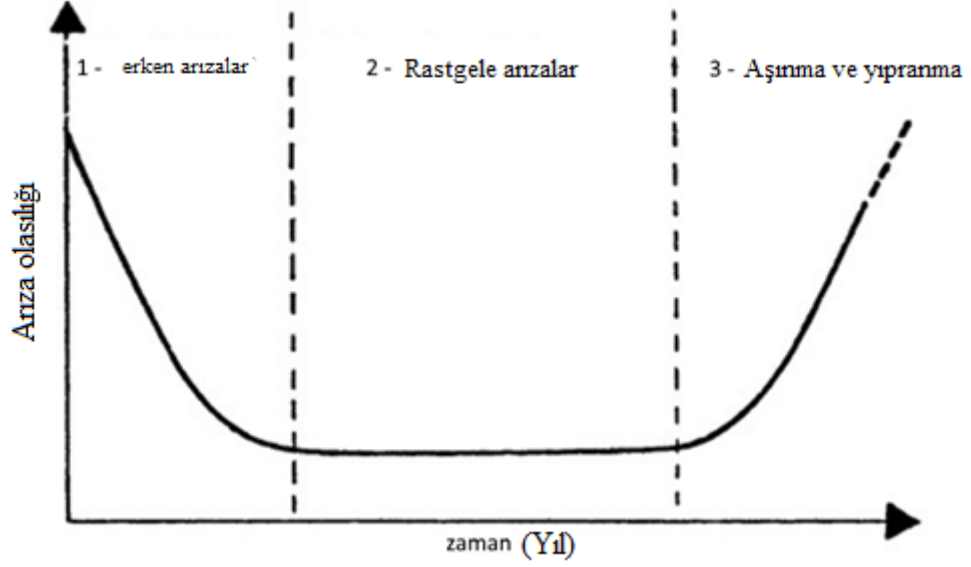
Trafo arızaları aşağıdaki gibi olabilir:

- Çalışmakta olan transformatörlerin hasar görmesi zorunlu kesintilere neden olur. Bu yüzden transformatör bir tamirhaneye götürülmeli ve transformatör sökülmelidir.

Transformatörlerdeki arızalar esas olarak elektriksel, mekanik ve termal arızalar olarak ikiye ayrılır. Arızanın nedeni harici veya dahili olarak sınıflandırılabilir.

Transformatör arızaları, Şekil 1.1'de gösterilen "küvet" adı verilen bir arıza eğrisine sahiptir. Eğri, üç kısma bölünebilir:

- Eğrinin ilk kısmı, üretim ve kurulum sorunları nedeniyle ilk çalıştırma yılında meydana gelen arızalar olan erken arızaları göstermektedir.
- Eğrinin ikinci kısmı, arızaların şans ve çalışma koşullarıyla ilişkili olduğu faydalı ömür olarak adlandırılır. Bu dönemdeki başarısızlık oranı yaklaşık olarak sabittir.
- Eğrinin üçüncü kısmı, yaşlılığın ve malzemelerin eskimesinin neden olduğu kusurları temsil eder. Bu dönemde arıza sayısı artar (Wang ve diğerleri 2002; Mirzai & Gholami & Aminfar 2006).



Şekil 1.1. Trafo arıza eğrisi (Wang ve diğerleri 2002)

Belirtildiği gibi, trafo kazaları felakettir ve ciddi maddi hasarlara neden olabilir. Bununla birlikte, en doğru teşhis programına sahip olsak bile, sorunlar yine de ortaya çıkabilir. Bu kaçınılmaz bir gerçektir.

Bir transformatör için tipik bir arıza modunu belirlemek hala zordur. Elektriksel, mekanik ve termal faktörlerin herhangi bir kombinasyonu transformatöre zarar verebilir. En acil arızalar, transformatörlerin yalıtımının ihlali nedeniyle meydana gelir. Ana arızalar elektriksel nedenlerden kaynaklansa da, izolasyon arızası elektriksel, mekanik ve termal arızaların bir sonucudur. Bu nedenle, iki veya daha fazla faktörün etkisi altında trafo arızaları meydana gelebilir. (Bartley 2003a)

Bartley, transformatör arızasına neden olan bir dizi yaygın elektrik, mekanik ve termal faktör sunar. İzolasyona zarar veren tipik faktörler elektrikseldir.

Genel faktörler:

- Kısa süreli veya sürekli aşırı yükte çalışma koşulları
- Gerilim dalgalanmalarına maruz kalma
- Kısmideşarjlar
- Statik elektrik

Transformatörün kısa süreli veya uzun vadeli aşırı gerilimi, yalıtımın bozulmasına ve çekirdeğin aşırı ısınmasına neden olabilir. Çevresel etkilerden kaynaklanan aşırı

gerilimler ve anahtarlama olayları, transformatörlerin elektriksel ve mekanik özelliklerine ve bileşenlerine zarar verebilir. Bu tür bir arıza genellikle hattın sonuna yakın olan transformatörlerde hasara neden olur.

Kısmi deşarjlar, yalıtıma ve yapısal elemanlara zarar veren düşük yoğunluklu deşarjlardır. Kötü yalıtım tasarımı, üretim hataları ve yalıtımın kirlenmesi bazı sızıntılara neden olabilir. Statik elektrik, çok yüksek gerilimli (345 kV üzeri) transformatörler için bir sorundur. Yağ sıcaklığı düşük olduğunda ve yağ dolaşım hızı arttığında transformatörün metal parçaları ile yağ arasında statik bir elektrik yükü oluşur. Transformatör aşırı yüklendiğinde ve yalıtım, bozulma düzeyine ulaşacağından, tutuşma meydana gelebilir ve transformatörün kullanılamaz hale gelmesine veya ciddi şekilde hasar görmesine neden olabilir.

Mekanik kuvvetler genellikle sargıların deforme olmasına, yalıtımın hasar görmesine veya bozulmasına neden olur. Fiziksel hasarlar elektrik arızasına neden olabilir. Transformatörün ne kadar süre sağlıklı çalışacağı, hasarın büyüklüğüne bağlıdır. Transformatör sargılarının deformasyonu taşıma sırasında ve elektromekanik kuvvetlerin etkisi olmak üzere iki nedenden dolayı meydana gelebilir.

Güç transformatörlerindeki mekaniksel arıza faktörleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İç bandajın halka şeklinde bükülmesi
- Sargı tellerinin yer değiştirmesi
- Sargı tellerinin üst üste binmesi
- Son halkanın ezilmesi ve devre dışı kalması
- Eleman bağlantı hatası
- Giriş ve çıkış izolatörlerinin yer değiştirmesi

Bobin telleri , içe doğru sarıldığında, en içteki sargı bir halka şeklinde bükülür. Şiddetli bükülme olaylarında kağıt izolasyonu zarar görecektir. Kaza'nın o anda olup olmadığı, hasarın ciddiyetine bağlıdır. Bobin sargılarının yer değiştirmesi, sürekli aktarılmış kablo (continuously transposed cable-CTC) içeren kağıt yalıtımlı transformatörlerde bir sorundur. Burada aksel kuvvetler CTC setine basınç uygular ve setin kenarlarındaki kağıt yalıtımını yırtarak teli ortaya çıkarır.

Elektrik arızalar genellikle aniden ortaya çıkar. Tellerin birbirine kenetlenmesi, bütün, ince, düz tel sargılarda bir sorundur. Eksenel kuvvetler tellerin üst üste binmesine, kağıt yalıtımının zarar görmesine ve tüm bandajın mekanik olarak hasar görmesine neden olur. Spiral sıkıştırma, sağdaki bir tabakanın radyal kuvvetler tarafından sıkıştırılmasıdır. Sağın eksenel kuvvetleri, sağın altındaki radyal uç halkanın mekanik mukavemetini aştığında, tüm sargı dengesiz hale gelir ve uç halka ezilir ve işe yaramaz hale gelir.

Sargı sistemindeki arızalar, sargının elektromekanik kuvvetlerin etkisi altında hareket etmesi engellendiğinde ortaya çıkar. Bu sorun, akımdaki anlık değişikliklerden kaynaklanır ve sargıları birbirinden ayrılmaya çalışır. Akımdaki ani artışlar, sargı sıkıştırma sisteminde sorunlara neden olabilir, transformatör bir süre normal çalışabilir veya yalıtıma zarar vererek sargıda ciddi deformasyona ve güç iletiminde ani bir kesintiye neden olabilir. Termal faktörler, yalıtımın fiziksel özelliklerinin kaybını etkiler. İyi tasarlanmış, uygun şekilde çalıştırılmış ve teşhis edilmiş bir transformatördeki yalıtım 20-30 yıl veya daha uzun sürebilir.

Güç transformatörlerini etkileyen ana faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Aşırı yükleme
- Soğutma sistemi arızası
- Eksenel yağ kanalı boşluklarının tıkanması
- Transformatörlerin aşırı sıcaklık koşullarında çalışması

Soğutma sisteminde yağ pompasının durması, yağ dağıtım sisteminin tıkanması ve soğutma parçalarının kirlenmesi gibi arızalar meydana gelebilir. Yağ kanalındaki eksenel yağ boşluklarının tıkanması, serpantine yakın alanlardaki soğutma yağı miktarını sınırlar. Bir transformatörün nominal akımda veya nominal frekansın altında çalıştırılması, manyetik akı saçılımlarının normalin üzerine çıkmasına ve yalıtımın aşırı ısınmasına neden olabilir. Transformatör arızalarını sınıflandırmanın başka yolları da vardır. Bir yöntem, arızanın meydana geldiği alanlara göre sınıflandırılır. Bunlar yardımcı parçalardaki arızalar, trafo sargıları ve bağlantılarındaki arızalar, aşırı yükler ve harici kısa devreler olarak sınıflandırılabilir.

Transformatörlerin yardımcı parçaları:

- Transformatör yağı - Yağ seviyesi akım taşıyan parçaların açıkta kaldığı noktaya düşerse, ciddi sorunlara neden olabilir.
- Gaz tamponu - Nem ve oksijen gaz boşluğuyla temas etmezse, yağın ve yalıtımın ömrü daha uzun olacaktır.
- Yağ pompaları ve hava fanları - yağ sıcaklığındaki bir artış, soğutma sistemindeki aşırı yükün veya arızanın göstergesi olabilir.
- Nükleer ve sargı yalıtımı

Küçük yalıtım sorunları, zamanında ele alınmazsa büyük arızalara neden olabilir. İzolasyon arızasına hasar, kalitesiz nükleer civatalar, kalitesiz sargı izolasyonu veya tel izolasyonu neden olabilir. İzolasyon, aşınma ve aşırı yük nedeniyle mekanik olarak hasar görebilir. Yalıtım hatası, yanlış bağlantı ve eklemlerden de kaynaklanabilir.

Sargılarda hatalar iki gruba ayrılabilir,

- 1- Yüksek ve alçak gerilim terminalleri veya sargılar arası sargılar arasındaki arızalar, sargılar arası kısa devre,
- 2- Yüksek ve alçak gerilim terminalleri veya sargıları ile gövde - toprak arasındaki kısa devre

Yalıtıma yönelik mekanik kuvvetler veya hasar, sargılar arasında kısa devreye neden olabilir. Aşırı yük, gevşek bağlantılar ve darbe geriliminden kaynaklanan yalıtım arızası, mekanik kuvvetleri ve yalıtım koşullarını etkiler. Toprak ile sargılar arasındaki arızalar, arıza akımının büyük bir değerinin akmasına ve yağda büyük miktarda gazın salınmasına neden olur. Bu tür arızaların tespit edilmesi zor değildir, ancak kazaları önlemek ve güvenilirliği sağlamak için hızlı bir şekilde düzeltilmesi gerekir. Uzun süreli aşırı yüklenme, gelecekte kazalara yol açabilecek yalıtım hasarına yol açabilir. Aşırı ısınma nedeniyle yalıtım zayıflayabilir. (Ravindranath, Chander 2005, 135-137).

Transformatör arızaları ve nedenleri: Transformatör arızaları ve nedenleri ortadan kaldırılırken aşağıdaki koşullar dikkate alınmalıdır:

- Aşırı basınç diyaframının hasar görmesi, trafo iç basıncının artmasına ve yüksek yağ seviyelerine yol açabilecek dahili arızalara neden olabilir.
- İzolatör arızaları ark boşalması, izolatörde kir birikmesi ve yıldırım düşmelerinden kaynaklanabilir.

- Nükleer arıza, çekirdeğin kendisindeki ve konektör kelepçelerindeki laminasyon arızasından kaynaklanıyor olabilir.
- Transformatör yağının renginin solması genellikle yağın karbonlaşmasından kaynaklanır. Karbonatlaşma, geçiş, kirlilik ve nükleer arızalardan kaynaklanır.
- Gaz yalıtımlı bir transformatörle ilgili sorunlar genellikle musluk yuvalarından gaz sızıntılarının neden olduğu gaz kaçakları, yüksek oksijen seviyeleri veya gaz regülatöründeki sorunlardan kaynaklanır.
- Yüksek, ani akımlar genellikle çekirdekteki kısa devrelerin veya açık bağlantıların sonucudur.
- Yanlış yan gerilim, sargılar arasındaki kısa devre, yanlış yan gerilim veya yanlış sargı oranının bir sonucu olabilir.
- İç ark oluşumu, gevşek bağlantılar, dielektrik arızası, canlı parça seviyesinin altındaki yağ seviyesi nedeniyle meydana gelir.
- Düşük dielektrik direnci, trafo üzerine düşen nem veya yoğuşmadan kaynaklanıyor olabilir.
- Açık tip transformatörlerde uygun olmayan havalandırma nedeniyle nem yoğunlaşması meydana gelir. Kapalı tip transformatörlerde, ıslak çatlak bir diyafram, sızıntı sözleşmeleri yoluyla girebilir.
- Yüksek akımlar, yüksek gerilimler, uygun olmayan soğutma sistemleri, kirli veya düşük yağ seviyeleri, yüksek ortam sıcaklıkları ve çekirdek tabakalar arasındaki zayıf yalıtım, transformatörün aşırı ısınmasına neden olabilir. Kuru tip bir transformatörde, hava kanallarının tıkanması aşırı ısınmaya neden olur.
- Yağın oksidasyonu genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışma nedeniyle oluşur ve oksidasyon trafo yağının kirlenmesine yol açar.
- Transformatör parçalarının, filtrelerin, kötü bağlantıların, kalitesiz malzemelerin yanlış montajı yağ sızıntısına, cıvata bağlantılarına, kaynaklara, contalara yağ sızmasına neden olabilir.
- Gerilim anahtarları ve diğer anahtarlama ekipmanı, transformatördeki anahtarlama ekipmanında sorunlara neden olur. Bu tür sorunlar

Bunun nedeni hareketli parçaların kontaklarının aşınması, nem oluşumu ve diğer problemlerdir.

- Sargı yalıtım arızaları, nötr topraklanmış veya yalıtımlı üç fazlı sistemlerde faz-toprak, faz-faz veya sargılar arasındaki kısa devreleri içerir. Transformator yağındaki yıldırım, kısa devreler, aşırı yüklenmeler, aşırı akımlar, nem ve kirlenme bu arızaya neden olabilir (Ocak 2009, 273-375).

Tablo 1.1. Transformator arızalarının yaygın nedenleri

Sargı hataları	Nüve arızalar	Terminal hataları
-Sargılar arasında kısa devre -Dalgalanma (aşırı gerilim) -Nem -Harici arızalar -Aşırı ısıtmayın -Bandajın yer değiştirmesi -Yanlış sargılar -Topraklama -Fazdan faza arıza -Mekanik arıza	-Nükleer yalıtım hatası -Topraklama yapısıyla temas kaybı -Levhalar arası yalıtım -Gevşek kelepçeler, cıvatalar, yastıklar	-Boş bileşikler -Ark -Bağlantılar -Nem -Düşük seviyeli yalıtım -Kısa devre

Tablo 1.2. Transformator arızalarının yaygın nedenleri

İzolator hataları	Çeşitli arızalar
-Aşınma ve yıpranma -Kirlilik -Çatlama -Yaşam faktörü -Aşırı gerilim nedeniyle ark -Nem -Az yağ veya sıvı	-Akım trafosu arızası -Yağdaki metal parçacıkları -Taşıma sırasında hasar -Harici arızalar -Tankın zayıf kaynağı -Aşırı yükleme -Nominalin üzerindeki gerilim -Yardımcı sistem arızaları -Diğer bilinmeyen arızalar

İnsan faktörünün neden olduğu trafo arızalarını unutmamalıyız. Bartley (2003b), insan hatasından kaynaklanan aşağıdaki hatalara dikkat çekmiştir:

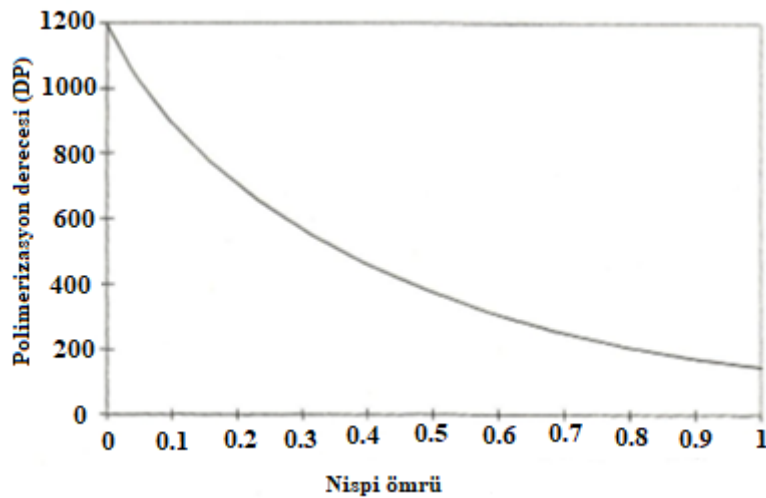
- Kalitesiz nükleer yalıtım, kısa devrelere karşı zayıf direnç, tanktaki yabancı cisimler gibi tasarım ve üretim hataları.

- Yanlış ve zamansız bakım ve yanlış kullanım. Aşırı yük, nem ve gevşek bağlantılar, yanlış ayarlanmış kontrolör, soğutucu akışkan kayıpları, korozyon, kir birikimi.

Aşınma ve yıpranma, başarısızlık nedeni olarak sınıflandırılmamalıdır.

1.2. Transformator İzolasyon Aşınması ve Artık Ömür

Bahsedildiği gibi, transformator yıprandıkça, çalışması zayıflar, bu da kendisini transformator yağı ve yalıtımının kullanılamaz hale gelmesi olarak gösterir. Transformator yağı, yıprandıkça oksitlenen doğal bir maddedir ve bakır, demir ve kurşun gibi bazı metallerin safsızlığı yağın oksidasyonunu hızlandırır. Ayrıca, iyi trafo yağı, oksidasyonu önlemek için yağa eklenebilen az miktarda inhibitör içerir. Ancak, trafo yağı daha yüksek sıcaklıklarda daha çabuk aşınır ve kağıt yalıtımının özelliklerini zayıflatan asidik bileşikler oluşur. Kağıt yalıtımının bozulma derecesine DP (polimerizasyon derecesi) denir. Yeni kağıt izolasyonun DP değeri 1000-1300 arasında değişmekte, eski kağıt izolasyonunda bu değer 1 / 5'e düşmektedir. DP değeri 150-200 olduğunda kağıdın ömrü sona erer.



Şekil 1.2. Transformatorün çalışması sırasında kağıt yalıtımının DP değerinin değişme eğrisi (Aro ve diğerleri 2003, 179)

Şekil 1.2 yalıtım kağıdı ve trafo yıprandıkça DP değerindeki değişim eğrisi göstermektedir. Yalıtım kağıdını yük altında izlemek, yağı izlemekten daha zordur. Yağ ve kağıt yalıtımını değiştirmenin özelliği, ıslak kağıt yalıtımının kalitesini kaybetme sürecini hızlandırmasıdır. Yağdaki nem, özellikle soğuk ülkelerde bir

sorundur. Ancak düşük çalışma sıcaklıkları, ısının neden olduğu değişiklikleri yavaşlatır. (Aro ve diğerleri 2003: 178-180)

Transformatör yıprandığında, kalan ömür Arrhenius Dakin formülü ile hesaplanır.

$$\text{Kalan ömür} = Ae^{B/T}$$

Burada A başlangıç ömrü, B malzemenin özelliklerine bağlı olarak sabit, T ise mutlak sıcaklıktır.

Bununla birlikte, bu yöntem yalnızca termal faktörleri hesaba katar, bu nedenle tüm faktörleri dikkate alarak transformatörün ömrünü hesaplamak için daha ayrıntılı yöntemlere ihtiyaç vardır (Wang ve diğerleri 2002).

1.3. Transformatör Arızalarının Sonuçları

Transformatör arızalarının farklı sonuçları olabilir, her şeyden önce arızalar transformatörün kendisine zarar verir. Transformatör onarılabilmesi için kısmen hasar görmüş olabilir veya tamamen kullanılamaz hale gelebilir ve değiştirilmesi gerekebilir. Bazı durumlarda transformatörün değiştirilmesi uzun zaman alabilir. Bir transformatör arızası genellikle transformatörün hizmet verdiği alanda elektrik kesintisine neden olur. Kesinti yeterince uzunsa, elektrik üretici şirketi tüketiciye tazminat ödemelidir. Bununla birlikte, transformatörlerin paralel çalışması, transformatör arızalarının güvenilirliğini artırır ve transformatörlerden biri hasar görürse, diğer transformatör yükü taşıyacağından, güç beslemesinde herhangi bir kesinti olmayacaktır. (Vasudevan & Rao & Rao)

Transformatör arızaları yangınlara ve patlamalara neden olabilir ve en kötü senaryoda insanları ve servis personelini yaralayabilir. Trafo yağı sızıntıları çevreye, ağaçlara, toprağa, suya ve diğer canlılara zarar verebilir.

Ayrıca trafo yangınları sonucunda orman yangınları meydana gelebilmektedir.

Bu tür sonuçların maddi hasar (trafo ve diğer yakın parçalar), insan yaralanması, elektrik kesintisi maliyetleri, çevresel hasar vb. Gibi zararlara neden olduğu açıktır. olabilir.

Ancak hasar küçükse ve paralel trafo elektrik kesintilerini önleyorsa, trafo arızaları çok fazla zarar vermeyebilir. Sonuç, trafo tipine ve arızanın ciddiyetine bağlıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

TRANSFORMATÖRLERİN MODERN TANI YÖNTEMLERİ

2.1. Yağda Salınan Gazların Analizi

Analiz için 2 metod kullanılmaktadır.

A) Çözülmüş Gaz Analizi (Dissolved Gas Analysis-DGA):

Bir endüstriyel güç transformatöründen bir yağ numunesine uygulanan, yağda salınan gazların miktarını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Yağda oluşan gazların analizinin sonuçları, transformatörün durumu hakkında bilgi sağlar. Bu analiz, henüz emekleme aşamasında olan hasarı en aza indirirken ve küçük ölçekli arızaların erken aşamalarda meydana gelmesini önlerken, olası arızaların öngörülmesini sağlar.

DGA sonuçlarını değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler, belirli bir gaz miktarına veya oranlarına göre önceden hazırlanmış tablo ve grafikler vasıtasıyla arızaların sınıflandırılmasını belirler. Bu tablolar ve grafikler uzun yıllara dayanan deneyimler temelinde toplandığından, yöntemin hassasiyeti ve doğruluğu toplanan verilere bağlıdır. Bazı gazlar yalnızca belirli arızalar sırasında oluşur. Gaz miktarı, arızanın türüne ve derecesine bağlı olarak değişir. Gazların cinsi ve miktarı biliniyorsa, kullanılan değerlendirme yöntemi ile hataların doğru bir şekilde değerlendirilmesi mümkündür. Böylece önleyici tedbirler alınabilir.

B) Anahtar gaz analizi:

Anahtar gaz analizinde (key gas analysis), DGA sonuçlarındaki gaz miktarına bağlı olarak belirli arızaları belirlemek için "gazları tanımlama" özelliği kullanılır. Bu yöntemle göre değerlendirme sırasında toplam yanıcı gazların içindeki yanıcı gazların miktarı hesaplanır. Yüksek değerli gazlar nedeniyle oluşma olasılığı yüksek arızalar belirlenir. Tanımlanabilir gazlar ve arızanın nedenleri Tablo 2.1'de özetlenmiştir (Tablo 2.1).

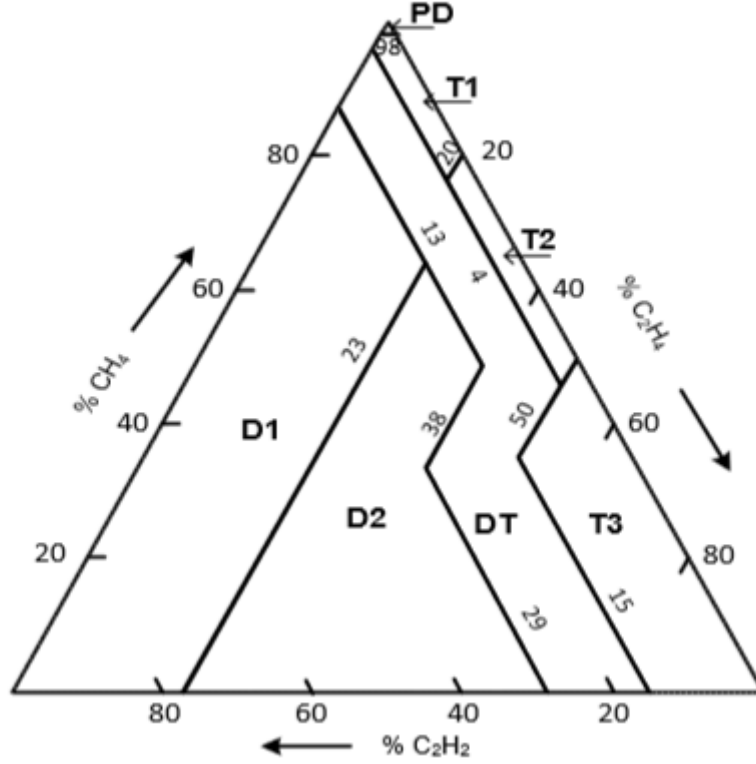
Tablo 2.1. Gazlar ve arıza nedenlerini belirleme

Gazları tanımlama	Genel değerlendirme
Hidrojen (H_2)	Elektriksel deşarj (Taç boşalması, kısmi deşarj)
Etilen (C_2H_4)	Termal arızalar
Asetilen (C_2H_2)	Yüksek enerji deşarjı (ark, kıvılcım)
Oksijen (O_2)	Bağlantılardaki boşluk

Ethan (C_2H_6)	Termal arızanın ikinci göstergesi
Metan (CH_4)	Ark ve aşırı ısınmanın ikinci göstergesi
Karbonmonoksit (CO)	Selülozun ısıtılması
Karbon dioksit (CO_2)	Selülozun ısıtılması

2.2. Duvar Üçgeni Yöntemi

Duvar üçgeni yöntemi grafiksel diyagramlardan biridir ve metan, asetilen ve etilen gazı konsantrasyonlarının yüzdesini (ppm cinsinden) kullanır. Bu yöntem, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi farklı bölümlere ayrılmış bir Duval üçgen diyagramı kullanır. Hesaplanan yüzdelerin duvar üçgen diyagramında kesiştiği bölge, transformatörde meydana gelmesi muhtemel hatayı tanımlar. Tablo 2.2, her bölgenin karşılık geldiği sınır koordinatlarını ve o bölgeye ait fay türlerini göstermektedir.



Şekil 2.1. Duvar üçgen diyagramı

$$\%CH_4 = \frac{100 \times x}{x+y+z}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 \times y}{x+y+z}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 \times z}{x+y+z}$$

Duvar üçgeninde kullanılan değerlerin yüzdesi bu denklemlerle hesaplanır. Burada $x = [CH_4]$, $y = [CH_4]$, $z = [C_2H_2]$ yağda çözülmüş gaz miktarını temsil eder. Bu yöntemde, kısmi deşarj (PD), düşük enerji deşarjı (D1), yüksek enerji deşarjı (D2), düşük sıcaklık termal hatası (T1), orta sıcaklık termal hatası (T2) ve yüksek sıcaklık termal hatası olmak üzere 6 tip hata tanımlanmıştır.

Tablo 2.2. Duvar üçgeni yöntemi ile fay ve sınır bölgesinin belirlenmesi.

Hata türü	Hata	%		
		CH_4	C_2H_4	C_2H_2
KD	Kısmi deşarjlar	98	-	-
D_1	Düşük enerji deşarjları	-	23	13
D_2	Yüksek enerji deşarjları	-	23-38	13-29
T_1	Termal arıza $T < 300^\circ C$	-	10	4
T_2	Termal arıza $300^\circ C < T < 700^\circ C$	-	10-50	4
T_3	Termal arıza $T > 700^\circ C$	-	50	15

2.3. Gerçek Zamanlı Trafo İzleme Ekipmanı

Elektrikli ekipmanın izlenmesi ve teşhisi, periyodik onarımlar ve iyileştirmeler sistemin daha verimli çalışmasını sağlar. Güç transformatörlerinin güvenilirliğini artırmanın en etkili yolu, modern yöntemlerin ve hızlı sorun giderme araçlarının kullanılmasıdır. Bu araçların uygulanması, çalışanların aşağıdaki bilgilere hakim olmasını sağlar.

1. Transformatörlerin mevcut teknik durumu, transformatörlerin bozulmasına neden olan arızalar.
2. Transformatörlerin kalan ömrü, yeni tespit edilen ve gelişen kusurlarla sorunsuz bir şekilde çalışmaya ne kadar devam edebilecekleri.
3. Transformatörün sorunsuz çalışmasını sağlamak için bu ekipman üzerinde gerçekleştirilecek en uygun onarım süresinin belirlenmesi.

Bu üç görev ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır, ancak en önemli şey, transformatörün mevcut teknik durumunu hızlı bir şekilde belirlemektir. Bu temel sorunu çözmek için

trafo izleme sistemleri kullanılır. Şu anda, yurtdışında çok sayıda izleme sistemi geliştirilmiştir. Elektrikli ekipmanların neredeyse tüm büyük üreticileri, ürünlerini teşhis etmenin yanı sıra, kendi ürünlerini veya diğer üreticilerin izleme sistemlerini de sunmaktadır.

Esas olarak teşhis ve izleme 330 kV ve üzeri gerilim sınıfı transformatörler için tasarlanmıştır. 110 kV ve daha yüksek gerilim sınıfındaki güç transformatörlerinde, transformatörün güvenilir ve sorunsuz çalışmasını sağlayacak blok modül tasarımlı bir izleme sistemi kurmak amaca uygundur. Tanılama ve izleme sistemlerinin karmaşıklığının ve mimarisinin, kendilerine atanan görevlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceği unutulmamalıdır. Teşhis seviyesi, sistemde kullanılan teşhis parametrelerinin sayısına göre belirlenir. 69 - 138 kV sınıfı ekipmanın teknik teşhisi için sınırlı sayıda teşhis parametresine sahip bir teşhis sistemi kullanılabilir. Özellikle, teşhis sistemi, örneğin 110 kV'luk bir transformatör, teşhis parametrelerini oldukça az sayıda 7-8 ile sınırlayabilir. Geliştirilen teşhis sistemleri, genellikle teşhisin izleme işlevlerinden biri olan trafo parametrelerinin uzun süreli izlenmesi için sabit yerel sistemler olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, önceden tasarlanmış ve işletilen trafo merkezlerinin genellikle otomatik bir kontrol sistemine sahip olmamasıdır. En iyi seçenek, bir dizi sensörle tam donanımlı gelişmiş izleme sistemlerinin kurulumu ile birlikte, kullanılmayan 69-138 kV ekipmanın yanı sıra teşhis verileri toplama ve proses kontrol sisteminin entegrasyonu için yazılım ve ekipmanın kurulumunu yapmaktır. Düzgün organize edilmiş bir sistemde, otomatikleştirilmiş süreç yönetim sistemindeki genişletilmiş izleme alt sisteminin kendi yüksek seviyeli aparatına sahip olmaması gerekir. Trafo merkezleri otomatik bir proses kontrol sistemine entegre edilmiştir ve bu amaçla görselleştirme, arşivleme ve dokümantasyon için ortak trafo merkezi araçlarını kullanır. İzleme alt sistemi ve bu çözümler içindeki ekipman tanılama alt sisteminin durumu, süreç kontrol sistemine entegrasyonları için bir programdır. Sonuç olarak, geliştirilen ve uygulanan yerel olarak geliştirilmiş izleme sistemleri, önemli değişiklikler olmadan otomatik bir süreç kontrol sistemine entegre edilebilmelidir. Bu durumda, izleme alt sistemini yalnızca alt veya orta seviyeye yükseltmek için trafo merkezinin besleme kısımlarını değiştirmek, sensörlerin kullanımını genişletmek gerekir. Aynı zamanda, orta ve üst seviyelerde gelişmiş izlemenin normal çalışmasını sağlamak için yeni parametreleri yapılandırmak ve girmek için düzenli prosedürlerin gerçekleştirilmesi gerekir. Transformatörlerin teknik durumunu izlemek için, teşhis

sisteminin modernizasyonu sırasında yeni bir transformatör sabit bir sistemle donatılmalı veya çalışan bir transformatöre monte edilmelidir. Böyle bir sistem, yüksek sermayeli ve önemli işletmelerde kurulur. Transformatöre sabit bir kontrol ve genişletilmiş izleme sisteminin kurulmasının ek bir nedeni, güç transformatörlerinin izolasyonunda bir problem olasılığıdır. . Bu nedenle, gelişmiş bir izleme sisteminin varlığı, transformatör için arıza zamanı ve transformatörün imhası olmadan onarım süresinin getirilmesine izin verecektir. Dış izleme sistemleri üreticileri, ürünlerini 10-15 yıl içinde çeşitlendirmek için IEC ve CIGRE gibi kurumların himayesinde izleme sistemleri için ihtiyaçlar geliştirmeye çalışmaktadır. Şu anda en kapsamlı belge, Sıvıya Daldırılmış Transformatörlere ve Bileşenlere İzleme Uygulaması için IEEE Kılavuzlarıdır («IEEE Guide for Application of Monitoring to Liquid-Immersed Transformers and Components») ve ana hükümler aşağıda özetlenmiştir. Teşhis parametreleri genellikle, 2004 yılında Sıvıya Daldırılmış Transformatörlere ve Bileşenlere Uygulama İzleme için IEEE Kılavuzu («IEEE Guide for Application of Monitoring to Liquid-Immersed Transformers and Components», 2004) uyarınca izlenir.

Söz konusu teşhis parametreleri aşağıda verilmiştir.

1. Yağda salınan gazlar ve yağdaki nem: Kullanılan sensörlere bağlı olarak, dört tür gaz, bir kompozit değer, bir transformatör arızasına neden olabilecek yağ nem miktarı (örneğin HYDRAN) ve sekiz tür gaz ve yağdaki nem miktarı (örneğin TRANSFIX) olarak izlenebilir. . Yağda salınan gazların miktarı ve artış eğrisi, boşaltma işlemleri veya yalıtımın aşırı yüklenmesi sonucu yalıtımdaki değişiklikleri gösterir. Bu değişiklikler genellikle uzun bir süre boyunca alınan bir yağ numunesinin kromatografik analizi ile belirlenir. Artan yalıtım, transformatörün çalışma durumu için tehlikeli bir faktördür.

2. Akım, gerilim, güç: Transformatörün çalışma parametreleri, yükünü gösterir ve transformatörün ısı ve enerji dengesi modeli için girdi değerleri görevi görür.

3. Kapasite ve tgd fiyatlarındaki değişiklikler: Bu değişiklikler, transformatörün yüksek gerilim destek izolatörleri ile ilgili bir sorunu olduğunu gösterir.

4. Anahtarlama ve atmosferik aşırı gerilimler: Aşırı gerilim kayıtları, yalıtım yükü hakkında bilgi sağlar ve bir arıza durumunda arızanın temel nedenini belirleyebilir.

5. Kısa devre akımları: Akım değer kayıtları, her şeyden önce transformatör sargısının dinamik yükü hakkında bilgi sağlar.

6. Kısmi deşarjlar: Kısmi deşarj seviyesindeki bir artış, katı yalıtımın dielektrik özelliklerinde kademeli bir düşüş olduğunu gösterir.

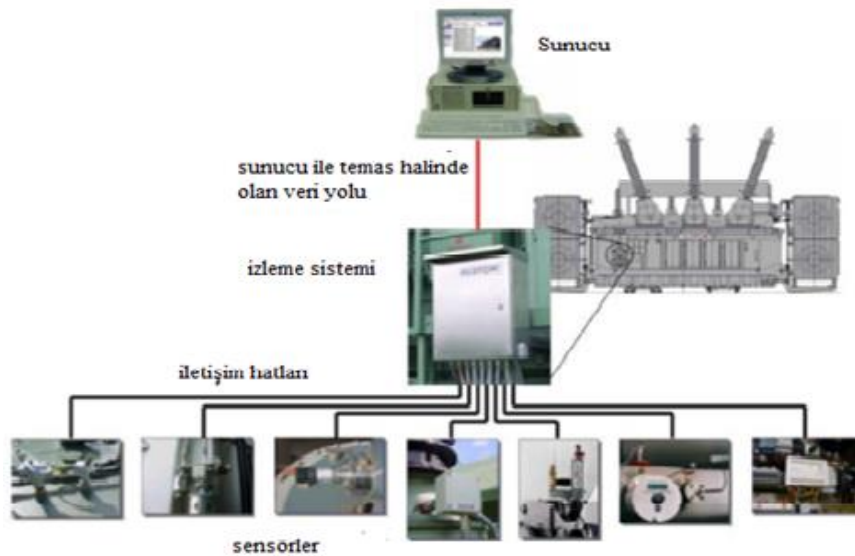
7. Transformatörün farklı bölümlerindeki yağ sıcaklığı: Yağın sıcaklığının ölçülmesi, transformatörün soğutma sisteminin verimliliğini ölçmek ve trafo sargısının en sıcak noktasını ve ısı dengesini hesaplamak için modellerde girdi verisi olarak kullanılmasına izin verir.

8. Yük altında gerilim değıştirici: Gerilim seviyesi dönüştürücünün aktif kuvvet ve konumlarının kayıtları, dönüştürücünün mekanik durumu hakkında bilgi sağlar.

2.4. Tipik Bir İzleme Sisteminin Mimarisi

Aşağıdaki şekil, tipik bir izleme cihazının yapısını göstermektedir. (ALSTOM örneğinde)

Ana unsurlar, transformatörün ana parçalarını kaplayan sensörler, veri toplama ve iletimini sağlayan sensör iletişim kabloları, kontrol paneli üzerindeki ekipman ile merkezi sunucu arasındaki iletişimi sağlayan hatlardır.



Şekil 2.2. Tipik bir izleme sisteminin mimarisi

Yüksek gerilim transformatörleri için izleme, teşhis ve kontrol sistemleri General Electric'in Enerji Bölümü tarafından olmak üzere üç marka altında temsil edilmektedir: HYDRAN®, FARADEY™ ve tMEDIC.



Şekil 2.3. GE HYDRAN® cihazının görünümü

HYDRAN® sistem sensörleri, ekonomik olduğu kadar kaliteli bir transformatör izleme sistemidir. Bu sistem, yağdaki ve önemli gazlardaki nem içeriğinin gerçek zamanlı ölçümüne izin verir. İsteğe bağlı olarak, harici sensörler ve arızaları tespit etmek için matematiksel bir ekipman modeli ile birlikte yağla dolu herhangi bir elektrikli ekipmanın izlenmesini sağlayabilir.

FARADEY™ tMEDIC trafo izleme sistemi, en gelişmiş ve eksiksiz trafo yönetim ve izleme sistemidir.



Şekil 2.4. GE FARADEY™ cihazının genel görünümü

Sistem, HYDRAN® dahil olmak üzere bir dizi sensör kullanarak trafo merkezlerinin kapsamlı bir şekilde izlenmesini ve interaktif tanılmasının yanı sıra trafo merkezinin

otomasyon sistemlerine entegrasyon ve diğer akıllı elektronik cihazlarla iletişim sağlar.

FARADEY TM tMEDIC, yıldırım gibi anlık doğal olayların yanı sıra en yaygın kazaların çoğunu izleme ve teşhis etme yeteneğine sahiptir.

Çoęu durumda, bir felaket meydana gelmeden önce bir arıza tespit edilir, böylece onarım maliyetleri ortadan kaldırılır ve planlanmamış kesintiler önlenir. Potansiyel transformatör arızalarının tahmin edilmesi, transformatörün ömrünün uzatılmasında ve ekonomik avantaj elde edilmesinde önemli bir rol oynar.

FARADAY TM (TNU®), transformatörün çalışmasını izlemenize ve kontrol etmenize, arızaların nedenlerini belirlemenize ve açıkça göstermenize olanak tanıyan dinamik, uyarlanabilir, etkileşimli, akıllı bir sistemdir. Sistemin 32 dijital giriş, 16 analog giriş (DC), 18 analog giriş (AC) ve 10 A'ya kadar izin veren 8 dijital çıkış rölesi vardır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

CNIM GRUBU GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN KROMOTOGRAFİK ANALİZİ

3.1. Kromatografik Analizin Yapılması

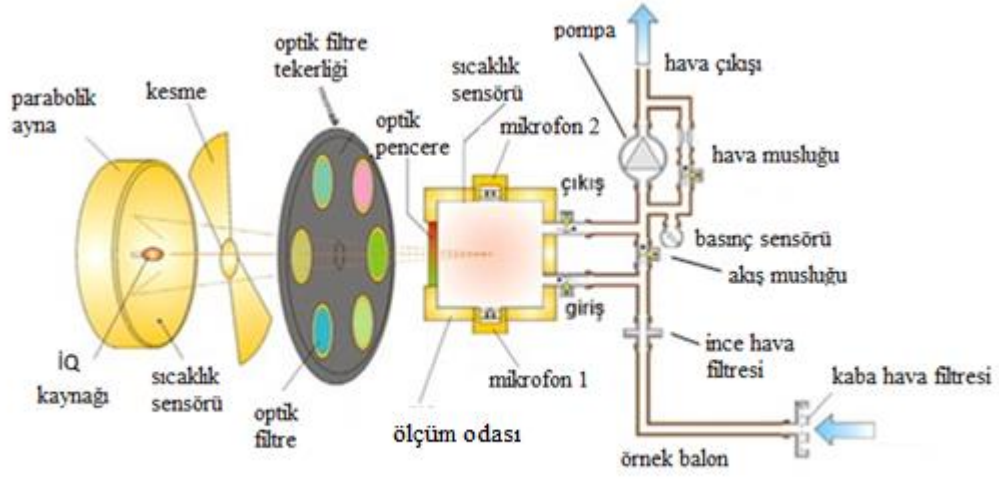
DGA gelişmiş bir yöntemdir ve güç trafolarının izlenmesinde kullanılan en önemli testtir. Bu test halihazırda diğer ekipmanlara, kademeli değiştiricilere ve kesicilere uygulanmıştır.

Bu çalışmada General Electric üretiminde yaygın olarak kullanılan Kelman Transport X cihazı kullanılmıştır. Transport X, dakikalar içinde doğru, güvenilir sonuçlar sunmak için modern kızılötesi ölçüm teknolojisini kullanır. Kapsamlı laboratuvar ve saha çalışması, Transport X cihazının güvenilirliğini ve sahada kullanım için uygunluğunu kanıtlamıştır. Cihaz, yağdaki gaz konsantrasyonlarını ppm olarak belirler ve kullanıcının anlayabileceği bir şekilde sunar (Duvar üçgen diyagramı, anahtar gaz analizi).



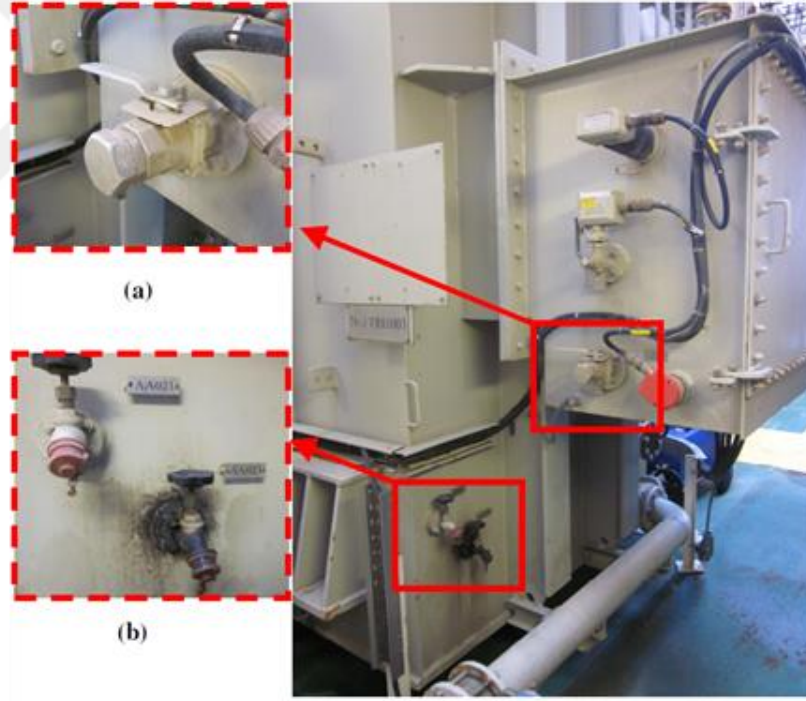
Şekil 3.1. GE Kelman Transport X cihazının görünümü

Transport X cihazı, Foto Akustik Spektroskopi yöntemini kullanarak yağdaki gaz konsantrasyonlarını belirler.



Şekil 3.2. Akustik spektroskopun prensip şeması

DGA ve diğer analizler, CNIM Group trafolarından alınan yağ numuneleri esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.3. Yüksek gerilim trafosunun yağ örnekleme

3.2. DGA Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Tablo 3.1. Test kayıtları ve trafo parametreleri

Test Notları			
Cihaz:	TR 1	WO numarası	T/E
Örnek tarihi:	19/12/2017	şirket	CNİM
Analiz tarihi:	19/12/2017	Devre:	VERS 110 KV
Seri numarası:	30N100120.01	Beslenme:	0BBA01
Yer türü:	Küçük pencere ile korunmalı	Tamamlayan	Z.N & I.K
TRAFO PARAMETRELERİ			
Üretici:	Siemens	Yağ türü	Nytro 10 XN
Model:	11TRP63000-123	Toplam kütle	73000
Gerilim:	110 / 15kV	Yağ kütlesi	15500
Güç:	63 MVA	Üretim yılı	2011

Tablo 3.2

DGA TEST SONUCU		
GAZ	Kısaltma	Konsantrasyon
Hidrojen	H2	<5
Karbon dioksit	CO2	841
Karbonmonoksit	CO	161
Etilen	C2H4	5
Ethan	C2H6	4
Metan	CH4	2
Asetilen	C2H2	0.5

Tablo 3.3

Gaz konsantrasyonu sınırları			
GAZ	Kısaltma	Dikkat (ppm)	Uyarı (ppm)
Hidrojen	H2	100	700
Karbon dioksit	CO2	2500	4000
Karbonmonoksit	CO	350	570
Etilen	C2H4	50	100
Ethan	C2H6	65	100
Metan	CH4	120	400
Asetilen	C2H2	2	5

Etiket değerlerine göre Nytro 10 XN yalıtım yağının maksimum 35 ppm su içermesine izin verilmektedir. Test sonucu, su konsantrasyonunun (26 ppm) izin verilen sınırı yaklaşık olarak altında olduğunu göstermektedir.

Perforasyon gerilim testi IEC 156 1995'e göre yapılmıştır (küresel elektrotlar ve elektrotlar arasındaki mesafe 2,5 mm). 6 testin ortalama gerilimi 69.9 kV idi. Bu ürünün etiket değerlerine uygundur (elektrotlar arasındaki mesafe 2,5 mm, kırılma gerilimi 55-70 kV).

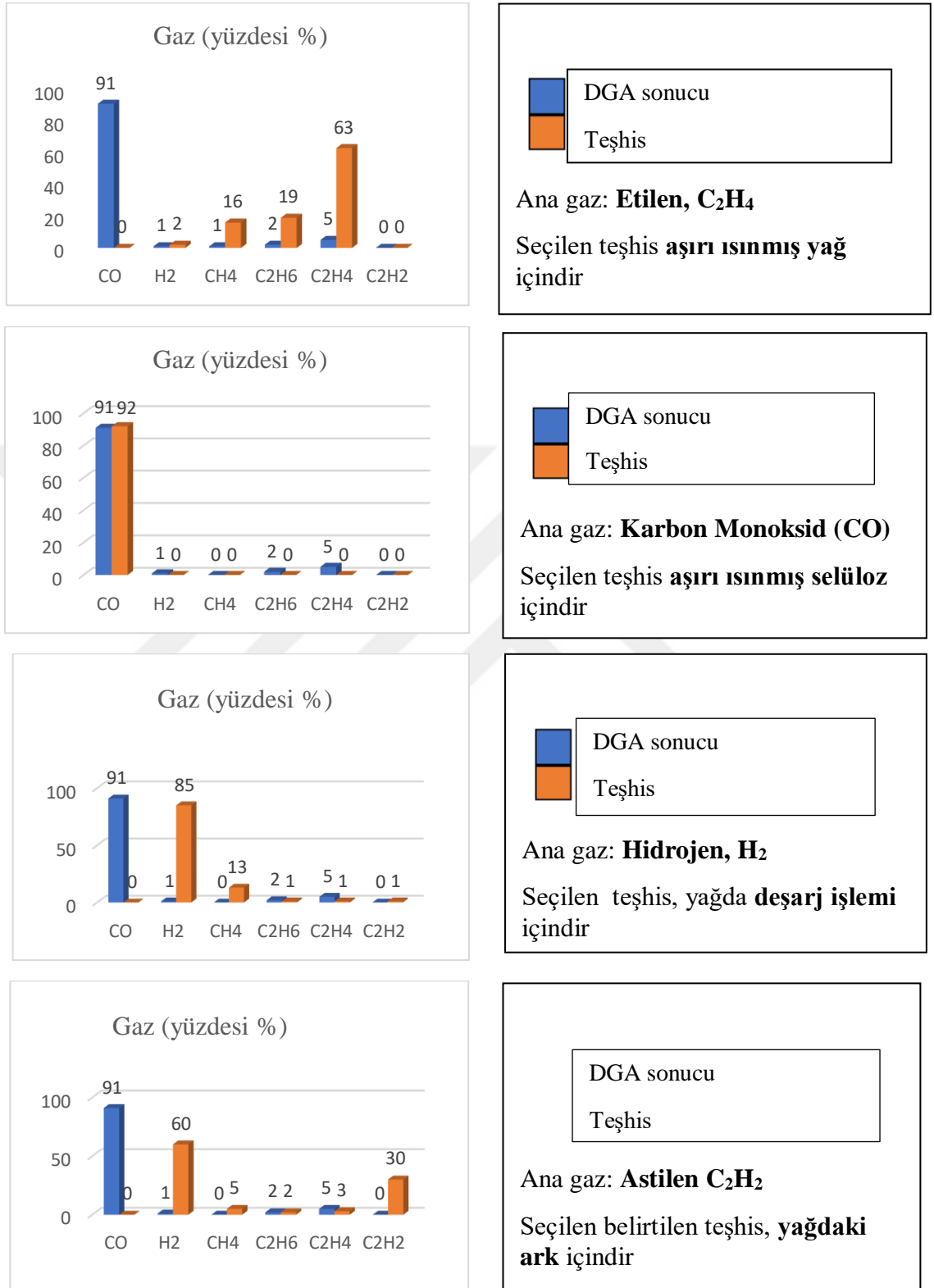
DGA: Temel gaz teşhisi ile ilgili açıklamaya göre, önceki sonuçlara kıyasla CO konsantrasyon oranı nedeniyle hala aşırı ısınma var. Duvar üçgeninin teşhisine göre: T3 tipi termal arıza (700 ° C'nin üzerinde) gözlemlendi. ETRA tanısı sıcaklık artışına neden olan deşarjların varlığını gösterdi.

Bu nedenle daha detaylı bir sonuç almak için DGA analizini 6-12 ay sonra tekrarlamak gerekir.

Tablo 3.4. Perforasyon gerilim testi sonuçları

Test Metodu - IEC 156 1995 (2,5 mm aralık)		
Perforasyon gerilim testi	(kV)	Ortalama, (kV)
Test No 1	73.9	69.9
Test No 2	62.4	
Test No 3	62.1	
Test No 4	59.5	
Test No 5	75.9	
Test No 6	85.6	

Gaz Teşhisi (IEEE C57.104-1991 standardına göre)



Şekil 3.4. TR1 Temel gazların yüzde oranları

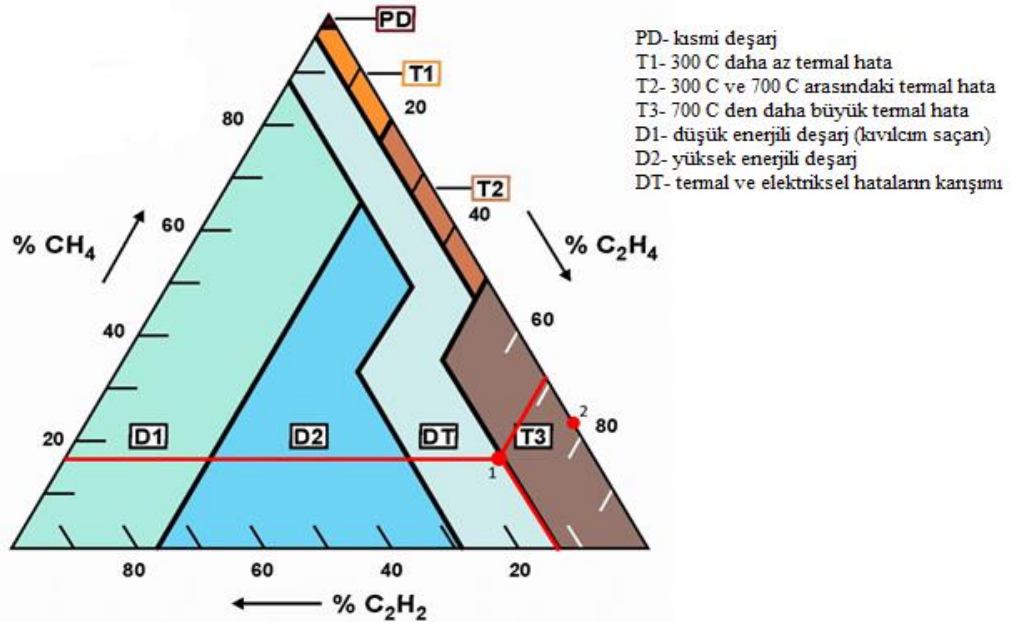
3.2.1. Roger oran teşhisi (IEEE C57.104-1991'e göre)

Tablo 3.5. Gazların oranı

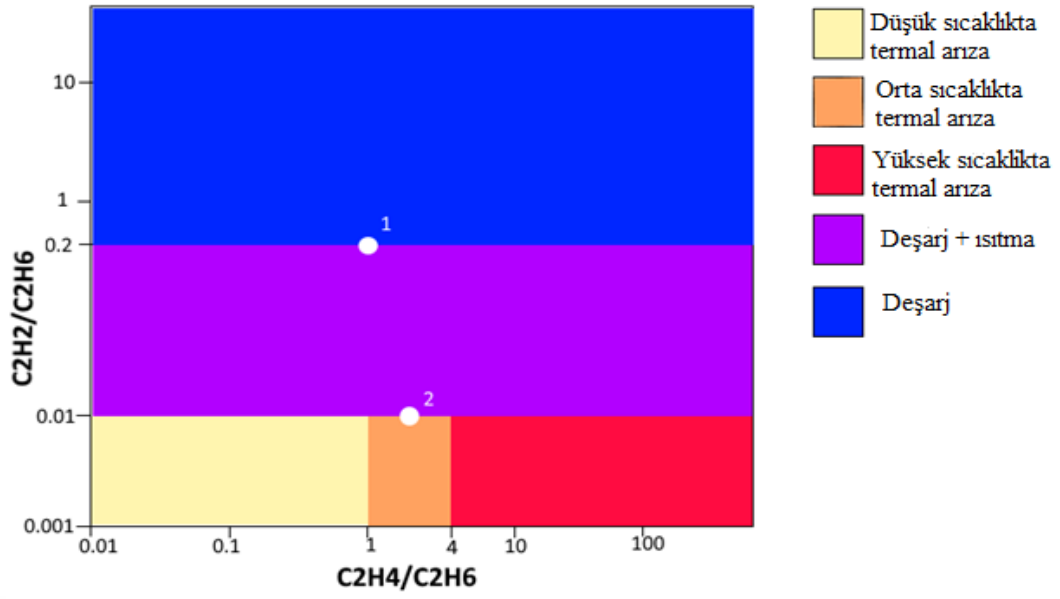
Oran	Değer
CH ₄ /H ₂ (R1)	2.49
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ (R2)	0.01
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆ (R5)	2.02
C ₂ H ₆ /CH ₄	1.64
CO ₂ /CO	5.43

Doğru tanı koymak için bazı gaz konsantrasyonları çok düşüktür.

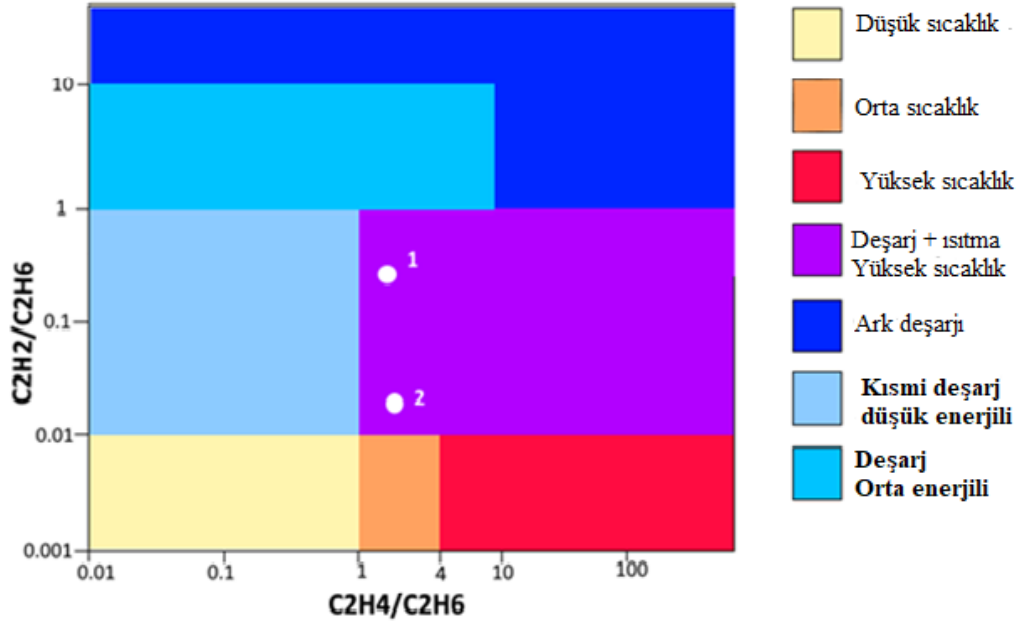
Duvar Üçgeni Teşhisi (Tech Con 2004 Michel Duval)



Şekil 3.5. TR1 Duvar üçgeni

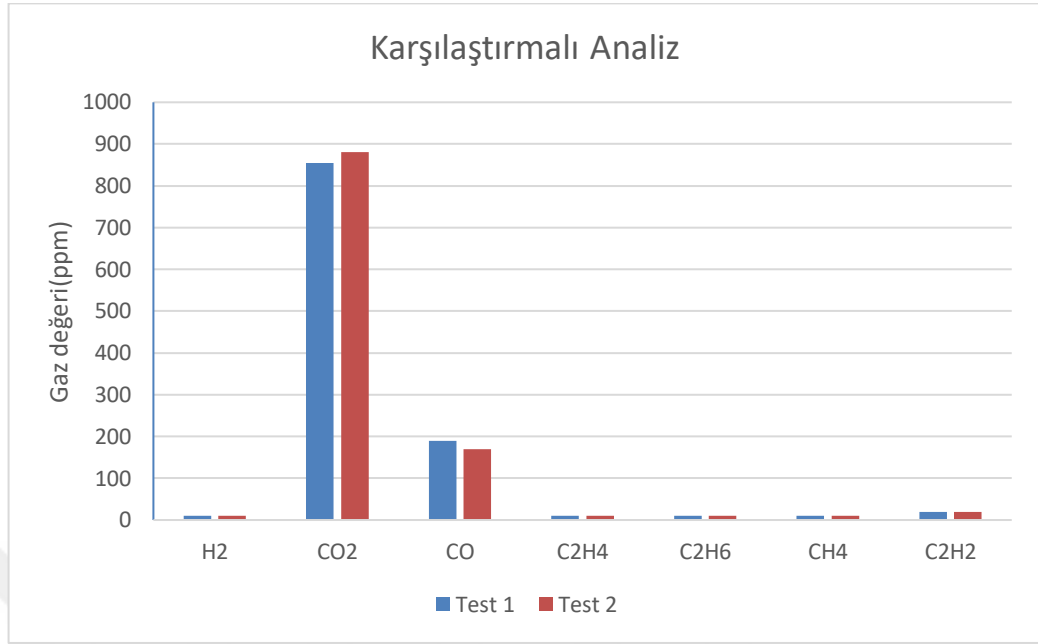


Şekil 3.6. Aşırı ısınma ve deşarjın sınıflandırılması



Şekil 3.7. Deşarjın özellikleri

3.2.2 Transformator yağı üzerinde yapılan testlerin karşılaştırmalı analizi



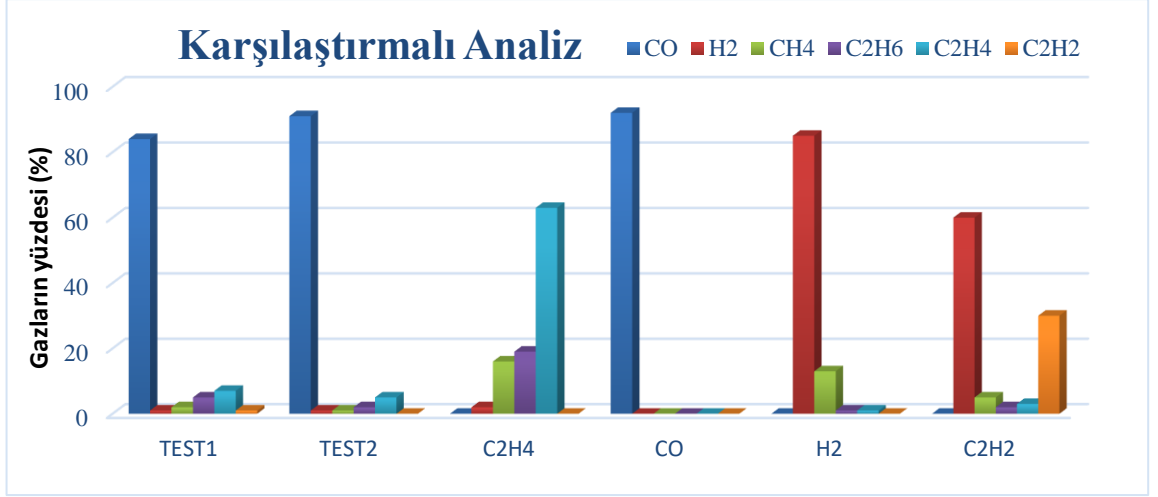
Şekil 3.8. TR1 DGA sonuçlarının karşılaştırılması

Görüldüğü gibi iki ay farkla test sonuçları arasında önemli bir fark yoktur. İlk yağ numunesini alırken trafonun çalışmadığına dikkat edilmelidir.

3.2.3 Gaz analizi

Tablo 3.6. Test sonuçları

%	TEST1	TEST2	C2H4	CO	H2	C2H2
CO	84	91	0	92	0	0
H2	1	1	2	0	85	60
CH4	2	1	16	0	13	5
C2H6	5	2	19	0	1	2
C2H4	7	5	63	0	1	3
C2H2	1	0	0	0	0	30



Şekil 3.9. TR1 Temel gaz analizi

Bu yöntem, 4 tipik arızanın ölçüm sonuçlarını görsel olarak karşılaştırmanıza olanak tanır. Tipik sonucun belirlenmesinde, aşırı ısınmış selüloz teşhisinin sonuçları daha iyi bir karşılaştırmaya izin verir.

Tablo 3.7. Test kayıtları ve trafo parametreleri

Test Notları			
Cihaz:	TR 11	WO numarası	T/E
Örnek tarih:	15/12/2017	Şirket	CNİM
Analiz tarihi:	15/12/2017	Devre:	690V SWBD L1
Seri numarası:	B190243	Beslenme:	0BBA03
Yer türü:	Hermetik olarak mühürlenmiş	Tamamlayan	Z.N & I.K
TRAFO PARAMETRELERİ			
Üretici:	Siemens	Yağ türü	Nynas Nytro Libra
Model:	4HD6358-8ZE05	Toplam kütle	4770 kq
Gerilim:	15kV /0.690kV	Yağ kütlesi	820 kq
Güç:	2 MVA	Üretim yılı	2011

Tablo 3.8

DGA TEST SONUCU		
GAS	Kısaltma	Konsantrasyon
Hidrojen	H2	<5
Karbon dioksit	CO2	1065
Karbonmonoksit	CO	7
Etilen	C2H4	9
Ethan	C2H6	2
Metan	CH4	5
Asetilen	C2H2	0

Tablo 3.9

Gaz konsantrasyonu sınırları			
GAS	Kısaltma	Dikkat (ppm)	Uyarı (ppm)
Hidrojen	H2	100	700
Karbon dioksit	CO2	2500	4000
Karbonmonoksit	CO	350	570
Etilen	C2H4	50	100
Ethan	C2H6	65	100
Metan	CH4	120	400
Asetilen	C2H2	2	5

Etiket değerlerine göre Nytro Libra yalıtım yağının maksimum 30 ppm su içermesine izin verilmektedir. Test sonucu, su konsantrasyonunun (32 ppm) izin verilen sınırla yaklaşık olarak aynı olduğunu göstermektedir.

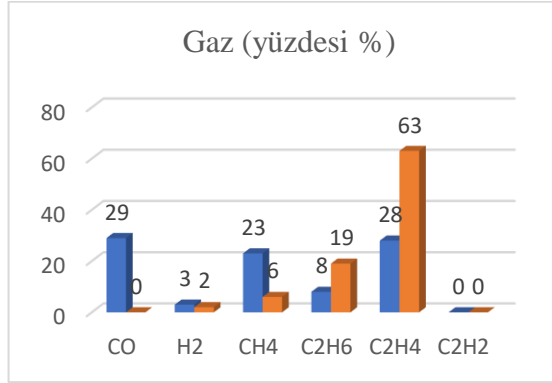
DGA: Temel gaz teşhisinin yorumuna göre, önceki sonuçlara kıyasla CO2 konsantrasyonunda önemli bir artış var.

Roger oranı, teşhisin 700 ° C'nin üzerinde bir termal arıza olduğunu gösterdi. CO2 / CO oranı ikiye katlandı. Duvar Üçgeni teşhisine göre: T3 tipi termal arıza (700 ° C'nin üzerinde) gözlemlendi.

Öneri: Transformatör güvenilir bir şekilde çalışabilmesine rağmen. Transformatörün son 7 gün içinde çalışmaması hatalı DGA sonuçlarına neden olabilir.

Bu nedenle DGA analizinin daha detaylı bir sonuç almak için 3-6 ay içerisinde tekrar edilmesi gerekmektedir.

Gaz Teşhisi (IEEE C57.104-1991 standardına göre)

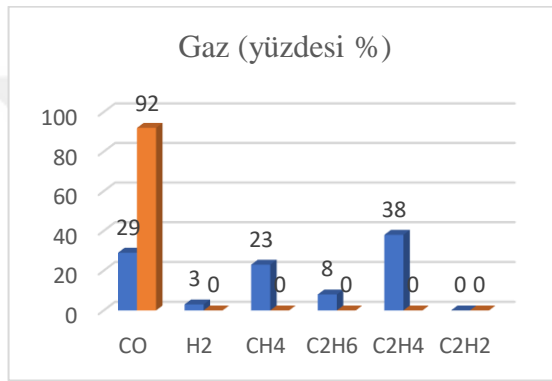


DGA sonucu

Teşhis

Ana gaz: **Etilen, C2H2**

Seçilen teşhis **aşırı ısınmış yağ** içindir

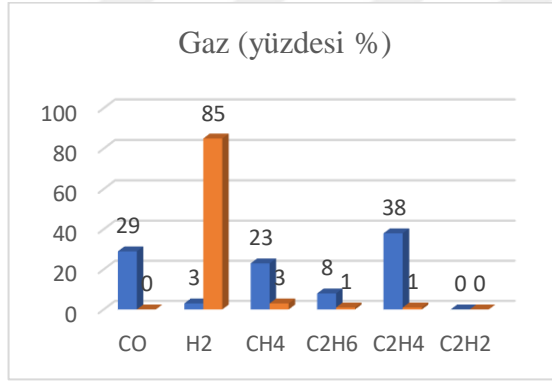


DGA sonucu

Teşhis

Ana gaz: **Karbonmonoksit, CO**

Seçilen teşhis tanı **aşırı ısınmış selüloz** içindir

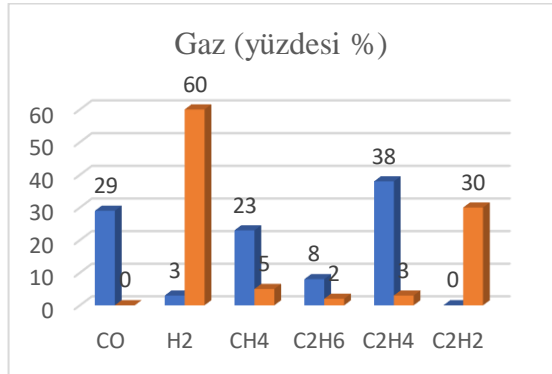


DGA sonucu

Teşhis

Ana gaz: **Hidrojen, H2**

Seçilen teşhis, **yağda taçlama** işlemi içindir



DGA sonucu

Teşhis

Ana gaz: **Astilen C2H2**

Seçilen teşhis, **yağdaki ark** içindir

Şekil 3.10. TR11 Gaz oranları

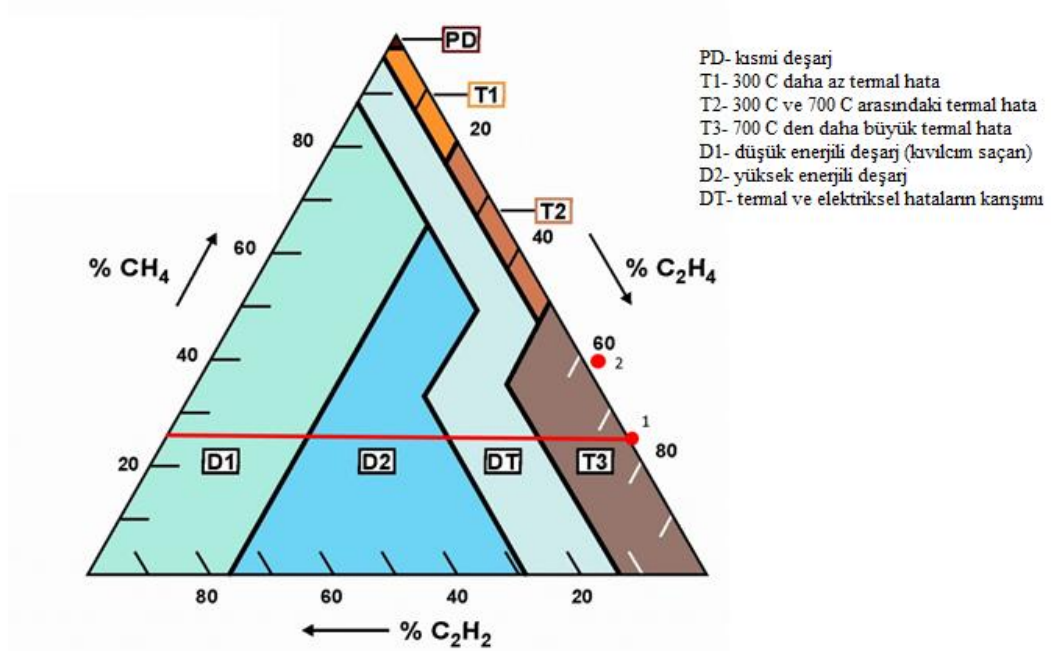
Roger Oran Teşhisi (IEEE C57.104-1991'e göre)

Tablo 3.10. Gazların oranı

Oran	Değer
CH ₄ /H ₂ (R1)	7.86
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ (R2)	-0.03
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆ (R5)	4.76
C ₂ H ₆ /CH ₄	0.35
CO ₂ /CO	152.84

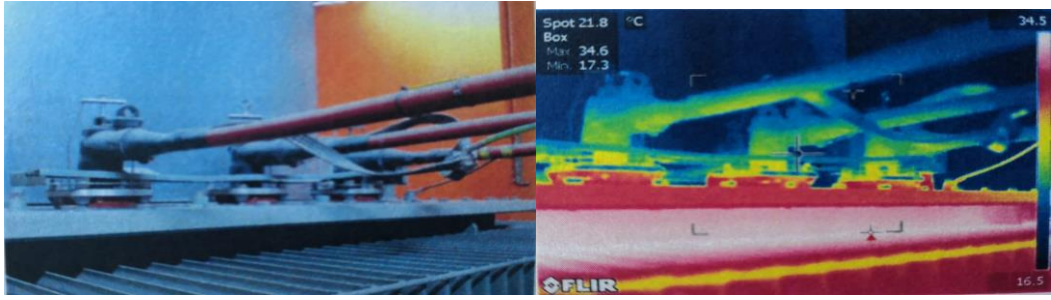
Doğru tanı koymak için bazı gaz konsantrasyonları çok düşüktür.

Duvar Üçgeni Teşhisi (Tech Con 2004 Michel Duval)



Şekil 3.11. TR11 Duvar üçgeni

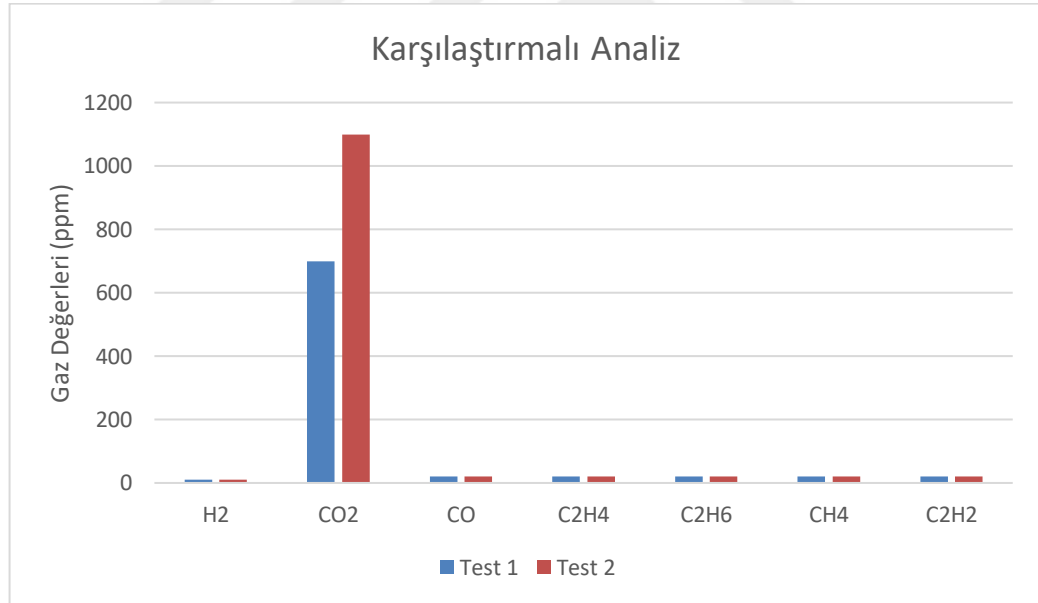
3.2.4 Transformatörün termografik analizi



Şekil 3.12. FLIR P620 kızılötesi kamera ile çekilmiş bir transformatörün yüksek gerilim kablo bağlantılarının görüntüsü

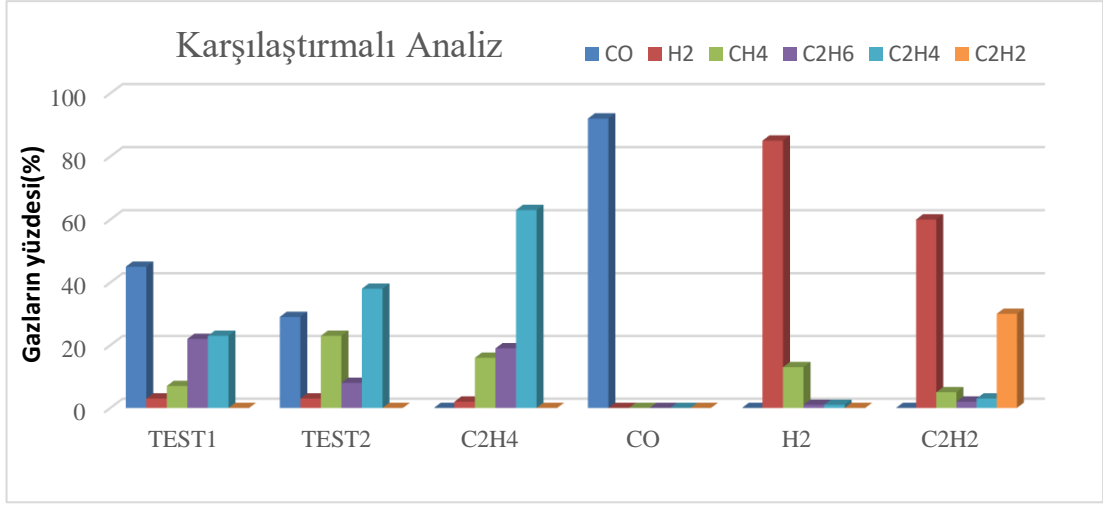
Haricinde sıcaklık gözlenmedi. Transformatörün yüksek gerilim kablo bağlantıları tatmin edicidir.

Transformatör yağı üzerinde yapılan testlerin karşılaştırmalı analizi



Şekil 3.13. TR11 DGA sonuçlarının karşılaştırılması

Görülebileceği gibi, CO2 konsantrasyonunda önemli bir fark vardır. İlk yağ numunesini alırken, transformatörün 1 haftadan daha uzun süredir çalışmadığına dikkat edilmelidir. Ancak bu fark, transformatörün aşırı ısınmasından kaynaklanıyor olabilir. Oksijen sızması, transformatörün hermetik korumasında bir sorun olduğunu gösterebilir. Doğru sonucu elde etmek için, transformatör 6 ay sonra yeniden teşhis edilmelidir.



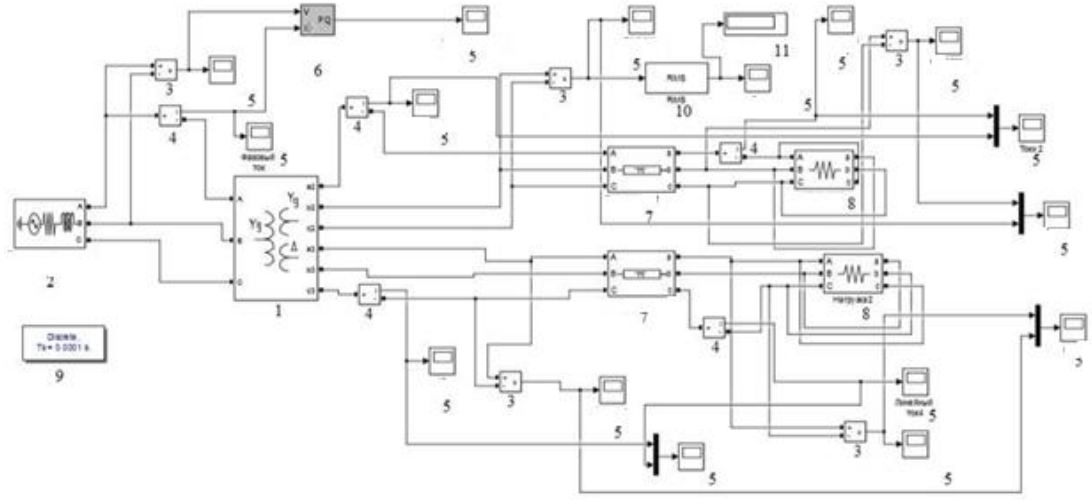
Şekil 3.14. Gaz analizi

%	TEST1	TEST2	C2H4	CO	H2	C2H2
CO	45	29	0	92	0	0
H2	3	3	2	0	85	60
CH4	7	23	16	0	13	5
C2H6	22	8	19	0	1	2
C2H4	23	38	63	0	1	3
C2H2	0	0	0	0	0	30

Tablo 3.11. TR11 Temel gaz analizi

Bu yöntem, 4 tipik arızanın ölçüm sonuçlarını görsel olarak karşılaştırmanıza olanak tanır. Tipik sonucun belirlenmesinde hiçbir tanı yöntemi uygun değildir.

3.3. MATLAB/SİMULİNK Ortamındaki Matematiksel Modele Genel Bakış



Şekil 3.15 - Matematiksel modelin Matlab/Simulink benzetimi

Şekil 3.15'deki bloklar aşağıdaki gibi numaralandırılmıştır:

- 1- Trifaze transformatör,
- 2- Trifaze güç kaynağı
- 3- Gerilim ölçümü
- 4- Akım ölçümü
- 5- Osiloskop çıkış parametreleri (Scope)
- 6- Aktif reaktif güç ölçüm birimi (Güç ölçümü)
- 7- Yüksek gerilim enerji hattı (Üç Fazlı PI Kesit hattı)
- 8- Trafo yükü
- 9- Model kontrol ünitesi
- 10- Sinyalin ortalama değerini gösteren blok
- 11- Genliği gösteren ekrandır.

Trafo merkezinde paralel olarak bağlanmış iki transformatör vardır. Benzetim sırasında her bir transformatör% 50,% 70,% 100 oranında yüklenir. Bir arıza durumunda,trafolardan biri arızalandığında, kalan trafo, trafo merkezinin tam yükünü taşır.

3.4. Matematiksel Bir Modelin Parametrelerini Belirleme

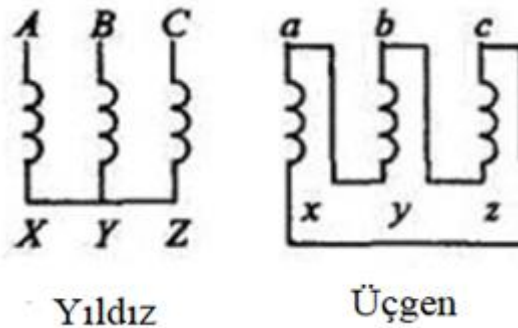
Matematiksel modeli ifade ederken önceki bölümlerde elde edilen bilgiler ve parametreler bize yol gösterecektir. Bu nedenle güç kaynağı, trafo, güç hatları ve yüklerin parametrelerini belirlemek gerekir.

Güç kaynağı olarak üç fazlı bir kaynak kullanılır. Güç hattını temsil eden üç fazlı bir güç kaynağıdır. Çalışma gerilimi 110kV olduğu için çıkış gerilimini ortalama gerilim olarak 110 kV olarak ayarlandı. Şebeke frekansının 50 Hz olduğu varsayılmıştır. Matematiksel modeldeki tüm değerler göreceli birimlerle ifade edildiğinden, 110 kV'a karşılık gelen referans gerilimi belirlenmelidir.

Üç fazlı bir transformatör bloğunun parametrelerini belirlerken, sargıların bağlantı grubunu seçmek gerekir. Üç fazlı bir transformatörün sargılarını bağlarken, farklı bağlantı grupları kullanılır. Pratikte, güç sistemi çok sayıda sargı bağlantı grubu gerektirmez. Olası sargı bağlantı grupları GOST 11677-85 tarafından tanımlanmıştır. Bu nedenle, üç fazlı üç sargılı transformatörler için iki sargı bağlantısı kullanılır:

- 1) Yüksek gerilim sargıları nötr noktası olarak topraklanmıştır - yıldız ve alçak gerilim sargıları ise üçgen şeklinde bağlanmıştır.
- 2) Yüksek gerilim sargıları yıldız , alçak gerilim sargıları ise üçgen olarak bağlanır.

Güç transformatörlerinde, alçak gerilim sargılarının anma akımı genellikle birkaç bin amperdir ve üçgen bağlantı daha uygundur. Çünkü aynı gücün faz akımı yıldız bağlantısından $\sqrt{3}$ kat daha küçük olacaktır. 5600 kVA ve daha büyük güçteki transformatörler için ilk sargı bağlantı şekli kullanılır. Sargı bağlantı prensibi Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 - Sargı bağlantıları

Transformatör sargılarının bağlantı modelini seçtikten sonra, transformatörün toplam gücünün yanı sıra sargının nominal gerilimini, aktif direncini, endüktif direncini belirlemek gerekir.

Üç sargılı bir transformatörün sargı direnci aşağıdaki formülle belirlenir:

$$R_{Sarğ.YG} = \frac{\Delta P_{YG} * U_{YG}^2}{S_{nom}^2} \quad (3.1)$$

$$R_{Sarğ.A} = \frac{\Delta P_{AG} * U_{AG}^2}{S_{nom}^2} \quad (3.2)$$

Burada ΔP_{YG} , ΔP_{OG} , ΔP_{AG} yüksek, orta ve alçak gerilim sargılarında aktif güç kaybı olduğunda, U_{YG}^2 , U_{OG}^2 , U_{AG}^2 yüksek orta ve alçak gerilim seviyeleri, S_{nom}^2 - transformatörün nominal gücüdür.

Üç sargılı bir transformatör için aşağıdaki eşitliği kabul edebiliriz

$$\Delta P_{YG} = \Delta P_{AG} = \Delta P_{CG} * 0.5 \quad (3.3)$$

Trafonun etiket verilerine göre kısa devre kayıpları 130 kW, gerilim seviyesi 110 kV, 15 kV'dur. Transformatör sargılarının reaktif direnci aşağıdaki formüllerle belirlenebilir.

$$X_Y = \frac{U_{yg} * U_{YG}^2}{100 * S_{nom}^2} \quad (3.4)$$

$$X_A = \frac{U_{ag} * U_{AG}^2}{100 * S_{nom}^2} \quad (3.5)$$

Burada U_{yg} , U_{og} , U_{ag} yüksek, orta ve alçak gerilim sargılarının kısa devre gerilimleridir.

Reaktif direnc bilirse, sargının endüktansı aşağıdaki ifadeler ile kolayca yazılabilir.

$$L_y = \frac{X_Y}{2 * \pi * f} \quad (3.6)$$

$$L_a = \frac{X_A}{2 * \pi * f} \quad (3.7)$$

Burada f şebeke frekansıdır.

(3.1) - (3.7) formülleri kullanarak, Tablo 3.12'deki direnç ve endüktansları elde ederiz.

Tablo 3.12. Direnç ve endüktanslar

Sargı	$U_{nom.}(kV)$	$R, (Ohm)$	I (A)
(YG)	110	1.58	0.18
(AG)	15	0.014	0.11

Bu bilgilere ek olarak, manyetizasyon direncinin belirlenmesi de gereklidir:

$$R_m = \frac{U_{YG}}{I_{yi}} \quad (3.8)$$

Burada U_{YG} - yüksek gerilim sargısının gerilimi, I_{yi} ise transformatörün yüksüz akımıdır. Transformatörün etiket verilerine göre yük akımı, transformatörün anma akımının % 0,31'i kadardır, yük akımının sayısal değeri aşağıdaki formülle belirlenir:

$$I_{yi} = \frac{P_{tr}}{\sqrt{3} \cdot U_{YG}} * 0.0031 \quad (3.9)$$

Burada P_{tr} transformatörün gücüdür.

$$I_{yi} = \frac{50.4 \cdot 10^6 * 0.031}{\sqrt{3} * 110 \cdot 10^3} = 2.1A \quad (3.10)$$

Böylece, formül (3.7) 'e göre:

$$R_m = \frac{110 \cdot 10^3}{2.1} = 52.38 * 10^3 Om \quad (3.11)$$

Faz telinin enine kesitine eşit bir kesite sahip bir güç hattı için, sıfır bileşen aktif ve endüktif dirençler aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$r_0 = r_p + 3 * r_p \quad (3.12)$$

$$x_0 = x_n + 3 * x_n \quad (3.13)$$

Burada r_p ve x_n aktif ve endüktif dirençlerdir.

Kesiti $95 mm^2$ olan çelik alüminyum tel için aktif ve endüktif dirençler sırasıyla 0,3 Om / km ve 0,371 Om / km'dir.

$$r_0 = 0.3 + 3 * 0.3 = 1.2 Om/km \quad (3.14)$$

$$x_0 = 0.371 + 3 * 0.371 = 1.484 Om/km \quad (3.15)$$

Spesifik indüktansları formül (3.7) - (3.9) ile benzer şekilde aşağıdaki gibi elde ederiz

$$L_n = \frac{x_n}{2 \pi f} = \frac{0.371}{2\pi*50} = 0.00118 \text{ Hn/km} \quad (3.16)$$

$$L_n = \frac{x_0}{2 \pi f} = \frac{1.484}{2\pi*50} = 0.00472 \text{ Hn/km} \quad (3.17)$$

Yük bloğunun bağlantı devresi üçgen bir devredir. Bu devre, yük boyunca akan akımı azaltmak içindir. Bir transformatörün yük bloğunu belirlerken, yükü tamamen aktif bir yük olarak tanımlarız. Aktif direnç değiştirilerek yük değiştirilebilir. Şebekenin sabit gerilimi göz önüne alındığında, aktif gücün aktif dirence bağlı olduğunu varsayıyoruz.

$$P_{yük} = \frac{U_{şebeke}^2}{R_{yük}} \quad (3.19)$$

Burada $U_{şebeke}$ şebeke gerilimi, $P_{yük}$ aktif yükün gücü, $R_{yük}$ ise yük direncidir. Trafo merkezinin tam yükü (güç faktörü 1) dikkate alınmalıdır. Günlük yük programı gün boyunca değiştiğinden, standart olmayan durumlar olabilir. Bu durum için 0,5'lik bir güç faktörü hesaba katılır. Trafo merkezinin çalışma modlarından biri acil durumdur. Acil bir durumda, operasyonel trafolardan biri tüm tüketicilere tam güç sağlamalıdır.

Bu nedenle s / s tasarım tavsiyelerine göre arıza yük seviyesi, trafonun normal yük seviyesinin 2 katı olmalıdır, yani 1.4 fazla olmalıdır.

Tablo 3.13. Trafo aktif yük ve yük dirençleri

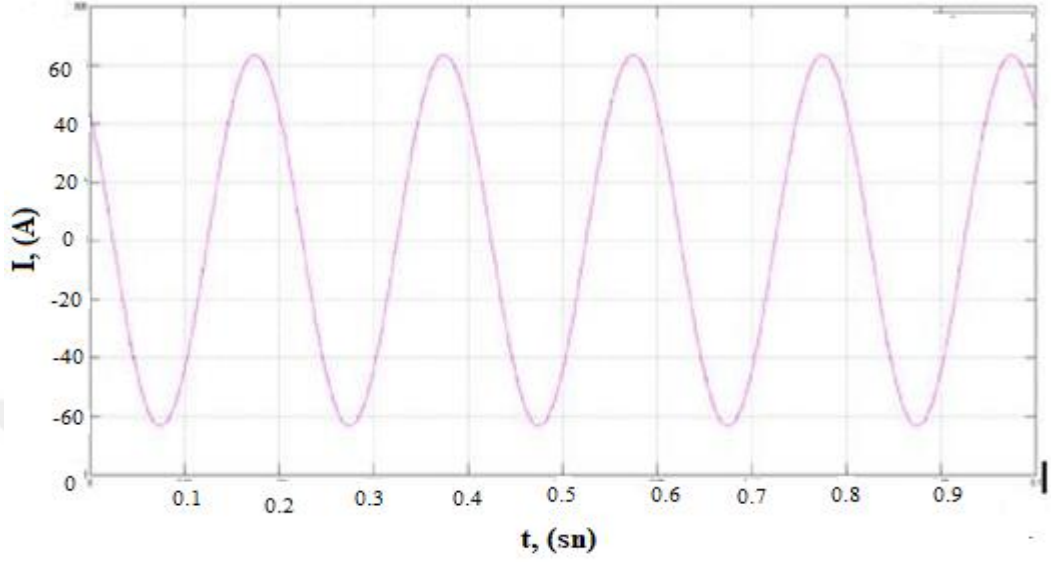
Transformatörün güç faktörü	Her sargının aktif yükü (MW)	Yük direnci, (Ohm)
		15kV sargısı
0.5	6.15	28.13
0.7	8.61	20.1
1	12.3	14.06
1.4	24.5	7.06

3.5. Transformatörün Farklı Çalışma Modlarının Benzetimi.

Daha önce bahsedildiği gibi, benzetim ortamında dört farklı trafo çalışma modu (%50, %70, %100, %140 oranında yükler için) için gerçekleştirilecektir.

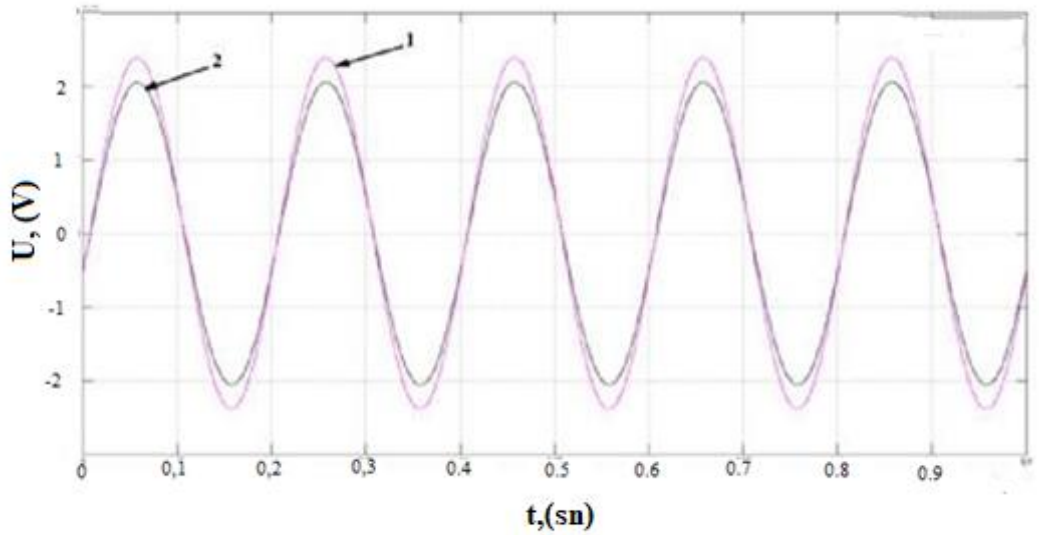
Transformatörün çıkışındaki akım ve gerilim karakteristikleri çıkarılacak ve transformatörün çıkışındaki yük ile karşılaştırılacaktır. Seçilen bağlantı şeması üçgen olduğundan, hat akımı faz akımından büyük olacak ve hat gerilimi faz gerilimine eşit

olacaktır. Grafik 3.17-3.24, söz konusu modlar için hat akımı ve geriliminin özelliklerini göstermektedir.



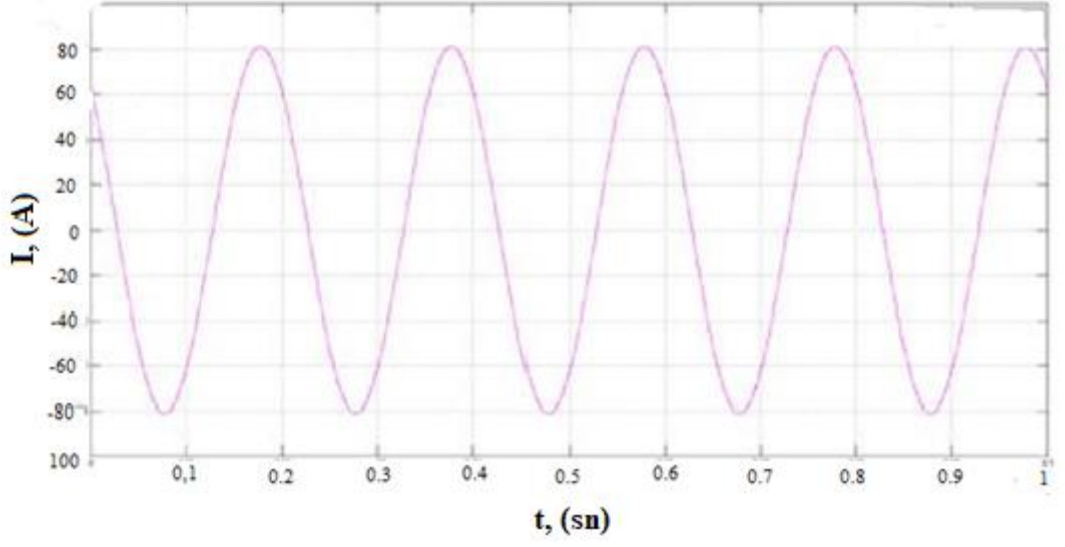
Şekil 3.17 - 15 kV hat akımı (%50 yük için)

Şekil 3.17, 10 kV taraftaki gerilimi göstermektedir. 1 numaralı yükteki gerilimi ve 2 numaralı trafo çıkışındaki gerilimi gösterir. Bu gerilimler fazda üst üste biner, ancak güç hatlarının kaybının bir sonucu olarak genlikleri farklıdır. Diğer özellikler benzer şekilde davranır.

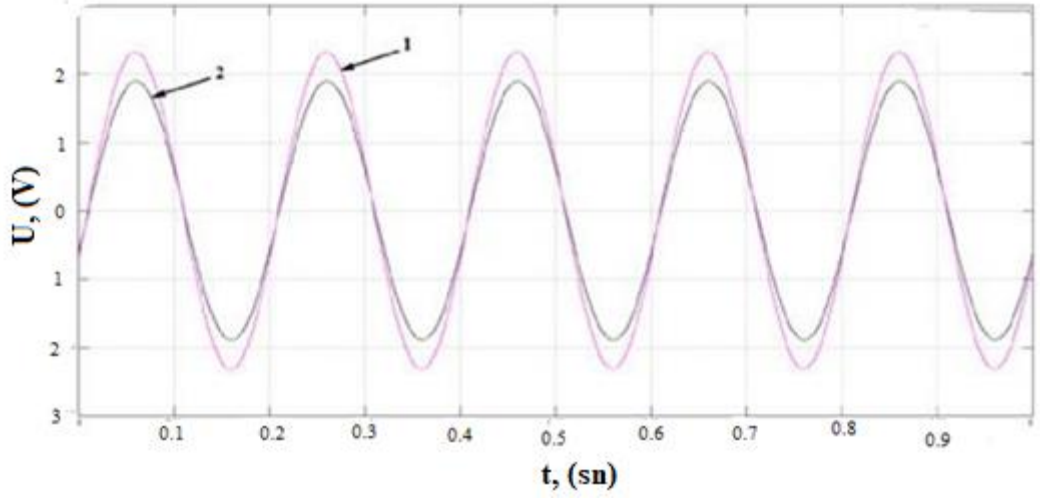


Şekil 3.18 - 15 kV taraftaki faz gerilimi (%50 yük için)

(1 - Transformatör çıkış gerilimi, 2 - Yük gerilimi)

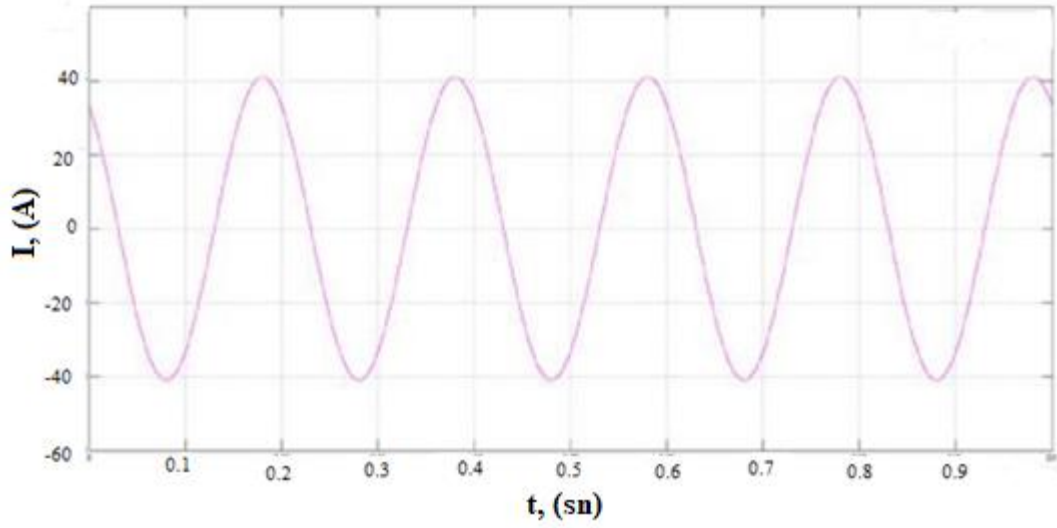


Şekil 3.19 - 15 kV tarafındaki hat akımı (%70 yük için)

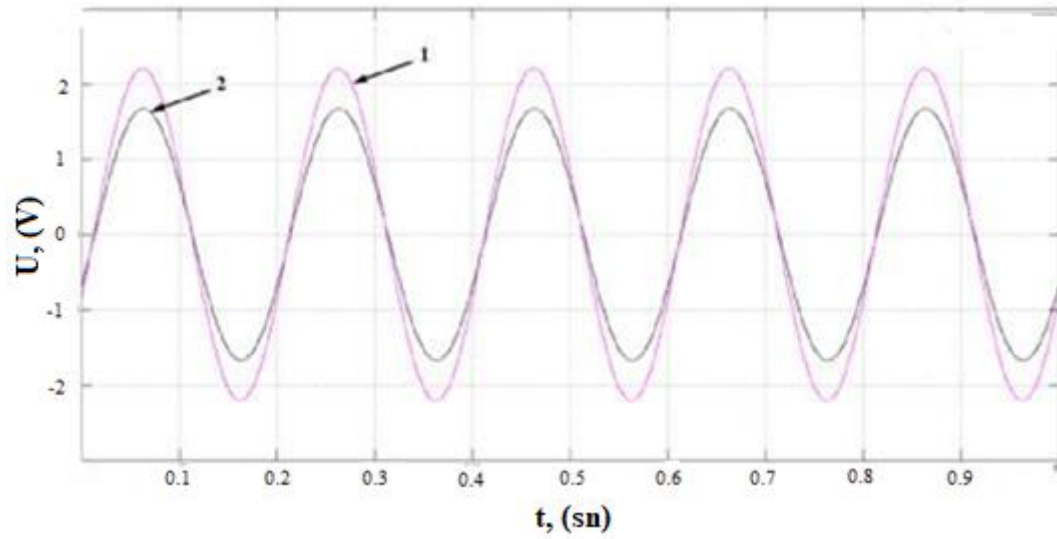


Şekil 3.20 - 15 kV tarafındaki faz gerilimi (%70 yük için)

(1 - Transformatör çıkış gerilimi, 2 - Yük gerilimi)

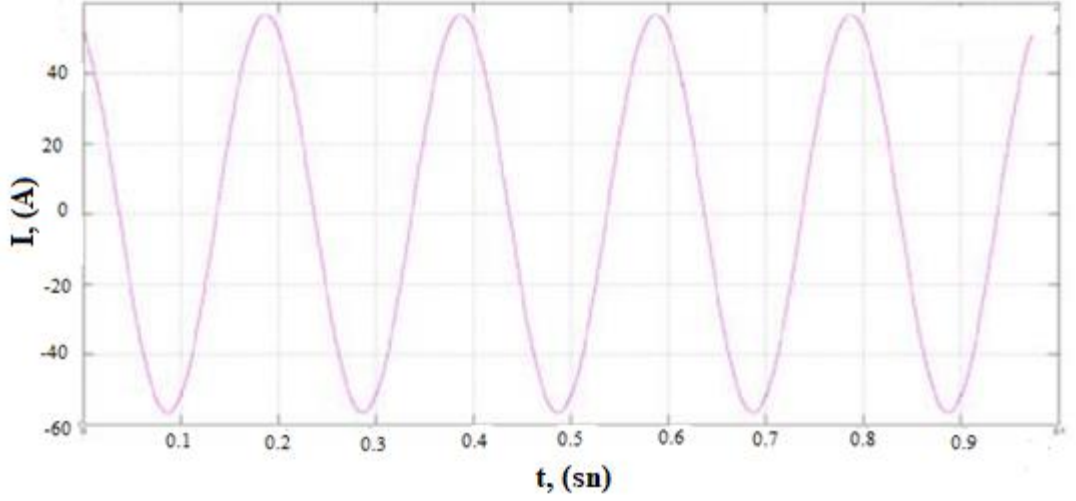


Şekil 3.21 - 15 kV yan hat akımı (% 100 yük için)

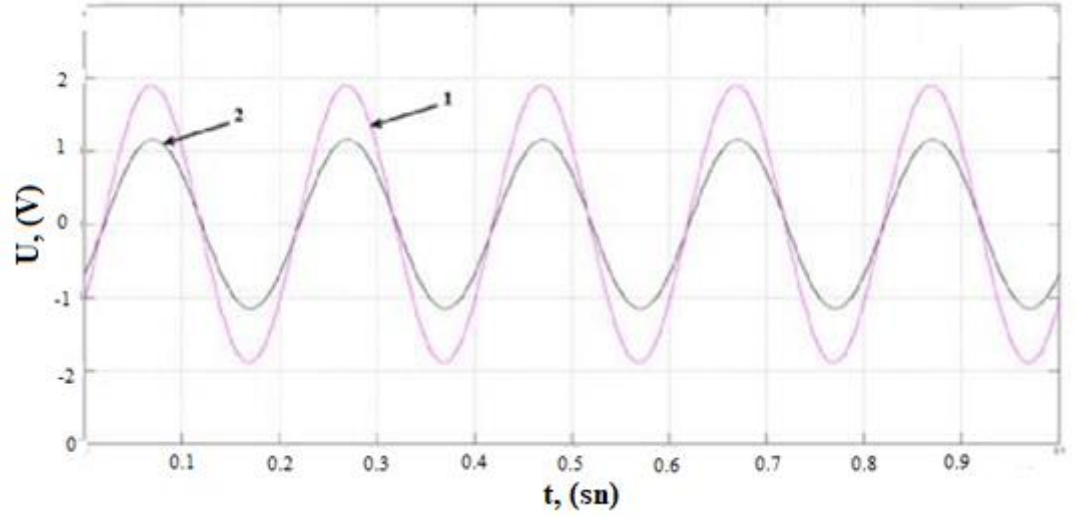


Şekil 3.22 - 15 kV'luk yan faz gerilimi (% 100 yük için)

(1 - Transformatör çıkış gerilimi, 2 - Yük gerilimi)



Şekil 3.23 - 15 kV tarafındaki hat akımı (% 140 yük için)



Şekil 3.24 - 15 kV'luk yan faz gerilimi (% 140 yük için)

(1 - Transformatör çıkış gerilimi, 2 - Yük gerilimi)

Yukarıdaki benzetim eğrileri, arızası olmayan transformatörlere ilişkin akım ve gerilim eğrileridir. Şayet transformatörlerde belirtilen arızalar olsaydı, akım ve gerilim eğrilerinde aşırı genlik değişimi ve faz kayması olacaktı.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bu tez çalışmasında güç trafolarının güvenilirliğini artırmak için yapılan çalışmalar karşılaştırılmış, sorunun mevcut durumu incelenmiştir. Etkileşimli sistemdeki güç transformatörlerinin uyumluluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için modern teşhis cihazları kullanılmalıdır.

2. Güç transformatörlerinin arıza teşhisinde kullanılan kromatografik analiz yöntemi ve bu yöntemle elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler incelenmiştir. CNIM'e ait Siemens 110/15 kV, 63 MVA ve 15 / 0.690 kV, 2MVA trafolarından alınan yağ numuneleri General Electric Kelman Transport X tarafından kromatografik olarak analiz edilmiş, analiz sonuçları açık gaz analizi, duvar üçgen diyagramı, Japonya ETRA ile elde edilmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilen tanıların sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. MATLAB/SİMULİNK yazılım ortamında hazırlanmış olan transformatörün matematiksel modellerinin benzetimleri kullanılarak, farklı yük modlarında gerilim ve akım karakteristikleri elde edilmiştir.

3. Yağ ayrıştırılmış gaz analizi uygulaması ile transformatörlerde oluşabilecek arızaların önceden tahmin edilebileceği ve gelişimlerinin izlenerek enerji tedarikinin güvenilirliğinin ve ekonomik verimliliğinin sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Öneri: Transformatör güvenilir bir şekilde çalışabilir, ancak transformatörün son 7 gündür çalıştırılmamış olması DGA sonuçlarının yanlış olmasına neden olabilir.

Bu nedenle daha detaylı bir sonuç almak için DGA analizini 6-12 ay sonra tekrarlamak gerekir.

KAYNAKLAR

- Antoine, M, Nani, G, Ammann, P.A, Lorin, P, Cheim, L, Grano A. Remote Services for Power Generation Equipment / M. Antoine, G. Nani, P. A. Ammann, P. Lorin, L. Cheim, A. Grano// ABB Power Products, Transformers. – Zurich, Switzerland, 2013. – PP. 1-18 – URL: https://library.e.abb.com/public/17bc58539bae06cfc1257c12002b65d3/1LAB000545_PGA_REWA2013_RemoteTrafos_ID12637.pdf
- Bacha, K., Souahlia, S. and Gossa, M., “Power Transformer Fault Diagnosis Based on Dissolved Gas Analysis by Support Vector Machine”, Electric power systems research, Vol. 83, pp. 73– 79, 2012.
- Bartley, William (2003a). Failure analysis of transformers [online]. The Hartford Steam Boiler Inspection & Insurance Co. [cited 18 March 2010]. International Association of Engineering Insurers. 13 p. Available from [https://www.researchgate.net/publication/238087163_Analysis_of_Transformer Failures](https://www.researchgate.net/publication/238087163_Analysis_of_Transformer_Failures)
- Carlen, M, Berrogain, M. Safe and powerful [Электронный ресурс] / M. Carlen, M. Berrogain// ABB Power Products, Transformers. – Zurich, Switzerland, 2015. – PP. 68-75 – URL: <https://library.e.abb.com/public/da83e76cd9a64a0688312f3d043756b5/Safe%20and%20powerful.pdf>
- Condition Monitoring and Diagnosis of Power Transformers - E. Gockenbach, H. Borsi - Leibniz Universität Hannover, Schering-Institut, Hannover, Germany. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008.
- Dahlund, M, Koestinger, P, Meyer, P, Khanna, P. Life extension of power transformers oil regeneration, on site drying and onsite repair / M. Dahlund, P. Koestinger, P. Meyer, P. Khanna// ABB Power Products. – Sao Paulo, Brazil, 2010. – PP. 1-17 – URL:
- Eklund, L, Lorin, P. Increase transformer reliability and availability: From condition assessment to On-Site Repair L. Eklund, P. Lorin. // Power-Gen Middle East. – Bahrain, 2007. – PP. 1-17 – URL: https://library.e.abb.com/public/5589f0de8e5f57dfc125781d004d008a/Power%20Gen%20Middle%20East%202007_ABB%20.pdf
- ELECTRONIC TRANSFORMER CONTROL WITH MONITORING & DIAGNOSTICS - BENGT-OLOF A. STENESTAM, CLAES T. BENGTSSON, PETER N. YDERSTEN - ABB Power Technologies AB VB Elnät, Sweden. CIGRÉ Session 2000 Proceedings.
- Fotoakustik spektroskopi, Prof. Dr. Bilsen Beşergil, URL: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/7_49.html
- Girgis, R.S, Bernesjö, M. Appropriate Test Conditions Proposed for Industry Standards of Measuring Transformer Noise R. S. Girgis, M. Bernesjö// ABB Power Transformers. – St. Louise, MO, United States, 2015. – PP. 1-7 – URL: <https://library.e.abb.com/public/ffccef278827aae585257c97004b89ac/Appropriate%2>

[Oconditions%20for%20measuring%20Transformer%20noise%20IEEE%20Paper%20Presented%20at%20IEEE%20Conference.pdf](#)

https://library.e.abb.com/public/6aaaf23334be8d0ec125781d004c75ac/Transformer%20Life%20extension_PdMSA_SouthAfrica_2010.pdf

IEEE guide for the interpretation of gases generated III oil immersed transformers, IEEE Power Eng. Soc., IEEE Std C57.104™, 2008.

International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 0104, 2006.

Mirzai, M. & Gholami, A. & Aminifar, F. (2006). Failure analysis and reliability calculation for power transformers. Journal of electrical systems. Volume 2, Issue 1. 1-12 p.

Mirzai, M., Gholami, A. and Aminifar, F., "Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers", Journal of electrical system, 2-1, pp.1-12, 2006.

Murillo, R, Smajic, J, Tepper, J, Nogués, A, Steinmetz T. Electromagnetic simulations supporting the development of dry-type transformers for subtransmission voltage levels / R. Murillo, J. Smajic, J. Tepper, A. Nogués, T. Steinmetz// CIGRE 2012. – 21, rue d’Artois, F-75008 Paris, 2012. – PP. 1-10 – https://library.e.abb.com/public/0fe325b3a16993dcc1257b1600285b2c/A2_208_Cigre_2012_1LAB000506_Electromagnetic%20simulations%20supporting%20the%20development%20of%20dry-type%20transformers%20for%20subtransmission%20voltage%20levels.pdf

Nitin, K. D., And Helonde, J. B., “Improvement in Transformer Diagnosis by DGA using Fuzzy Logic, 2013 Journal of electrical engineering & technology, Vol. 9, pp. 615–621, 2014. [9] Duval, M. and Dukaram, J., “Improving the Reliability of the Transformer Gas-in-Oil Diagnosis”, IEEE Electrical insulation magazine, Vol. 21, No. 4, pp. 21-27, 2005.

On-line and Off-line Monitoring-Diagnosis System(MDS) for Power Transformers - Dorel NEDEL CUT, Dumitru SACERDOȚIANU - RESEARCH DEVELOPMENT AND TESTING NATIONAL INSTITUTE FOR ELECTRICAL ENGINEERING- ICMET, Craiova, Romania. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008.

On-line Condition Monitoring and Diagnosis for Power Transformers their Bushings, Tap Changer and Insulation System - Tobias Stirl, Raimund Skrzypek, Stefan Tenbohlen, Rummiya Vilaithong - AREVA Energietechnik GmbH Activity Schorch Transformers. 2008

On-line Diagnostics of Oil Paper Insulated Instrument Transformers - R.J. SCHWABE, B. WHITCOMB, B.K. GUPTA, N. FUJIMOTO, S.ZELINGHER, G.L. FORD - NEW YORK POWER AUTHORITY (USA). CIGRÉ Session 2000 Proceedings.

Online Partial Discharge Detection and Location Techniques for Condition Monitoring of Power Transformers: A Review - A. Santosh Kumar^{1*}, Dr. R.P. Gupta¹, Dr. K. Udayakumar,² A.Venkatasami¹ 1CG Global R&D Centre, Crompton Greaves Ltd, Kanjur Marg, Mumbai – 400 042 - 2Anna University, Chennai – 600 025. 2008

International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008.

On-line Power Transformer Monitoring Combining Physical and Learning Methods - Elvira Kaegi-Kolisnychenko, Alain J. Germond, Laboratoire de réseaux électriques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015-Lausanne, Switzerland. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 01-04, 2006.

Practicing Oil Analysis, 2007, "Transformer Oil Analysis", www.practicingoilanalysis.com/article_detail.asp?articleid=282

RECENT ADVANCES IN AUTOMATED INSULATION MONITORING SYSTEMS, DIAGNOSTIC TECHNIQUES AND SENSOR TECHNOLOGY IN AUSTRALIA - D. ALLAN,, T. BLACKBURN, M.COTTON, B. FINLAY, Powerlink Queensland University of NSW GPU PowerNet Pacific Power (Australia). CIGRÉ Session 1998 Proceedings.

Roxenborg, M, Ingebrigtsen, S, Holst, S, Gajic, Z. Differential protection for shunt reactors and power transformers - similarities and differences / M. Roxenborg, S. Ingebrigtsen, S. Holst, Z. Gajic// Study Committee B5 Colloquium. - Belo Horizonte, Brazil, 2013. – PP. 1- 8 – https://library.e.abb.com/public/fe172694a259c9c2c1257c1600311770/1MRG014322_en_Differential_Protection_for_Shunt_Reactors_and_Power_Transformers_-_Similarities_and_Differences.pdf

Sezer, M., Trafo bakımı ve yalıtım yağı, Çağdaş basımevi, 2014.

Standard IEC 60599, Guide for the Interpretation of Dissolved Gas Analysis and Gas-free, 2007.

Steinmetz, T, Smajic, J, Outten, S, Hartmann, T, Carlen, M. Benefits of transformers based on triangular wound core configurations T. Steinmetz, J. Smajic, S.Outten, T. Hartmann, M. Carlen// CIGRE 2012. – 21, rue d’Artois, F-75008 Paris, 2012. – PP. 1-11 – URL: https://library.e.abb.com/public/03899f0fbab607e1c1257b160029b944/A2_306_Cigre_2012_1LAB000507_Benefits%20of%20transformers%20based%20on%20triangular%20wound%20core%20configurations.pdf

Suwarno, 2006, The Influence of arc on dissolved gases in transformer oils, Department of Electrical Engineering Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia

Tepper, J, Carlen, M. EcoDesign of Dry Transformers [Электронный ресурс] / J. Tepper, M. Carlen// ABB Ltd. – Zurich, Switzerland, 2015. – PP. 1-8 – URL: https://library.e.abb.com/public/92512aa4999d43bc9f4e61f8a909a90f/1LAB000594-2015_CIREDFrance_EcoDesign_for_Dry_transformers-white%20paper.pdf

Vines, J, Banh, B, Stiegemeier, C, Patel, P, Cheim, L.V. Transformer health in the real world [Электронный ресурс] / J. Vines, B. Banh, C. Stiegemeier, P. Patel, L.V. Cheim// ABB Power Transformers. – St. Louise, MO, United States, 2015. – PP. 12- 17 – URL: https://library.e.abb.com/public/45dbc9426c6b449f9acc71c4a7578fde/1217%203m527_EN_72dpi.pdf (20.04.2019).

- Wang, M. & Vandemaar, A.J. & Srivastava, K.D. (2002). Review of condition assessment of power transformers in service. Electrical insulation magazine, IEEE, Vol. 18, No. 6. 12-25 p.
- Jakob, F, 2008, Application of Dissolved Gas Analysis, Transcomma 2008, 20 April 2008, Kuala Lumpur
- Duval, M. and CIGRÉ, 2003, New Techniques for Dissolved Gas-in-Oil Analysis, IEEE Electrical Insulation Magazine, March/April 2003 Vol. 19, No. 2
- Alamo Transformer, 2008, "Dissolved Gas Testing", <http://www.alamotransformer.com/DGA1.htm>
- IEC 60567, 2006, Oil-filled electrical equipment Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases Guidance
- Dissolved Gas Analysis Technique for Incipient Fault Diagnosis in Power Transformers: A Bibliographic Survey IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 26, No. 6, November/December 2010
- Dissolved gas analysis and supervision of oil condition in transformers and reactors,URL: <https://library.e.abb.com/public/4e6465f22c2f401cb7ff596695381d28/Dissolved%20Gas%20Analysis%20and%20Oil%20Condition%20Testing.pdf>

