

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRANSFORMATÖR ARIZALARININ GEÇİCİ REJİM VE SİNYAL
İZLEME TEKNİKLERİ İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Turgut KÖMÜRKARA

ENERJİ BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

MAYIS - 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRANSFORMATÖR ARIZALARININ GEÇİCİ REJİM VE SİNYAL
İZLEME TEKNİKLERİ İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Turgut KÖMÜRKARA
36193628019

ENERJİ BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

MAYIS - 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, dört yıl lisans eğitimi ve iki yıl yüksek lisans eğitimi boyunca değerli ve kıymetli bilgilerini benimle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. M. Salih MAMIŞ'e, hayatım boyunca benden bir an olsun yardımlarını, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teőekkürlerimi sunarım.



ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Transformatör Arızalarının Geçici Rejim ve Sinyal İzleme Teknikleri ile Tahmini**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel çalışma ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem yazılan metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilen bilgilerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Turgut KÖMÜRKARA



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Literatür Özeti	3
2. TRANSFORMATÖRLER HAKKINDA GENEL BİLGİ	7
2.1 Neden Transformatöre İhtiyaç Duyulur	7
2.2 Transformatörlerin Elektriksel Yapıları	9
2.3 Akı ve Sargının Diyagramı Faraday Yasasına Göre Çalışma Prensibi	10
2.4 Transformatörlerin Aksesuarları ve Devre Elemanları	11
2.5 Transformatörlerde Gerilim ve Kademe Değiştirici.....	15
2.6 Transformatörlerde Soğutma ve Yalıtım Yağı.....	16
3. GENEL TRANSFORMATÖR ARIZLARI VE ARIZA İZLENMESİ	18
3.1 Transformatörlerde Arızaya Yol Açacak Durumlar.....	18
3.2 Transformatörlerde Sargı İzolasyon Arızaları.....	19
3.3 Transformatörün Sargı Isınmasından Kaynaklı Arızalar	20
3.4 Transformatörlerde Aşırı Gerilimden (Yıldırım Darbesi) Oluşan Arızalar	21
3.5 Transformatörlerde Aşırı Yüklenme Koruması İçin Sinyal İzleme Algoritması.....	22
3.6 Transformatörleri Titreşime Karşı Korumak İçin Sinyal İzleme Algoritması.....	23
3.7 Transformatörleri Aşırı Isınmaya Karşı Korumak İçin Sinyal İzleme Algoritması.....	24
3.8 Buchholz Rölesi Tarafından Tesit Edilen Arıza Sinyallerinin İzleme Algoritması.....	25
4. YILDIRIM DARBE GERİLİMİ SİNYALLERİNİN TRANSFORMATÖRLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UYGULAMALI İNCELENMESİ	26
4.1 Deneyde Kullanılacak Test Numunesinin Özellikleri.....	30
4.2 1000 kVA 33-0,4 kV Transformatör Yıldırım Darbe Sinyallerinin İşlenmesi ve İncelenmesi.....	33
4.2.1 Test voltajı	33
4.2.2 Test bağlantısı	33
4.3 Test Sonucu	48
5. 1000 kVA 33-0,4 kV DAĞITIM TİP GÜÇ TRANSFORMATÖR ATP PROGRAMI İLE YILDIRIM DARBE SİNYALİNİN İNCELENMESİ.....	49
6. 1000 kVA 33-0,4 kV DAĞITIM TİP GÜÇ TRANSFORMATÖR ATP PROGRAMI İLE TAM DELİNME GERÇEKLEŞMİŞ YILDIRIM DARBE SİNYALİNİN İNCELENMESİ	51
7. SONUÇ.....	53

KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Transformator iletim ve dagıtım örnek Şeması.....	9
Şekil 2.2: Basit bir fazlı transformator	10
Şekil 2.3: Manyetik akı ve sargının temel diyagramı.....	10
Şekil 2.4: Manyetik devre Şematik gosterimi	11
Şekil 2.5: Transformator manyetik çekirdek tipleri.....	11
Şekil 2.6: Transformator elektriksel yapısı.....	13
Şekil 2.7: Hermetik transformator aksesuarları.....	13
Şekil 2.8: Transformator örnek yıldız ve üçgen bağlantı Şekli.....	15
Şekil 2.9: Off Load komütatör örneği.....	16
Şekil 3.1: 2021 yılı Transformator tamir edilen ürün arıza grafiği.....	19
Şekil 3.2: Aşırı ısınma sonucu zarar transformator elektriksel kısmı.....	21
Şekil 3.3: Aşırı gerilime maruz kalmış transformator örneği.....	22
Şekil 3.4: Sinyal izleme yöntemi ile aşırı yük kaynaklı oluşacak transformator arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.....	22
Şekil 3.5: Sinyal izleme yöntemi ile titreşim kaynaklı oluşacak transformator arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.....	23
Şekil 3.6: Sinyal izleme yöntemi ile aşırı ısınma kaynaklı oluşacak transformator arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.....	24
Şekil 3.7: Sinyal izleme yöntemi ile Bucholz rölesi ile tespit edilecek transformator arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.....	25
Şekil 4.1: Transformator sargısı eşdeğer devresi.....	27
Şekil 4.2: Başlangıç ve son dağılımı.....	28
Şekil 4.3: Yıldırım darbe sinyali delinme eğri tipleri.....	30
Şekil 4.4: Deneyde kullanılacak test numunesinin etiket resmi.....	31
Şekil 4.5: 1000 kVA 33-0,4 transformatorün örnek teorik devre Şeması.....	32
Şekil 4.6: A fazı %65 tam dalga darbe gerilimi T_1, T_2 değer ve genlik.....	34
Şekil 4.7: A fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	35
Şekil 4.8: A fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi	35
Şekil 4.9: A fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	36
Şekil 4.10: A fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.....	37
Şekil 4.11: A fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	37
Şekil 4.12: A fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.....	38
Şekil 4.13: A fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	38
Şekil 4.14: B fazı %65 tam dalga darbe gerilimi t_1, t_2 değer ve genlik.....	39
Şekil 4.15: B fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	40
Şekil 4.16: B fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.....	40
Şekil 4.17: B fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	41
Şekil 4.18: B fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.....	41
Şekil 4.19: B fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	42
Şekil 4.20: B fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.....	43
Şekil 4.21: B fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeği.....	43

Şekil 4.22: C fazı %65 tam dalga darbe gerilimi t1,t2 değeri ve genlik.....	44
Şekil 4.23: C fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.	44
Şekil 4.24: C fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.	45
Şekil 4.25: C fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.....	46
Şekil 4.26: C fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.	46
Şekil 4.27: C fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.....	47
Şekil 4.28: C fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.	47
Şekil 4.29: C fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.....	48
Şekil 5.1: ATP programında oluşturulan transformatör devre şeması.	49
Şekil 5.2: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam dalga yıldırım darbe gerilimi grafiği.....	50
Şekil 6.1: ATP programında oluşturulan iki sargısı kısa devre edilmiş transformatör devre şeması	51
Şekil 6.2: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam delinme gerçekleşmiş yıldırım darbe gerilimi grafiği.....	52
Şekil 6.3: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam delinme gerçekleşmiş ve delinme olmayan tam dalga yıldırım darbe gerilimi grafiği	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Çizelge 4.1. 1000 kVA 33-0,4 kV transformatör sargı dirençleri ölçüm testi sonuçları.....	32
Çizelge 4.2. 1000 kVA 33-0,4 kV transformatör çevirme oranları ölçüm testi.....	33
Çizelge 5.1. 1000 kVA dağıtım transformatörü parametre değerleri.	50



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	Nüve demir kesiti [cm^2]
A_g	Nüve geometrik kesit [cm^2]
a₁	Bobin sekonder sargının çapı [cm]
a₂	Bobin primer sargının çapı [cm]
Ac	Sargı iletkenindeki yüzeyinin etkin kısmı [cm^2]
\bar{a}	Bobindeki aksiyal kuvvetin uygulandığı uzunluk [cm]
B	Akı yoğunluğu [Tesla]
B_{ax}	Manyetik alanın aksiyal bileşeni [Tesla]
B_{rad}	Manyetik alanın radyal bileşeni [Tesla]
B_M	Maksimum manyetik yoğunluk [Tesla]
C	İzolasyon direnci katsayısı
CH	Yüksek gerilim sargısı ile nüve arasındaki kapasite [Farad]
CHL	Yüksek gerilim ile alçak gerilim sargı arası kapasite [Farad]
CL	Alçak gerilim sargısı ile nüve arasındaki kapasite [Farad]
CT	Tersiyer sargı ile nüve arasındaki kapasite [Farad]
C₁	Bushing üst tap ucu ile toprak arsındaki kapasite [Farad]
C₂	Bushing alt tap ucu ile toprak arsındaki kapasite [Farad]
dl	İletken uzunluk parçası [cm]
D_m	İki sargı arasındaki boşluğun nüveye mesafesi [cm]
D_w	Sargı çapı
d₁	Eşdeğer kanal genişliği
E₁	Primer özendükleme
f	Frekans [Hz]
F_{ax}	Aksiyel kuvvetler
F_{rad}	Radyal kuvvetler
I	Akım [Amper]
I_c	Kısa devre akımı [Amper]
I_d	Motor yol alma akımı [Amper]
I_{eff}	Faz arası akımın efektif değeri [Amper]
I_{max}	Sargı bacaklarındaki maksimum akım [Amper]
I_n	Güç trafosunun anma akımı [Amper]
I_o	Güç trafosunun boşta akımı [Amper]

L	Endüktans [H]
N₁	Primer sargıya ait sarım sayısı
N₂	Sekonder sargıya sarım sayısı
P_A	Üç fazlı trafoda ki aksiyel kuvvet
P_c	İç ve dış sargılardaki maksimum aksiyel baskı
R	İzolasyon direnci
RI	Kısa devre empedansının omik bileşeni
S	Görünür güç [MVA]
U	Faz-faz arası gerilim [kV]
u_k	Kısa devre empedansı
V	Faz-toprak arası gerilimi [kV]
W	İletkenlere gelen toplam baskı kuvveti
w	Bobin içindeki izolasyonun aksiyel uzunluğu
XI	Kısa devre empedansının endüktif bileşeni
Z_t	Trafonun eşdeğer empedansı [Ω]
ϵ	Dielektrik katsayısı
ℓ_{eff}	Radyal akının efektif yol uzunluğu
μ	Manyetik geçirgenlik

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TRANSFORMATÖR ARIZALARININ GEÇİCİ REJİM VE SİNYAL İZLEME TEKNİKLERİ İLE TAHMİNİ

Turgut KÖMÜRKARA

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

XI+58 Sayfa

2023

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Temelde gerilim ve akım dönüştürme elemanı olan transformatörün, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım ağında önemli bir işlevi bulunmaktadır. Statik ekipman ve sağlam yapıya sahip olan transformatör, normalde uzun süre şebekede kararlı ve güvenilir bir şekilde çalışabilmektedir. Transformatör arızaları birçok suistimal ve bakım eksikliğinden kaynaklanabilmektedir. Transformatörde gerçekleşen arıza transformatör sargılarının işlevlerini yerine getirmesini engelleyecek düzeyde olursa sonuç normal yaşamın ve endüstriyel faaliyetlerin durmasına yol açabilir. Bu nedenle transformatörlerin korunması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada transformatörün hesabi değerlerinden aksesuarlarına kadar genel değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Transformatörlerin kalitesini belirleyen ve işletmede transformatör genel durumu hakkında bilgi veren transformatör testlerinin uygulama yöntemleri ve test sonuçları incelenmiştir. Transformatörler arızaya geçmeden önce geçici rejim ve sinyal izleme teknikleri ile transformatörlerde oluşacak arızaların önceden tespitinin nasıl yapılacağı hakkında bilgi verilmiştir. Aşırı sıcaklığa maruz kalan transformatörün arızaya geçmeden sinyal izleme teknikleri ile arıza almadan devreden çıkarılmasını sağlayan algoritmalar belirtilmiştir. Herhangi bir sebepten aşırı titreşim oluşturan transformatörün titreşim sinyalleri izlenerek daha büyük arıza almadan devreden çıkarılmasını ve kontrol edilmesini yol gösteren bir algoritma hazırlanmıştır. Doğa olaylarından veya anahtarlama esnasında oluşan yıldırım darbe gerilimlerinin darbe tipleri hakkında bilgi verilmiş ve darbe gerilimleri incelenmiştir. Arızalı transformatörün elektriksel kısmına bakılarak transformatör arıza sebeplerinin nasıl anlaşılacağı hakkında bilgi verilmiştir. ATP programında 1000 kVA dağıtım tip bir transformatörün simülasyonu yapılarak yıldırım darbe deneyi uygulanmış ve delinme olayı gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda Malatya ilinde bulunan bir Transformatör Faraday Kafesi ve Yıldırım Darbe Test Laboratuvarında Yıldırım Darbe Gerilim Jeneratörü kullanılarak 1000 kVA 33-0,4 kV Dyn11 Bakır sargılı bir transformatöre IEC 60076 standardına göre Tam Dalga Yıldırım Darbe Deneyi uygulanmıştır. Test sonucunda oluşan yıldırım darbe sinyalleri ve grafikleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformatör, Geçici rejim, EMTP-ATP, Arıza Tahmini.

ABSTRACT

Master Thesis

PREDICTION OF TRANSFORMER FAULTS USING TRANSIENTS SIGNAL ANALYSIS

Turgut KÖMÜRKARA

İnönü University

Institute of Science and Technology

Department of Energy Sciences and Technologies

Technologies XI + 58 Page

2023

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

The transformer has an important role in the transmission and distribution network of electrical energy. Having static equipment and robust construction, the transformer normally works stably and reliably in the network for a long time. Transformer faults can withstand many abuses and lack of maintenance, if the fault in the transformer causes the transformer windings to not perform their functions, the result can lead to the cessation of normal life and industrial activities. Therefore, the protection of transformers becomes important.

In this study, information is given about the general values of the transformer from its calculation values to its accessories. The application methods and test results of transformer tests, which determine the quality of transformers and give information about the general health of the transformer in operation are examined. Before transformers fail, information is given about transient signal processing techniques and how to detect faults in transformers beforehand. The algorithm that enables the transformer, which is exposed to extreme temperatures and to be taken out of the circuit without failing, with signal monitoring techniques are specified. An algorithm has been written that guides the deactivation and control of the transformer, which causes excessive vibration for any reason, by monitoring the vibration signals, to avoid a failure. Information was given about the waveshapes of the impulse voltages that occur during natural events or switching, and the impulse voltages were examined, the breakdown events of the resulting impulse voltages were also examined. The simulation of a 1000 kVA distribution type transformer was prepared in the EMTP-ATP program and lightning response is obtained. Then the two windings of this transformer were short-circuited and a lightning pulse was applied again and the rupture event was observed. By looking at the electrical part of the faulty transformer, information is given about how to understand the causes of transformer failure. At the end of the study, Full Wave Lightning Impact Test was applied to a 1000 kVA 33-0.4 kV Dyn11 Copper-wound transformer in accordance with IEC 60076 standard by using a Lightning Pulse Voltage Generator in a Transformer Faraday Cage and Lightning Impact Test Laboratory located in Malatya city. The lightning impulse signals and graphics formed as a result of the test were examined.

Keywords: Transformer, Transient Regime, EMTP-ATP, Fault Predictio

1. GİRİŞ

Transformatör adı verilen elektrik makineleri, elektromanyetik indüksiyon yoluyla enerjiyi bir sargıdan diğer sargıya geçiren elektrik makineleridir. Yani, transformatörler herhangi bir alternatif akım (AC) devresinin gerilim seviyesini istenilen dönüşüm oranlarında düşürmeye veya yükseltmeye yarayan elektrik makinelerine transformatör denir, transformatörler gerilim değerini değiştirirken frekansta bir değişiklik yapmaz. Transformatörün halk dilindeki kısaltılmış şekli trafodur. Transformatörler, elektromanyetik endüksiyon prensibiyle elektrik enerjisinin gerilim değerini bir veya birkaç devreye aynı frekansta fakat farklı değerlerdeki gerilimlere ve akıma dönüştüren elektrik makineleri. Transformatörlerde manyetik alanlar nüve üzerinde bulunan sargıların bulunduğu kısma nüve ayakları denir. Bunları birleştiren üst ve alt bağlantı kısmına ise nüve boyunduruğu denir [1].

Trafolar çekirdek nüve, tel, silisli saç ve bazı izolasyon malzemeleri ile imalatı yapılır, trafolarda primer ve sekonder olarak adlandırılan giriş ve çıkış sargıları vardır, imalat tipleri olarak üç fazlı ve tek fazlı olarak talebe göre imal edilirler. Transformatör ebatları güçleri ile orantılı olarak artar [36].

Sekonder gerilimi primer geriliminden büyük olan trafo yükseltici tip trafo olarak kullanılır. Primer devreye uygulanan gerilim sekonder devreden alınan gerilimden büyük olan trafoya ise düşürücü tip trafo denir [36].

Bir iletkeninde emk yani gerilim indüklenebilmesi için o iletkenin manyetik alan içerisinde hareket ettirilmesi ve değişen bir manyetik alan içerisinde bulundurulması gerekir. Transformatörde primer akımının oluşturduğu manyetik akının sekonder sargıları kestiği ve nüve kayıplarının olmadığı varsayılırsa bu tip transformatör ideal transformatör olarak tanımlanır. İdeal transformatörlerde sekonder sargıları kesen manyetik kuvvet çizgilerinin tamamı primer sargılarını da keser. Bu durumda transformatörün her iki sargısının her bir sarımında aynı değerde gerilim indüklenir. Primer ve sekonder sargılarda indüklenen bu gerilimler aynı Φ akısı tarafından

oluşturulduğundan aralarında faz farkı yoktur. Yani transformatörlerde primer ve sekonder gerilimleri aynı fazdadır [16].

İndüksiyon kanunu 1831 yılında birbirinden habersiz olarak Michael Faraday ve Joseph Henry tarafından bulunmuştur. Bulgularını ilk yayınlayan kişi Faraday olduğundan Faraday Kanunu olarak adlandırılır. Faraday'ın elektro manyetik indüksiyon yasası kısaca, hareket eden bir iletkende manyetik alan yoluyla elektrik üretimi olarak açıklanabilir [17].

Yüzyılın sonlarında değişken akımlı elektrik sistemleri tüm dünyada kullanılmaya başlamış ve transformatörler elektrik iletim ve dağıtımında anahtar rolünü üstlenmişlerdir. Bugünün transformatörleri yüzyıl başındaki atalarına göre güç bakımından (kVA) 1000, gerilim bakımından 15 (kV) kat fazla kapasiteye ve verime sahiptir. Güç birimi başına ağırlık 10 kat azalmış ve verimlilik genellikle %99'u aşmıştır. Bu gelişmeler bilimin gelişmesi ile hızlı bir ivme almıştır [19].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında transformatörlerde oluşacak arızalarının sinyal izleme yöntemleri ile önceden tespit etme yöntemleri oluşturma planlanmaktadır. Transformatörler işletmelerde ve mahalli bölgelerde kullanılan enerji iletim ve dağıtım işlevini gerçekleştiren en önemli devre elemanlarıdır. Transformatörlerin arızaya geçmesi, fabrikalarda üretim durmasına sebep olmakta ve şehirlerde hayatı olumsuz etkilemektedir. Tez çalışmamız ile belirtilen olumsuzlukların hiçbiri yaşanmandan, transformatörlerin arıza öncesi tahminleri ile oluşacak maddi ve manevi kayıpları en aza indirmeye yönelik çözüm yolları aranacaktır. Laboratuvar ortamında bir transformatöre yıldırım darbe gerilimi uygulanarak transformatörün yıldırım darbesi uygulandığı esnada oluşan sinyaller izlenerek, yıldırım darbesi transformatöre zarar vermeden, transformatör devreden nasıl çıkarılması gerektiğinin yöntemi aranacaktır. ATP programı yardımı ile transformatör eşdeğer devresi oluşturularak, transformatöre yıldırım darbe gerilimi uygulanacak ve transformatörde oluşacak sinyaller ile laboratuvar ortamında elde edilen sinyaller karşılaştırılacak ve transformatörde arıza olup olmadığı tespit edilecektir.

1.3 Literatür Özeti

Transformatörler belirli güçlere göre üretilirler, günümüzde işletmelerde transformatör seçimi yapılırken transformatörler %85 yüklenecek şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi transformatörün aşırı yüke maruz bırakılmamasıdır. Böylece transformatör içerisinde yalıtım ve soğutma sıvısı olan trafo yağı çok ısınmamış olacak böylece sargılarda soğuk kalacak ve sargılarda bulunan yassı tel yalıtım kâğıtları, emaye kaplama yalıtkanlar, prespanlar ve kraft kâğıtları sıcaklığa maruz kalmayacaktır. Belirtilen izolasyon malzemeleri uzun süre aşırı sıcaklığa maruz kalınca kavrulur ve özelliğini yitirir. Fakat fabrika gibi yerlerde transformatör seçimi kurulu güce göre yapılır ve daha sonra envantere eklenen makinelerin tüketeceği enerjiler hesap edilmemektedir bu durum trafoların aşırı yüklenmesine ve aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Transformatöre yerleştireceğimiz bir termometre anlık olarak sıcaklık değerini izleyebileceğiz ve bizim üst sınır olarak belirttiğimiz sıcaklık değerine ulaşıncaya transformatörü devreden çıkarıp transformatör sargılarının zarar görmesini engellemek planlanmaktadır [1,6].

Transformatör çalıştığı esnada transformatör sargılarında mekanik kuvvetler oluşmaktadır. Bu mekanik kuvvetler transformatör deprem etkisi yaratmaktadır, manyetik kuvvetlere uzun süre maruz kalınca bobin sıkıştırma takozları yerinden düşmekte, sargıdaki iletkenleri tutması için atılan kenar şerit olarak adlandırılan kolye izolasyon kâğıtları yerinden çıkmakta ve durum sonunca yüksek gerilim sargı spiralleri arasında kısa devre olmakta sonuç olarak transformatör sargıları yanarak hasar görmektedir. Bu mekanik kuvvetler; kısa devreden dolayı, aşırı ısınmadan dolayı ve geçici rejimlerden dolayı olabilir. Mekanik kuvvetler radyal ve aksiyal olmak üzere iki tiptir. Radyal kuvvetler ile transformatörün alçak gerilim sargısı çekirdeğe (nüveye) doğru yapışmakta ve yüksek gerilim sargısı kendisini dışarı doğru itirmektedir. Transformatör üretim esnasında gerilim atlamalarını ve delinmeleri engellemek amaçlı alçak gerilim sargısı ile nüve arasında trafonun gerilimine göre belirli bir miktar boşluk bırakılmaktadır [12].

Transformatörlerin üretim aşamasında hesabı yapılırken nominal gerilimlerine (yurt içi 33kV) daha yüksek gerilime dayanacak şekilde üretimi yapılır (33 kV bir trafo için 70 kV AC gerilime dayanacak şekilde üretim yapılır.) Transformatörler bazen anahtarlama esnasında bazen de doğa olaylarından kaynaklı aşırı gerilime maruz

kalırlar buna yıldırım darbe gerilimi denir. Transformatörler uzun süreli ve tekrarlı darbe gerilimlerinden sonra trafo yağı ve sargı izolasyon malzemeleri delinmeye başlar ve gerilim bir sargıdan diğerine atlama yapar, bu delinme öncesinde transformatörün yüksek gerilim buşingleri ile şebekeden gelen yüksek gerilim bağlantı kablosunda korona etkisi olur, korona etkisi ile kabloda titreşim ve ses çıkmaya başlar. Bu geçici rejimin başlangıcında trafo devreden çıkarılır ise transformatörün izolasyon delinmesi gerçekleşmeyecek ve transformatör sargıları kısa devre olmayacaktır. Bu çalışmamızda transformatör buşingi ile şebekeden gelen yüksek gerilim kablosuna yerleştireceğimiz titreşim cihazı ile titreşim sinyalleri izlenecek ve korona etkisi başladığı an devreyi açacak ve transformatör hasar görmeden devrenden çıkarılacaktır [3].

Transformatörler enerji altında çalışırken ses çıkartıyor olmaları normal bir durumdur. Fakat transformatörlerin titreşim oluşturmaları normal değildir. Titreşim sonucunda var olan problem daha büyük problemlere sebep olmaktadır. Titreşime maruz kalan trafoda kapak cıvataları zamanla açılıp yağ atması olabilir. Bunun sonucunda sargılar yağsız kalıp delinme gerçekleşip trafoda sargılar yanabilme ihtimali vardır. Diğer problem titreşim etkisi ile aktif kısım olarak adlandırılan nüve bobinlerin montaj edilmiş haline zarar verebilir, bobin sıkıştırma takozları titreşim etkisi ile düşer mekanik kuvvetlere karşı trafo dayanıksız hale gelir ve trafonun yanması kaçınılmaz olur. Bu projemizde trafonun üzerine yerleştireceğimiz bir titreşim sensörü ile trafo titreşime bindiği anda devreyi açacak ve teknik ekip tarafından titreşim sorunu çözüldükten sonra trafo hasar almadan devreye tekrar alınabilecektir [4].

Koruma sistemleri, elektrik sistemlerinin temel bir bileşenidir, çalışma güvenilirliğini ve güvenliğini garanti ettikleri için, son yıllarda bilişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte elektrik şebekesi giderek daha otomatik hale gelmektedir. Ölçebilen, işleyebilen ve yapabilen bileşenlerin tanıtılması ilgilenilen elektriksel miktarlar hakkında bilgi iletmek için ağın verimliliğini ve güvenilirliğini artırmaktadır. Bu özellikle en son sistem ile uyumlu üretim bağlamlarında geçerlidir [1–5].

Üretim paradigması, yani Endüstri 4.0, enerji verimliliği ve farklı bölümlerin tüm koordinasyonu (tedarikten teslimata kadar) verilmesi gerekliliğini ve sürekliliğini sağlayabilen uygun bir sistem ve güvenilir sistemler olduğu için tavsiye edilmektedir. Bu senaryoda, koruma cihazları da değişiyor, aslında elektro-mekanik korumaların

yerini dijital korumalar, yani bir arıza durumunu (i) örnekleme ve gerilim ve akım sinyallerinin dönüştürülmesi ve (ii) elde edilenin işlenmesi bir mikroişlemci tarafından gerçekleştirilen bir algoritmaya göre örnekler. Bu cihazlar, birden fazla sağlama avantajına sahiptir. Tek bir cihazda koruma türlerinin yanı sıra bir arıza olayının oluşumunu iletmek ve veri kaydı gerçekleştirmek ve kendi kendine test işlemleri de vardır. [6–8]. Transformatörlerin yanı sıra tüm asenkron makineler, ulaşabilecek kadar bir ani akım çekebilir anma akım değerinin birkaç katı olacak değerlere ulaşabilir [9]. Akımı işleyen bir sistem anlık değerler bu aşırı akımı bir semptom olarak yorumlayabilir trafo çıkışında bir arıza ve kesintiye karar verebilir devre koruma, belirli bir durumu tanıma yeteneğine sahip olmalıdır. Aşırı akıma neden olan çalışma koşulu: gerçek arızalar, normal çalışma durumunda devreyi açmalıdır trafo enerjili kalmalıdır [10–12]. Bu nedenle, bir sınıflandırma algoritması oluşturmanın tavsiye edildiği ortaya konulmaktadır [7].

Frekans yanıt analizi (FRA), arızalı sargıyı tespit etmek için dünya çapındaki kamu hizmetleri tarafından yaygın olarak kabul edilen teknik ve güç transformatörleri içindeki çekirdek deformasyonları tespit etmekte kullanılır. Bu tekniğin dezavantajı, personel düzeyine bağlı olmasıdır, standart veya otomatik kodlara göre daha fazla uzmanlık gerektirmektedir. FRA kodlarını doğru bir şekilde yazarken transformatörlerin geniş bir frekans aralığında olmasına dikkat etmek esastır. Model oluştururken, çeşitli sargıların etkisini araştırmak gerekmektedir ve transformatör FRA tespit edilen çekirdek deformasyonları, transformatör eşdeğeri yüksek frekanslı elektrik devresi parametreleri nadiren bulunan tasarım verilerine dayanarak hesaplanabilir, özellikle eski transformatörler için, bu sebepten dolayı, bu makale de parametreleri tahmin etmek için yapay zekâ tekniği transformatör FRA analizi yapılmaktadır. Önerilen doğru teknik, 3 fazlı olarak uygulanıp değerlendirilmesidir. Farklı derecelerde, boyutlarda ve sargı yapılarında güç transformatörleri yüksek frekanslı elektrik devresi parametrelerini tahmin etmek için normal ve arıza koşulları içi FRA analizine ihtiyaç duyulmaktadır [9].

Sargı deformasyonu, en kısa sürede tespit edilmesi gereken kritik bir güç trafosu sorunudur. İlerleyici problem olarak ciddi problemlere ve ciddi sonuçlara sebep olmaktadır. Frekans tepkisi analizi (FRA), bu tür deformasyonları tespit etmek için şu anda kullanılan tek güvenilir tekniktir. Ancak, teknik, çevrimdışı olarak yürütülür ve bu durum elektrik şebekesinde kesintiye neden olabilir. Mevcut FRA tekniği

şüphelenilen üniteler üzerinde yapıldığından, mekanik bir arızayı ortaya çıkabilir ve arızanın şebekeden ilerlemesinin önüne geçilmektedir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için, bu makalede pratik bir fizibilite çalışması sunulmaktadır. Trafo sargı deformasyonlarını çevrimiçi olarak tespit etmek için çalışmalar yapılmıştır. Bir transformatörün normal çalışması sırasında doğal olarak maruz kaldığı aşırı gerilim sinyalleri değişken frekanslı uyarma kaynağı ile takip edilmektedir [10].

Transformatörün primer ve sekonder sargılarında meydana gelen manyetik kuvvetler, kaçak akı ve geçici akımlarla hesaplanmaktadır. Alçak gerilim (AG) ve yüksek gerilim (YG) sargılarında her iletken hücrenin radyal kuvvetleri oluşmaktadır. Yüksek gerilim sargısındaki her bir iletken hücrenin radyal kuvvetleri, radyal pozitif bir yönü göstermektedir. Sargının dışındaki elektromanyetik kuvvetler, transformatör tankına doğru etki göstermektedir. Öte yandan, AG sargısındaki iç radyal kuvvetler, radyal doğrultuda nüveye doğru bir yöne sahiptir. AG sargısındaki radyal kuvvetler ise nüvenin yan tarafına doğru yönelmektedir [59].

Güç transformatörü modelinde sargılar arası kapasitans değerleri (C7, C8 ve C9) %10 arttırıldığında sekonder gerilimin genliğinin arttığı, %10 azaltıldığında ise genliğin azaldığı sinyal şeklidir. Nötr- Toprak arasındaki kaçak kapasitelerin (C10, C11 ve C12)%10 artması sekonderdeki gerilimin genliğinin azalmasını, %10 azalması ise gerilimin genliğinin artmasını sağlamıştır. Diğer kapasitans değerlerinin değişimi sekonder gerilim dalgasını değiştirmedeği görülebilir. Dağıtım transformatörü modelinde kapasitans değerlerinin değişimi sekonder gerilimi etkilemediği söylenebilir [60].

2. TRANSFORMATÖRLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.1 Neden Transformatöre İhtiyaç Duyulur

Elektrik, Jeneratör (yaygın olarak Alternatör olarak bilinir) aracılığıyla üretilir. Üretimin büyük kısmı, Termik Santral, Hidro Elektrik Santrali veya Nükleer Santralde yapılır. Rüzgâr Enerjisi, Biyogaz Enerjisi, Doğal Gazdan Üretilen Güç, Atıktan Geliştirilen Enerji vb., enerjiler Türkiye'de toplam üretime katkısı yüzde birden az olan diğer bazı enerji kaynağı türleridir. Termik santraller genellikle Ulusal Termik Güç Şirketi (NTPC) tarafından, Hidroelektrik santralleri çoğunlukla Ulusal Hidroelektrik Enerji Şirketi (NHPC) tarafından inşa edilir ve Nükleer Santral, Nükleer Enerji Şirketi (NPC) tarafından inşa edilir. Genellikle termik ve nükleer santraller, hava kirliliğini kontrol altında tutmak için yerleşim yerlerinden uzakta kurulur. Hidroelektrik Santrali, doğası gereği, belirli bir yükseklikten düşen doğal bir su yüksekliğine sahip olduğumuz ve genellikle tepelik alanlarda bulunan alanlarda kurulmalıdır. Üretim noktası dağıtım ağından uzak olduğu için, enerji mühendisleri için toplu gücü üretim istasyonundan kullanım noktasına, yani müşterilere aktarmak her zaman zor bir görevdir.

Gücü bir noktadan diğerine aktarmanın ana engeli, enerji kaybıdır. Trafo, enerji kaybını çok fazla etkilemeden gücü iletmeye yardımcı olan statik bir elektrik makinesidir. Yükseltici transformatörün işlevi, üretim istasyonundaki voltajı yükseltmektir ve artış 132 kV, 220 kV, 400 kV, 800 kV, 1050 kV vb. aralığındadır. Gerilim artışı, frekansı etkilemeden ve çok fazla enerji kaybı olmadan yapılır (trafonun doğal kayıpları yüzde birden az olan kayıplar ihmal edilir). Ekstra yüksek voltajda üretilen güç daha sonra üretim istasyonundan kilometrelerce uzağa bazı dağıtım bölgelerine iletilir. Bu nedenle, dağıtım sisteminde (genellikle Alt İstasyon, S/S olarak bilinir) güç çok yüksek bir voltajda mevcuttur. Artık voltajın, endüstriyel yüke ve ev aletlerine uygun, kayda değer bir düşük değere düşürülmesi gerekiyor. Gerilimin azaltılması, düşürücü transformatörler aracılığıyla yapılır. Gerilimin 400 V ayarına düşürülmesi iki ila üç aşamada (yani 220 kV ila 33 kV, ardından 33 kV ila 11 kV ve son olarak 11 kV ila 400 V) yapılır.

Enerji nakil hattının olduğu üretim istasyonunun başlangıcında, hat voltajı bir yükseltici transformatör tarafından yükseltilir ve böylece hattın sonuna iletilen voltaj, bir dizi düşürücü transformatör tarafından tüketiciler için uygun bir değere düşürölür (400 V veya daha yakın). Günümüz elektrik santralindeki ana rol, güç transformatörleri tarafından oynanır. Transformatör, elektrik gücünü büyük mesafelere iletmeye ve tüketiciler arasında dağıtmaya hizmet eden güç sisteminin besleme ağındaki voltajı yükseltmek veya azaltmak için kullanılır.

Güç transformatörleri, yüksek güç kapasiteleri ve çalışma gerilimleri ile dikkat çekmektedir. Elektriğin entegre güç şebekesine, yük merkezine ve doğrudan çok sayıda küçük tüketiciye binlerce kilometreden fazla iletilmesi gerektiğinden, sistem voltajının dört ila beş kez dönüştürölmesi gerekir, bu nedenle çok sayıda yükselten ve alçaltan tip transformatöre ihtiyaç duyulur. Ayrıca, giderek daha düşük voltajda çalışan her dönüşüm aşamasının, güç transformatörlerinin toplam kapasitesinin genellikle önceki aşamadan daha büyük olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle, herhangi bir güç istasyonunda, trafonun kurulu gücü, kurulu üretim kapasitesinin altı veya yedi katıdır. Örnek olarak, Şekil 2.1 bir iletim ve dağıtım ağıının yerleşimini göstermektedir.

220 kV'tan daha yüksek voltajda çalışan besleme şebekesi bazen oto-trafolardan geniş ölçüde yararlanır. Bu tür transformatörler, genel olarak hem birincil hem de ikincil devre için ortak olan sargının bir kısmı olacak şekilde iletken olarak bağlanmış sargılara sahiptir. Güç transformatörleri, dağıtım ve oto transformatörlerinin yanı sıra, elektrikli fırın, doğrultucu, kaynak, düzenleme, test, çekiş, deniz, madencilik ve alet transformatörleri dâhil olmak üzere çok çeşitli özel transformatörler bulunmaktadır.

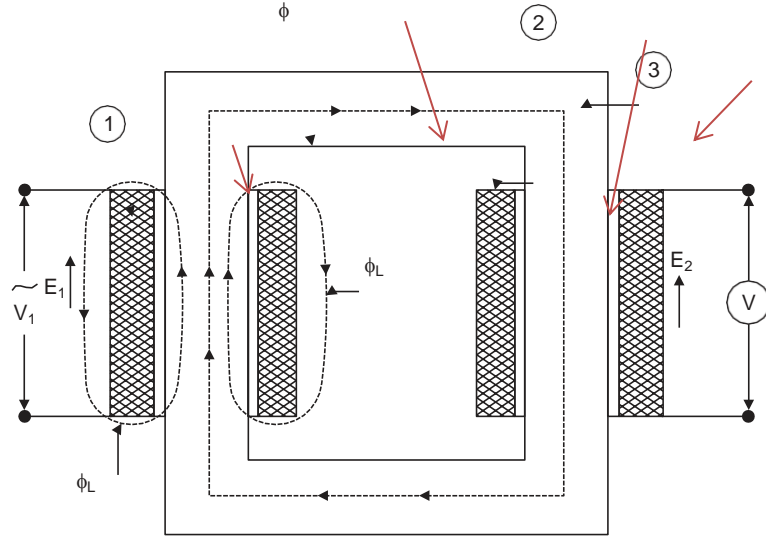
Çok sayıda transformatör türü, iletişim ekipmanlarında, otomasyon ve tele kontrol sistemlerinde, ev aletlerinde vb. Uygulama bulmaktadır. Bugün trafo olmadan çalışan tek bir elektrik tesisatı yok denecek kadar azdır.



Şekil 2.1: Transformatör iletim ve dağıtım örnek şeması [61].

2.2 Transformatörlerin Elektriksel Yapıları

Transformatör, elektromanyetik indüksiyon ile birbirine bağlanan iki veya daha fazla bağımsız elektrik devresinden (sargılardan) oluşan, bir veya daha fazla alternatif akım sistemini döner parça kullanmadan bir veya daha fazla alternatif akım sistemine dönüştüren elektromanyetik bir cihazdır. Özellikle transformatörün temel işlevi, amaçlanan elektrik gücünü fazla etkilemeden bir voltajdaki elektrik gücünü başka bir voltaja dönüştürmektir. Transformatörün çalışması için, kapalı bir iletken devrede bu devreyi bağlayan manyetik akıdaki bir değişiklik ile elektromotor kuvveti (emk) üreten elektromanyetik indüksiyon olgusuna bağlıdır. Şekil 2.2 tek fazlı bir transformatörün şematik bir diyagramını göstermektedir. Çekirdek (3), birbirinden izole edilmiş iki sargı (1) ve (2) taşıyan elektrikli çelik sacın ince yalıtımlı laminasyonlarından oluşur. Sargılardan biri, örneğin sargı (1) alternatif bir voltajla (V_1) beslenirse, akım (I_1) bunun içinde akacak ve V_1 voltajıyla aynı frekansta değişen manyetik akı üretecektir. Çeliğin geçirgenliği havanınkinin 800 ila 1000 katı olduğundan, manyetik akının büyük bir kısmı çekirdekten geçer. Ana akıdan çok daha küçük olan akının diğer kısımları sargı ile manyetik olarak bağlantı kurmaz. Kaçak akı, voltaj dönüşümünde yer almaz.

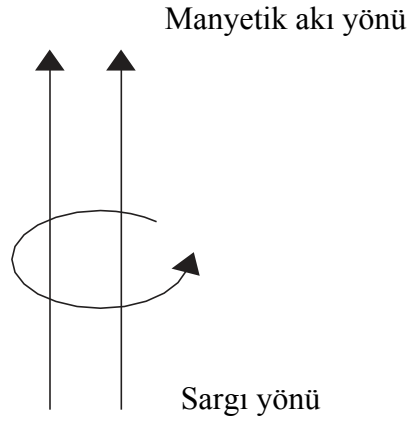


(1. Primer Sargı, 2. Sekonder Sargı, 3. Manyetik çekirdek).

Şekil 2.2: Basit bir fazlı transformatör

2.3 Akı ve Sargının Diyagramı Faraday Yasasına Göre Çalışma Prensibi

Faraday'ın Elektromanyetik İndüksiyon Yasalarına göre, kapalı bir manyetik devreye yerleştirilmiş bir sargıya alternatif bir voltaj uygulanırsa, manyetik döngüde yönü Şekil 2.3'te gösterilen alternatif bir akı üretecektir.

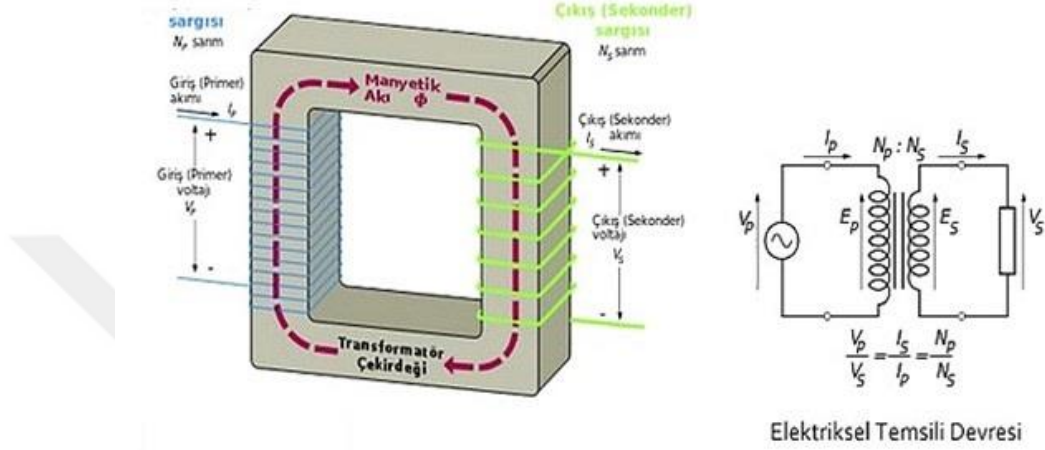


Şekil 2.3: Manyetik akı ve sargının temel diyagramı.

Manyetik devrede birden fazla sargı varsa, her sargı akıyı birbirine bağlayacak (yani akıyı kesecek) ve bir Elektro Hareket Kuvveti (EMK) üretecektir. EMK'nin büyüklüğü her bir sargıdaki dönüş sayısına ve manyetik devrede üretilen akı miktarına bağlıdır. Transformatörün çalışması, yükseltme ve düşürme konfigürasyonu Faraday'ın prensibine dayanmaktadır. Transformatör çalışmasında

sadece dönen bileşen akıdır, elektromanyetik olarak hareket eder (fiziksel olarak değil), geri kalan her şey sabittir ve dolayısıyla transformatör statik bir elektrik ekipmanıdır.

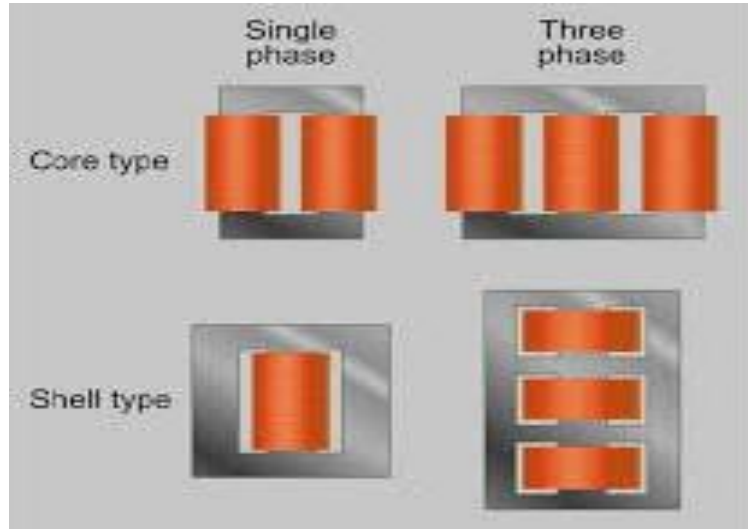
İki bobin seti ile kapalı manyetik devrenin şematik bir görünümü Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Manyetik devre şematik gösterimi [62].

2.4 Transformatörlerin Aksesuarları ve Devre Elemanları

Şimdiye kadar bir transformatörün zorunlu olarak kapalı bir manyetik devreye ve birincil ve ikincil olarak bilinen en az iki bobin grubuna sahip olduğunu öğrendik. Çekirdeğin gönye şeklinde konstrüksiyonu Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

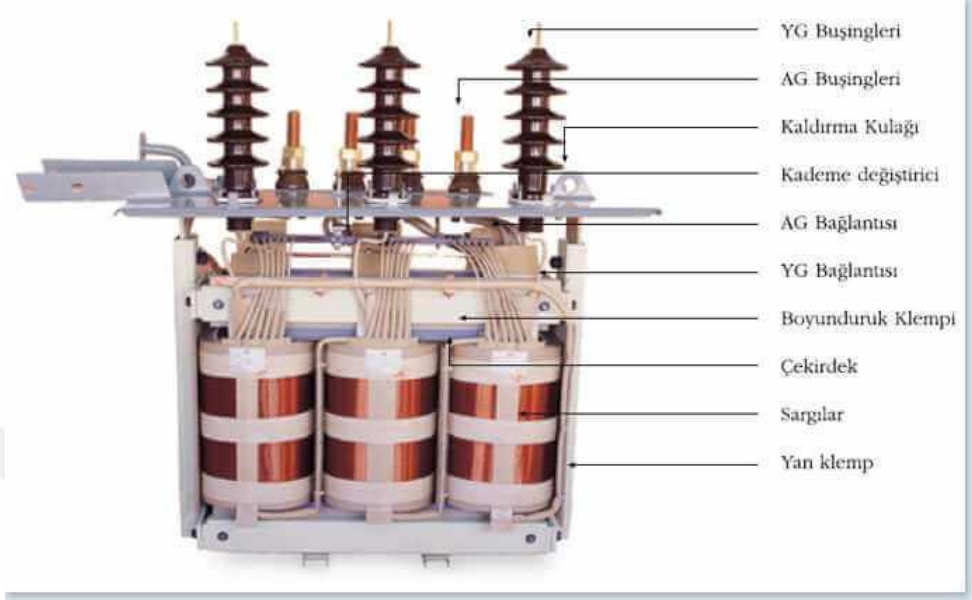


Şekil 2.5: Transformatör manyetik çekirdek tipleri.

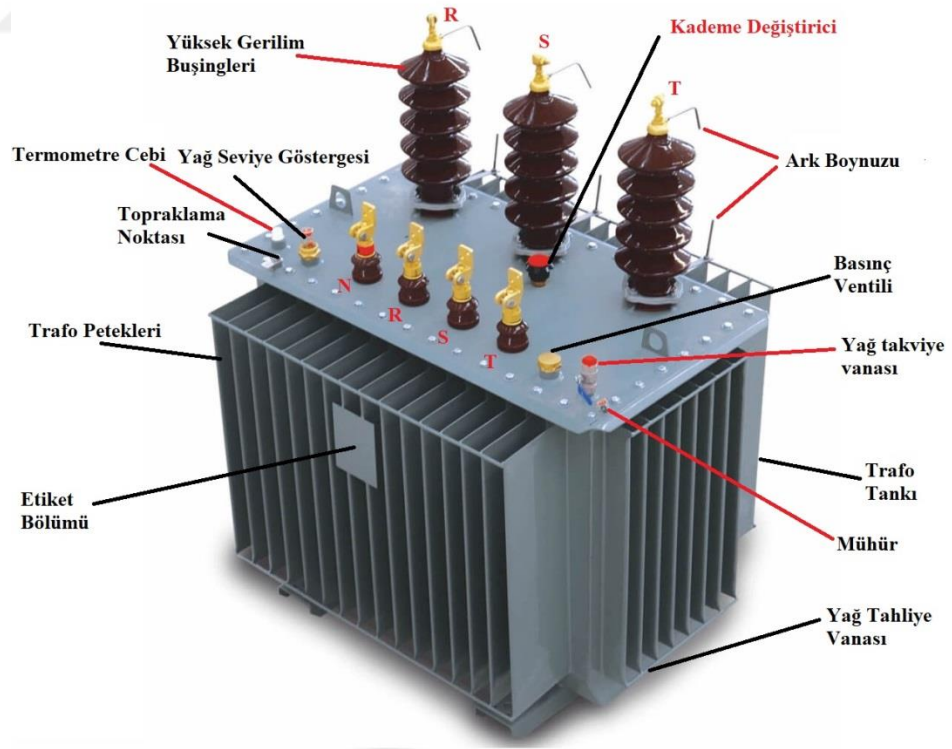
Prensip olarak manyetik devre, yani çekirdek toprak potansiyelinde kalmalı ve bobinler ilgili voltajlarına şarj edilmelidir. Çekirdek ve bobinlerin yanı sıra, bir transformatörün aşağıda belirtilen yardımcı elemanlara ihtiyacı vardır;

- Çekirdek yalıtım malzemeleri
- Bobin yalıtım malzemeleri
- Birincil ve ikincil bobinler arasında yalıtım silindiri
- Çekirdeği tutmak için çelik çerçeve
- Çekirdek montajına mekanik sertlik uygulamak için çekirdek sıkıştırma vidaları
- Bağlantı malzemeleri
- Uygun yalıtım terminalleri
- Trafo yağı
- Bobin sıkıştırma takozları
- Nüve ayağı
- Soğutma radyatörleri
- Yağ seviye göstergesi
- Basınç emniyet valfi
- Hermetik koruma rölesi
- Termometre
- Trafo taşıyıcı ayağı
- Trafo tekerleği
- Trafo tavası
- YG ve AG buşingleri
- YG ve AG izolatörleri
- Yağ doldurma vanası
- Yağ boşaltma vanası
- Trafo kapağı

- Kaldırma kulakları
- İsim plakası
- Topraklama terminalleri



Şekil 2.6: Transformator elektrisel yapısı.



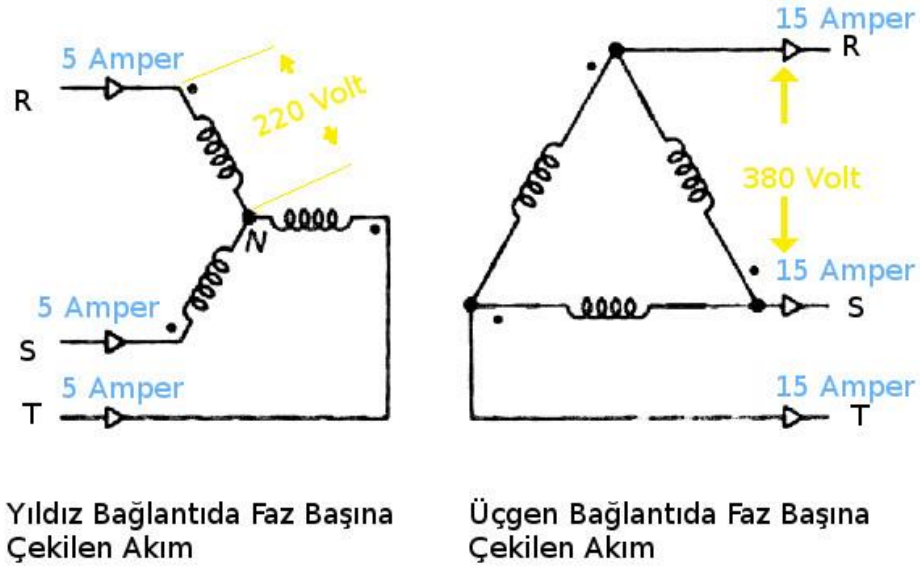
Şekil 2.7: Hermetik transformator aksesuarları.

Bir yükseltici veya düşürücü transformatör olsun, alçak gerilim sargısı genellikle çekirdeğe daha yakın yerleştirilir. Yüksek gerilim sargısı çekirdekten uzakta kalır ve LT bobini üzerine eş eksenli olarak yerleştirilir. Çekirdeği ikincil bobinden yalıtım için doğru türde bir yalıtım gereklidir. Bobinler arasında da aynı şekilde yalıtkan silindir ve yağ kanalları kullanılmaktadır. Bobinlerin dikey destekleri yalıtkan halkalar ve bloklar aracılığıyla yapılır.

Sargılar, teller (küçük akım için) veya dikdörtgen şerit (yüksek akım için) şeklinde alüminyum veya bakırdan yapılır. Yağ soğutmalı transformatör için sargı telleri ya emaye kaplı ya da kâğıt kaplıdır. Şeritler genellikle kâğıt kaplıdır. Telleri ve şeritleri kaplamak için çok ince kalınlıkta (1,5 ila 2 mil mertebesinde) Elektrik Dereceli Yalıtım Kâğıdı (EGIP) kullanılır. Kâğıt silindirler, halkalar ve bloklar yalıtkan baskı kartonundan yapılmıştır. Transformatör yapımında kullanılan kağıtlar ve pres kartonları odun hamurundan yapılır.

Çekirdek tertibatını tutmak için haddelenmiş açılı veya kanal şeklinde çelik çerçeve veya yumuşak çelik sacdan oluşturulmuş kanal (NPU demiri) kullanılır. Sertlik uygulamak için çekirdek düzeneği yatay ve dikey vidalarla daha da sıkılır.

Bir önceki paragrafta bağlantı malzemelerinin trafo yapımındaki bileşenlerden biri olduğundan bahsetmiştik. Bu, sargı malzemelerinden daha yüksek enine kesite sahip kalın yalıtılmış bakır telden başka bir şey değildir. Bu yalıtımlı uçlar, kademe anahtarına (no. 7) veya gelen ve giden terminallere (no. 8 ve no. 9) sonlandırmak için sargı uçlarına lehimlenmiştir veya kıvrılmıştır. Üç fazlı transformatör için, fazlar arasındaki bağlantılar, yıldız ve delta oluşturmak üzere yalıtılmış uçlar tarafından da yapılır (Şekil 2.8'de gösterildiği gibi)

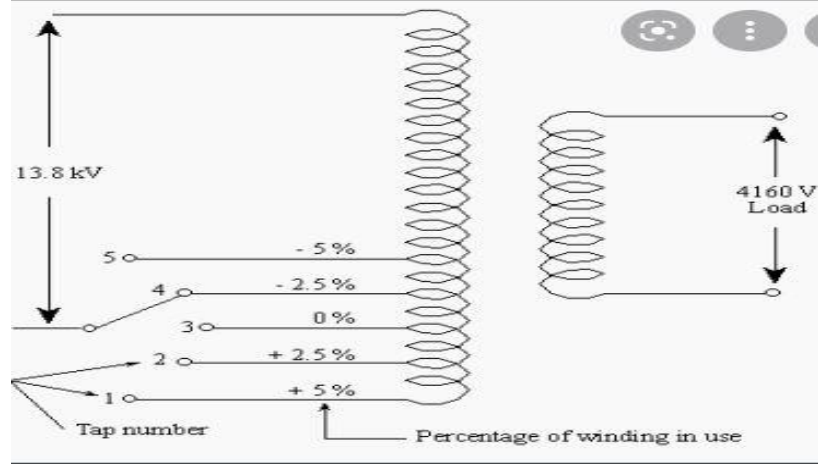


Şekil 2.8: Transformatör örnek yıldız ve üçgen bağlantı şekli.

2.5 Transformatörlerde Gerilim ve Kademe Değiştirici

Küçük güçteki transformatörler için kademe değiştiricilerin kullanılması alıcılar için isteğe bağlı bir seçimdir. Anahtar, birincil voltajın yüksek veya düşük olduğu durumlarda sekonder voltajı kontrol etmek için kullanılır. Akımın nispeten düşük olduğu transformatörün yüksek voltaj tarafında kademe anahtarının sağlandığını unutmamalıyız. Trafo merkezinin yakınında bulunan voltaj, anma voltajına göre her zaman yüksektir ve aynısı uzak alanda nispeten düşüktür. Bu nedenle yüksek gerilim sargısı hem artı hem de eksi kademeleri çalıştırmak üzere tasarlanmıştır. Artı ve eksi kılavuz çekmeler arasında birkaç adım sağlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan kademe gerilimi YG varyasyonları için %2.5 ve %5'tir. Kademe anahtarı off load veya on load kontrolü ile yük altında olabilir.

Şekil 2.9 sabit LV voltajını korumak için HV sargısında sağlanan kademelerin şematik bir görünümünü temsil eder. Şekil 2.9'da gösterilen HV sargısında, komütatördeki uçlar sırasıyla HV sargısının alt ve üst yarısından çıkarılır. Komütatör anahtarı, üst ve alt uçların bir ucunu birbirine bağlayan bir makaralı kontağa sahiptir.



Şekil 2.9: Off Load komütatör örneği.

Tap position	% HV Variation	Short	Primary voltage	Secondary voltage
1.	+5%	5-6	11550 V	433 V
2.	+2.5%	6-4	11275 V	433 V
3.	Normal	4-7	11000 V	433 V
4.	-2.5%	7-3	10725 V	433 V
5.	-5%	3-8	10450 V	433 V

Şekil 2.10: Komütatör kademelerine göre gerilim değişimleri ve uç bağlantıları.

2.6 Transformatörlerde Soğutma ve Yalıtım Yağı

Transformatör yük üzerinde çalışırken çekirdek ve sargıdan kaynaklı kayıplar ısı oluşturur ve bu ısı transformatör yapımında kullanılan yalıtım malzemelerine zarar verir. Transformatörlerde sıcaklığı kontrol altında tutmak gerekmektedir. Ham petrol sıvısının fraksiyon el damıtılmasından elde edilen mineral yağ, transformatörü soğutmak için benzersiz bir özelliğe sahiptir ve ayrıca bir yalıtım malzemesi görevi görür. Yağ, orta ve yüksek gerilim transformatörlerinde kullanılır. Transformatörün aktif kısmı, yani çekirdek-bobin tertibatı, sızdırmaz bir çelik mahfaza kazan içine yerleştirilir ve yalıtkan yağ ile doldurulur. Yağ, sargılardan tank yüzeyine kadar ısı taşımak için bir ortam görevi görür. Tank daha sonra ısıyı radyasyonla atmosfere yayar. Sargıdan depoya ısı aktarma sürecinde, sargı ve yağ belirli miktarda ısı tutar. Sargı ve yağın sıcaklığındaki artış, önceden belirlenmiş olan sargı için 50°C'lik artış ve yağ için 40°C'lik artış değerlerini aşar ise hem yağın hem de yalıtım malzemelerinin elektriksel özellikleri bozulmaya başlar. Sargı ve yağ sıcaklığındaki artışı sınırlamak için tank yüzey alanının artırılması gerekir. Bu gibi durumlarda radyatör kullanmak gelenekseldir. Radyatörler, yuvarlak veya eliptik boru şeklinde veya kanat şeklinde çelik borudan yapılıdır. Bir girişi, bir çıkışı vardır ve tank duvarına

sabitlenmiştir. Bu tip radyatörlerde kızgın yağ dolaşır ve konveksiyon işlemi ile soğutulur.

Tank kapağı, terminal delikleri, kontrol cebi, kademe anahtarı kolu, hava tahliye tapası vb. gibi tüm açıklıklar ve bağlantılar, ilgili bileşenler ve sızdırmazlık contaları ile kapatılmıştır. Burç terminallerine bağlantı yapılır. Gerekli seviyeye kadar yağ eklenir. Yağı eklenen transformatör test için hazır hale gelir. Transformatör içinde kullanılan kâğıt yalıtımının yağı emmesi ve sargılara daha yüksek elektrik gücü sağlaması için zamana ihtiyacı olduğundan, yağ doldurulduktan en az 24 saat sonra yüksek voltaj testinin yapılması önerilir.



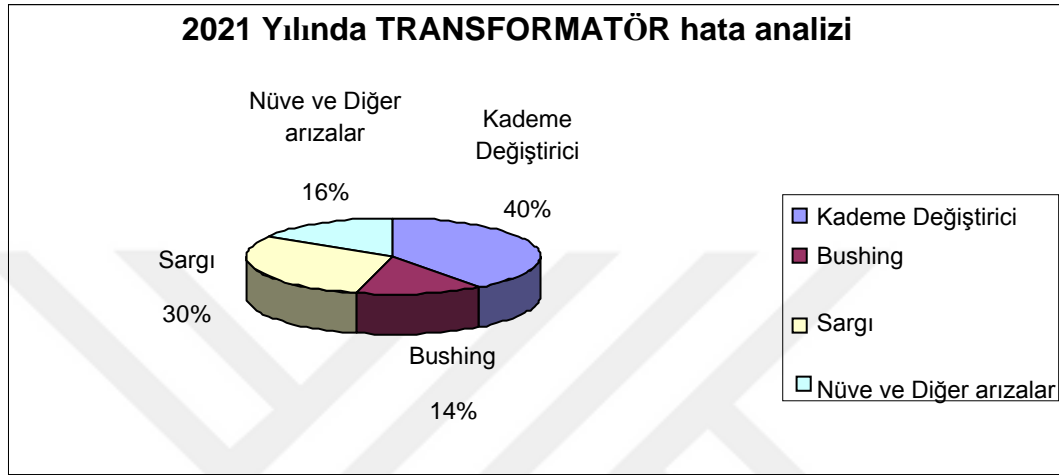
3. GENEL TRANSFORMATÖR ARIZLARI VE ARIZA İZLENMESİ

Transformatör arızası ile ilgili en doğru bilgiler trafolarının devrede çalışmasını takip eden ve transformatör tekniğini bilen kişiler tarafından yapılmalıdır. Transformatörde oluşan arıza sebebini bulmak bazen çok kolay olabilirken bazı durumlarda çok zor olabilmektedir. Arıza incelemesinde ortaya konulan hipotezlerin toplanan bilgiler ve diğer sistem ekipmanlarınca da doğrulanması gerekmektedir. Transformatörün arıza incelemesinde transformatörün üretici firması ve üretim aşamaları da göz önünde bulundurulmalıdır, çoğu defa transformatör arızaları üretici firma kaynaklı olabilmektedir. Transformatör arızasını bulmak için yapılan çalışmalar laboratuvar testleri ile desteklenmeli, fabrika ve atölye de simülasyon imkânı bulunuyorsa hipotezin doğruluğu test edilmelidir.

3.1 Transformatörlerde Arızaya Yol Açacak Durumlar

- Transformatörün aşırı yüke maruz kalması.
- Transformatörün uzun süre ortam sıcaklığının 40 °C'den yüksek olması.
- Transformatörün bağlı olduğu üretim hattından kaynaklı veya doğa olaylarından kaynaklı aşırı gerilime maruz kalması.
- Transformatörün üretim aşamasında sargı katları arasındaki izolasyon yetersizliği nedeni ile oluşan problemler.
- Transformatörlerde yalıtım için kullanılan DDP Termopox kağıtlar ve kraft kağıtlarının yeterli ısınma sıcaklığına sahip olmaması.
- Transformatörün yalıtımı için kullanılan mineral yağın tam olarak nemden arındırılmamış olması.
- Transformatör sargılarında kullanılan kenar şerit olarak adlandırılan başlıkların üretim aşamasında yeterli kalınlıkta kullanılmaması.

- Transformatörün soğutma işlemini gerçekleştiren dalga duvar adı verilen radyatör isimli soğutucuların transformatör hesapları yapılırken yeterli şekilde kullanılmaması.
- Transformatör alçak gerilim ve orta gerilim sargılarında kullanılan iletkenlerin akım yoğunluğu bakır sargılı transformatörler için ≤ 4 , alüminyum sargılı transformatörler için $\leq 2,15$ olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.1: 2021 yılı Transformatör tamir edilen ürün arıza grafiği.

3.2 Transformatörlerde Sargı İzolasyon Arızaları

Sargı izolasyon arızaları, genellikle iç ve dış aşırı gerilimler sonucunda oluşur. Anahtarlama esnasında oluşan aşırı gerilimler, atmosferik olaylardan dolayı meydana gelen darbe gerilimleri (yıldırım darbe gerilimi), sargılarda çok büyük potansiyel fark oluşturur ve bunun neticesinde sargı izolasyonu delinir ve transformatör sargıları kısa devre olarak zarar görür.

Ayrıca sargı arızaları kısa devre kuvvetleri sonucunda yetersiz baskı sonucu normal işletmede de olur. Aynı şekil de trafo içine su sızarsa veya trafo rutubet alırsa sargı arızaları oluşur. Sargı izolasyonu zedelendiği takdirde bir veya birkaç sipir kısa devre olabilir ve bu arada çıkan arktan dolayı gaz oluşur, oluşan bu gaz transformatörde harici koruma aksesuarları var ise (Buchholz ve Hermetik Koruma Rölesi) aksesuarlar sayesinde devreden çıkarılır. Yağ içinde oluşan arktan dolayı yağın tutuşması söz konusu değildir, ark yağ içinde havasız yani oksijensiz bir ortamda olmaktadır. Trafo korumaları yetersiz ise sipir arızaları büyüyebilir, hatta sargı kullanılmaz hale gelebilir.

Her durumda sargı arızalarının sebebinin bulmak kolay olmayabilir. Birçok durumda trafonun aşırı yüklenmesi veya çok geç bertaraf edilen kısa devre sipir izolasyonuna zarar verir. Aşırı ısınma, aşırı yüklenme olmadan, normal yüklerde, fakat arızalı yağ akışında, örneğin yağ çamuru teşekkülünde de olabilir.

Asitli yağlarda izolasyonu bozabilir ve arızalara sebep olabilir. Yağda veya sargıda bulunan rutubet zararlı neticeler verebilir. Onun için yağın zaman zaman test edilmesi gerekir.

Yabancı metal parçalar, bağlantı parçaları, rondela, cıvata, somun ve lehim gibi montajda veya tamir esnasında unutulmuş veya düşürülen parçalar arızalara neden olmaktadır. Çok küçük olsa bile yabancı maddeler, örneğin demir talaşı manyetik alanın etkisiyle hareket eder ve bazı durumlarda izolasyonu keserek ve dielektrik mesafesini kısaltarak kısa devreye sebep olurlar.

3.3 Transformatörün Sargı Isınmasından Kaynaklı Arızalar

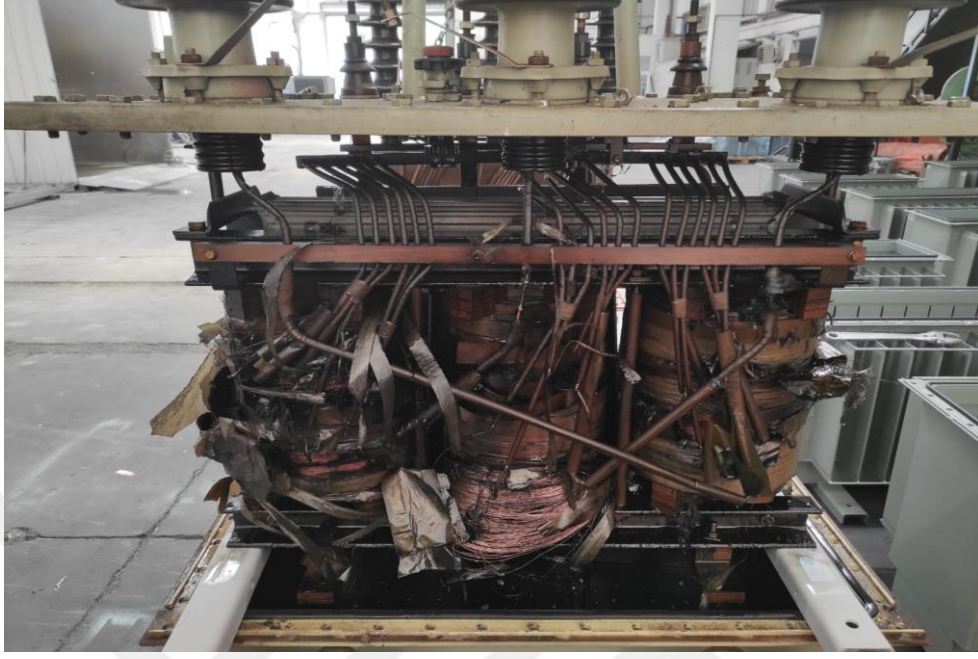
Bu tip arızaların temel nedeni transformatörün aşırı yük altında çalışması ve transformatörün dizaynı yapılırken transformatöre seçilen iletkenlerin gerekli akım yoğunluğuna göre seçilmemiş olmasıdır.

Sargılarda kesit küçüklüğü veya soğutulamaması nedeniyle gelişen arızaların elektriksel testler ile tespiti mümkün değildir. Zira bu tür arızalar, yavaş gelişen ve toprağa karşı izolasyon bozulmasına neden olmayan arızalardır. Bu tür arızaların; gelişimi ve tespiti ancak gaz analizi testleri ile mümkündür.

Yağda yapılan gaz analizleri ile daha birçok arıza (nüve, manyetik ekran vb. gibi) önceden tespit edilebilir. Ancak, bu tür arızalar burada verilecek örneklerden de görüleceği üzere trafo sargısının açılması ile görülebilir. Yalnız gaz analizi değerlerinden trafo açıldığında nerelere bakılacağı birikmiş bilgi birikimi ve tecrübelerle mümkündür.

Aşırı ısıya maruz kalan transformatörlerde kullanılan izolasyon malzemeleri yüksek sıcaklık nedeni özelliğini yitirmeye başlar, genel olarak dağıtım tip transformatörlerde A sınıfı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır, A sınıfı yalıtım malzemeleri 110 °C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir. Sıcaklık değeri 110 °C değerini geçince kavrulup kopmaya başlamaktadır, kavrulma esnasında kâğıt parçacıkları karbonlaşarak yalıtkan özelliğini yitirip aksine iletken hale geçmektedir. Bu durum

sonucunda transformatörün sargıları kısa devre olarak transformatör zarar görmektedir.



Şekil 3.2: Aşırı ısınma sonucu zarar transformatör elektriksel kısmı.

3.4 Transformatörlerde Aşırı Gerilimden (Yıldırım Darbesi) Oluşan Arızalar

Transformatörlerin üretim aşamasında hesabı yapılırken nominal gerilimlerine daha yüksek gerilime dayanacak şekilde üretimi yapılır. Transformatörler bazen anahtarlama esnasında bazen de doğa olaylarından kaynaklı aşırı gerilime maruz kalırlar buna yıldırım darbe gerilimi denir. Transformatörler uzun süreli ve tekrarlı darbe gerilimlerinden sonra trafo yağı ve sargı izolasyon malzemeleri delinmeye başlar ve gerilim bir sargıdan diğerine atlama yapar, bu delinme öncesinde transformatörün yüksek gerilim buşingleri ile şebekeden gelen yüksek gerilim bağlantı kablosunda korona etkisi olur, korona etkisi ile kabloda titreşim ve ses çıkmaya başlar bu geçici rejimin başlangıcında trafo devreden çıkarılır ise transformatörün izolasyon delinmesi gerçekleşmeyecek ve transformatör sargıları kısa devre olmayacaktır.

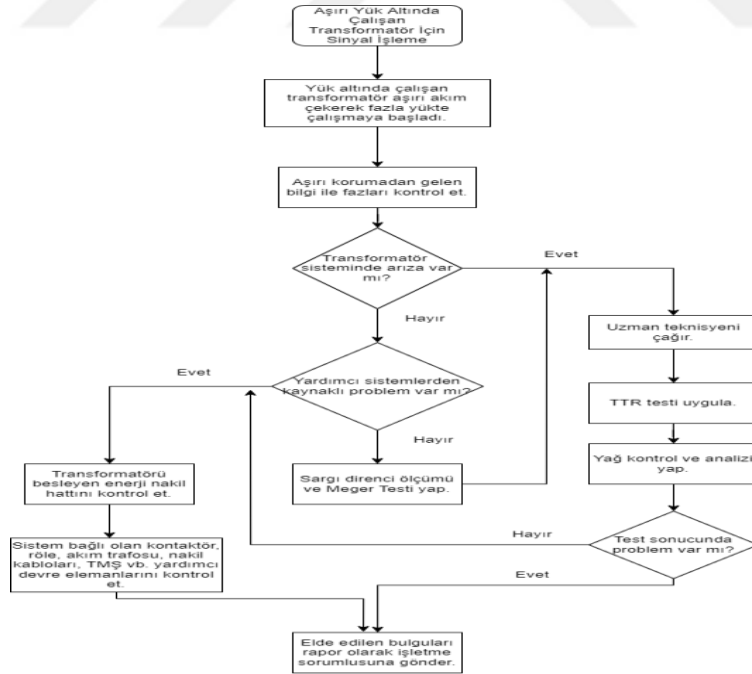
Uzun yıllar yük altında çalışmış transformatörler yağ bakımlarına dikkat edilmezse bir süre sonra yağ bozulmaya başlar, yağ bozulunca gerekli dielektrik dayanım özelliğini yerine getirmez ve bu husus sonucunda transformatörün maruz kaldığı aşırı gerilim kendisini en kısa yoldan toprağa göndermeye çalışır ve delinme olayı

gerçekleşir. Transformatörün sargı izolasyonları da zamanla sıcaklığa maruz kalması sonucu özelliğini yitirmesi etkisi de bu delinme olayına yardımcı olur.



Şekil 3.3: Aşırı gerilime maruz kalmış transformatör örneği.

3.5 Transformatörlerde Aşırı Yüklenme Koruması İçin Sinyal İzleme Algoritması

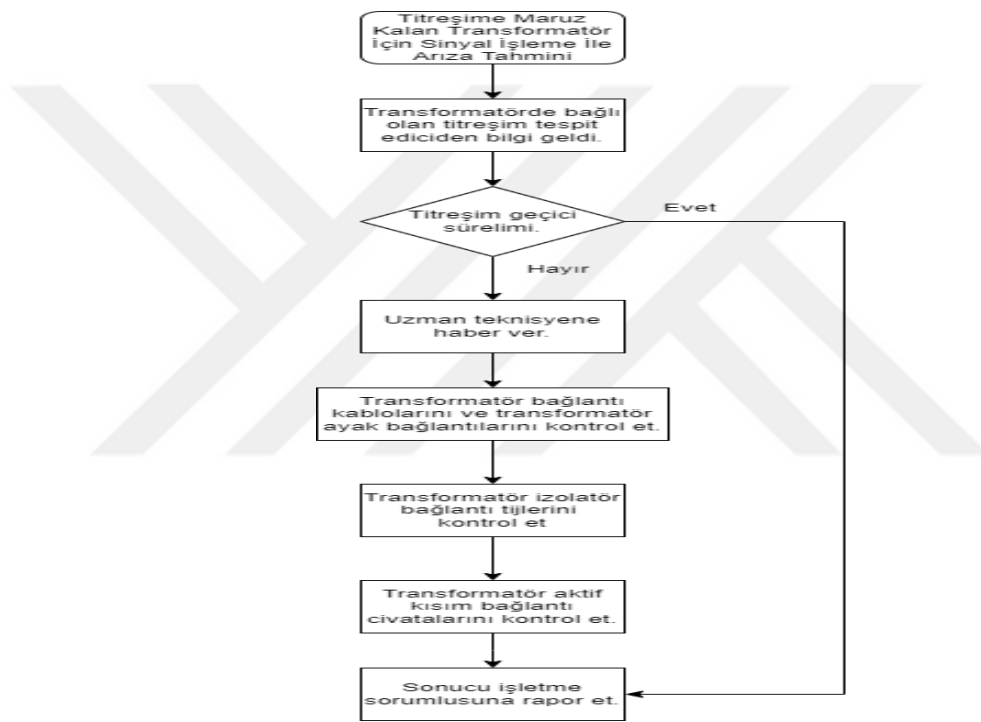


Şekil 3.4: Sinyal izleme yöntemi ile aşırı yük kaynaklı oluşacak transformatör arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.

Transformatörlerde aşırı yüklenme sonucu arıza olayı sıkça görülmektedir. Transformatörler işletmede çalıştığı esnada algoritmadaki yöntemler izlenirse, aşırı yüklenme tespit edilir ve transformatörler arıza almadan devreden çıkarılmış olur.

Algoritmaya göre transformatörlerin sekonder akımları akım analizörleri ile izlenir. Transformatörler aşırı yüklenme sonucunda belirlenen akım sınırını geçtiği durumda uzman teknisyen ve mühendisler tarafından gerekli incelemeler yapılır ve transformatör arıza almadan devrede çıkarılır ve müdahale edilir.

3.6 Transformatörleri Titreşime Karşı Korumak İçin Sinyal İzleme Algoritması



Şekil 3.5: Sinyal izleme yöntemi ile titreşim kaynaklı oluşacak transformator arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.

Transformatörlerde titreşim sonucu arıza olayı sıkça görülmektedir. Transformatörler işletmede çalıştığı esnada algoritmadaki yöntemler izlenirse, titreşim transformatöre zarar vermeden önce tespit edilir ve transformatörler arıza almadan devreden çıkarılmış olur.

Algoritmaya göre transformatörlerin üzerine titreşim ölçer takılarak sinyaller izlenir. Transformatörler de titreşim oluşmaya başladığı durumda uzman teknisyen ve mühendisler tarafından gerekli incelemeler yapılır ve transformatörler daha büyük arıza almadan devrede çıkarılır ve müdahale edilir.

3.7 Transformatörleri Aşırı Isınmaya Karşı Korumak İçin Sinyal İzleme Algoritması

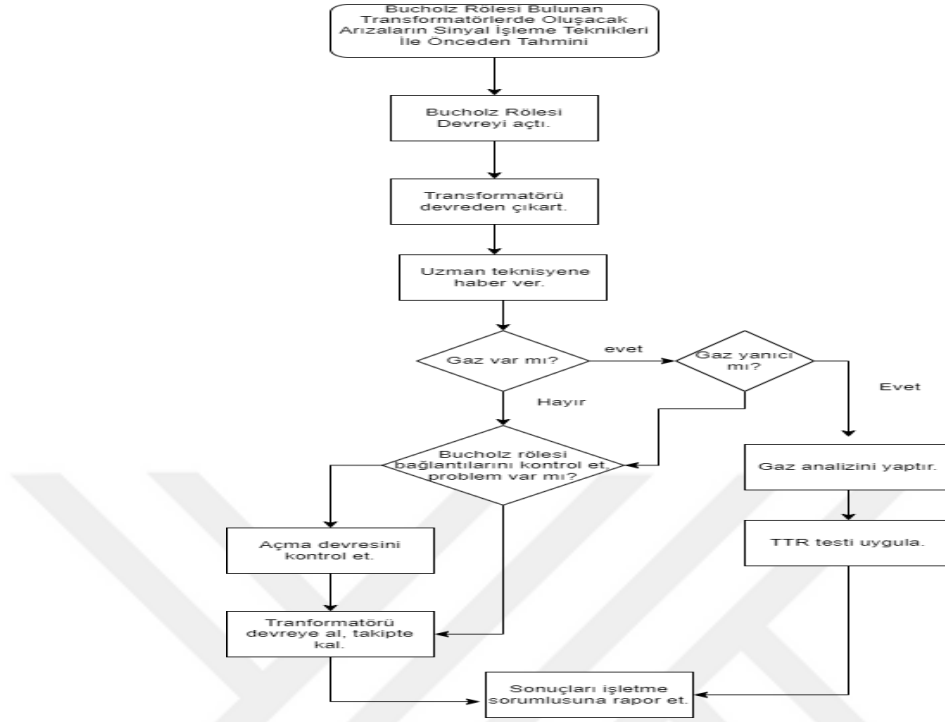


Şekil 3.6: Sinyal izleme yöntemi ile aşırı ısınma kaynaklı oluşacak transformatör arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.

Transformatörlerde aşırı ısınma sonucu arıza olayı sıkça görülmektedir. Transformatörler işletmede çalıştığı esnada algoritmadaki yöntemler izlenirse, aşırı ısınma tespit edilir ve transformatörler arıza almadan devreden çıkarılmış olur.

Algoritmaya göre transformatörlerin sıcaklıkları termometre ile izlenir. Transformatörler de sıcaklık artışı belirlenen şartnamede belirlenen sıcaklık sınırını geçtiği durumda uzman teknisyen ve mühendisler tarafından gerekli incelemeler yapılır ve transformatör arıza almadan devrede çıkarılır ve müdahale edilir.

3.8 Bucholz Rölesi Tarafından Tesit Edilen Arıza Sinyallerinin İzleme Algoritması



Şekil 3.7: Sinyal izleme yöntemi ile Bucholz rölesi ile tespit edilecek transformatör arıza tahmin ve tespiti için önerilen algoritma.

Transformatörlerde Bucholz rölesi, yanık gaz testini yapmaktadır. Transformatörler işletmede çalıştığı esnada algoritmadaki yöntemler izlenirse, Bucholz rölesi yardımı ile transformatörler arıza almadan devreden çıkarılır.

Algoritmaya göre transformatörlerin üzerine üretici tarafından yerleştirilen Bucholz rölesi sinyaller izlenir. Transformatörlerde ki Bucholz rölesi alarm verdiği durumda uzman teknisyen ve mühendisler tarafından gerekli incelemeler yapılır ve transformatörler daha büyük arıza almadan devrede çıkarılır ve müdahale edilir.

4. YILDIRIM DARBE GERİLİMİ SİNYALLERİNİN TRANSFORMATÖRLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UYGULAMALI İNCELENMESİ

Bir Transformatörde darbe deneyine başlamadan önce bazı ön kontrollerin yapılması gereklidir:

- Yağ dolumu sonrası dinlenme zamanı ve yağ seviyesi kontrolü.
- Çevirme oranı ve polarite ölçümü.
- Transformatör sargı dirençlerinin ölçümü.
- Transformatör yağında gerekli testlerin yapılması.
- Transformatör üzerindeki tüm topraklama bağlantılarının yapılması.

Transformatörle ilgili işlemlerin dışında ayrıca, bu obje için darbe deney devresinin yapısının ölçülendirilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması ve ölçme devrelerinin kurulması ayarlanması gerekmektedir.

Deney sırası IEC 60076-3'e göre:

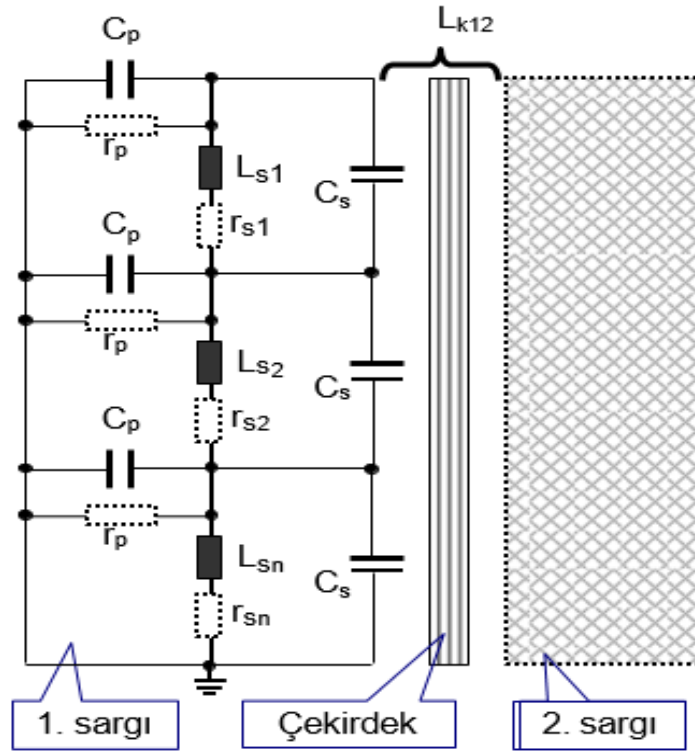
- Bir adet referans tam dalga (%50-%75 arası test geriliminde)
- Bir adet tam dalga (%100 değerinde)
- Bir veya daha fazla referans sırtta kesilmiş dalga (%50-%75 arası test geriliminde)
- İki adet sırtta kesilmiş dalga (%100 değerinde)
- İki adet tam dalga (%100 değerinde)

Darbe sırasında transformatör çekirdeği, yüksek frekans bölgesinde herhangi bir etki meydana getirmez, endüklenen akı çekirdeğe nüfuz edemez. Ayrıca sargılar arasındaki endüktif kuplaj, şebeke frekanslı gerilimlerde olduğu kadardır. Darbe deneyi sırasında çekirdeğin doyması söz konusu değildir. Tam darbe uygulandığında endüksiyon çok düşük (yaklaşık 0,1 T) ve mutlak permeabilite çok yüksektir.

Darbe deneyleri sırasında sekonder sargılar kısa-devre yapılmış veya düşük direnç üzerinden topraklandığından ve mıknatıslanma akımının, kısa-devre akımına oranı ihmal edilebilir olduğundan çekirdeğin rolü, darbe gerilim ve akımlarının değişiminde çok nadiren görülebilir. Darbe geriliminin, sargı boyunca dağılımı lineer değildir. Şekil 4-1'deki eşdeğer devrede yıldırım darbe geriliminin (1,2/50 ms) akışı cephe ve sırt frekanslarında farklı olarak değerlendirilmelidir.

Dalga cephesinin yükselişi sırasında (1,2 ms) L_s endüktansından akan akım küçüktür. Akımın büyük bir bölümü C_s seri (boyuna) ve C_p toprak (enine) kapasitelerinden akacaktır. Cephenin yükselme hızı ne kadar yüksek ise C_s ve C_p 'den akan kısım o kadar büyük olur. Sargı burada tam bir kapasite zinciri gibi davranır. Gerilim dağılımı C_s ve C_p kapasite değerlerine göre belirlenecektir. Bu dağılıma başlangıç dağılımı adı verilir.

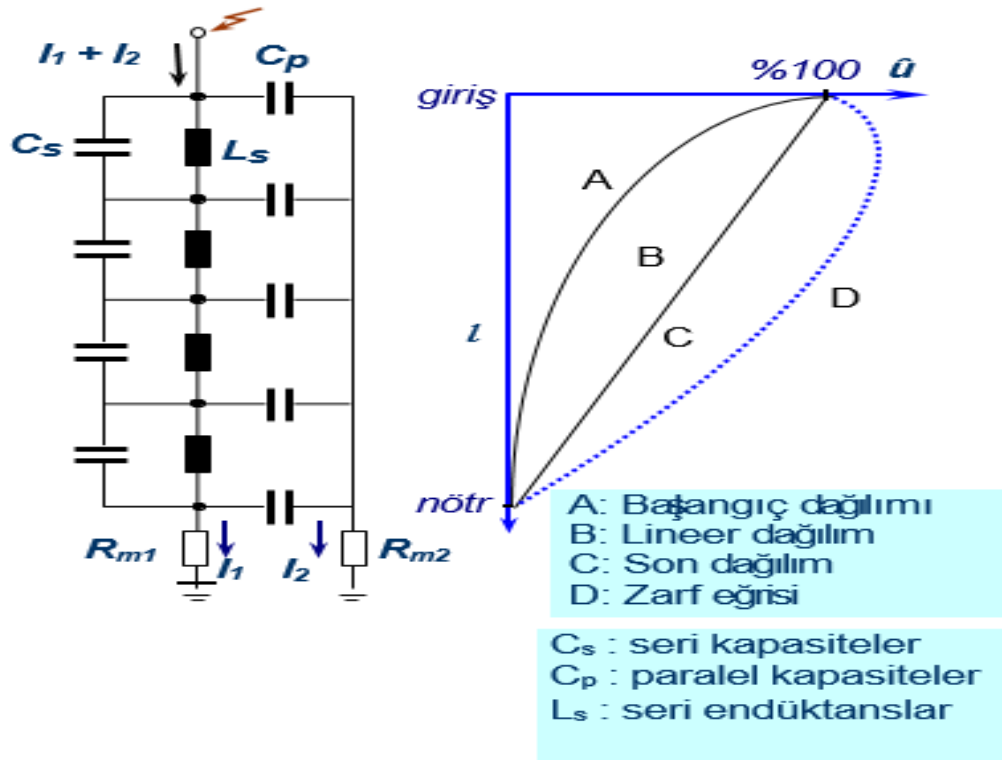
C_p toprak eşdeğer kapasitesi, başlangıç dağılımına uygun olmayan bir etki yapar. Başlangıç dağılımının ideal hali; Lineer olmasıdır. C_p ne kadar büyük ise, sargılar arasındaki gerilim farkları ve sargı giriş bölümünde zorlanma o kadar büyük olur (Şekil 4-2 A eğrisi).



Şekil 4.1: Transformator sargısı eşdeğer devresi.

Cepenin yükselişi tamamlandıktan sonra darbe gerilim dalgasının sırtı (50 ms) gerilim dağılımında etkin olacaktır. Bu dağılıma son dağılım adı verilir. Bu sırada frekans düşük olacağından C_p ve C_s kapasitelerinden akan akım düşük olur ve darbe akımının ana kısmı L_s endüktansından akar (Şekil 4.2 C eğrisi).

Başlangıç dağılımından son dağılıma geçinceye kadar sargıda gittikçe sönümlenen gerilim salınımları meydana gelir. Bu salınımların maksimum değerlerinin çizdiği zarf eğrisi şekil 4.2 D'de verilmiştir. Burada gerilimlerin aynı anda meydana gelmediği göz önünde tutulmalıdır. Başlangıç ve nihai dağılım arasındaki fark ne kadar küçük ise salınımların zarf eğrisi de o kadar küçük olur. Sargı içindeki gerilim dağılımları, ya bilgisayar programları veya düşük gerilimli (max.500 V) "repetition jeneratörü" ile transformatörün aktif kısmı üzerinde yapılacak ölçmelerle belirlenebilir.



Şekil 4.2: Başlangıç ve son dağılımı.

Yıldırım darbe gerilim dalgasının sargı içindeki hareketini inceleyecek olursak; şekil 4.2'deki basitleştirilmiş eşdeğer devrede L_s herhangi bir sargı elemanının endüktansı, C_s iki sargı parçası arasındaki boyuna (seri) kapasite, C_p her sargının toprağa karşı

enine (paralel) kapasitesi olarak gösterilmiştir. Böyle bir zincir yapıya darbe gerilimi uygulandığında, C_S seri ve C_P toprak kapasiteleri üzerinden bir akım akar.

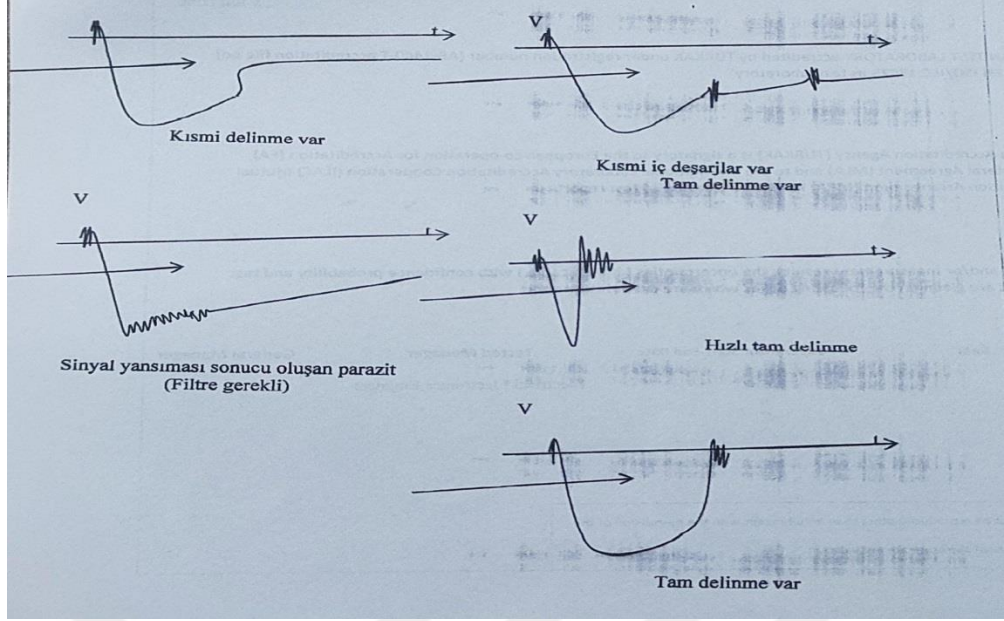
Bu akımlar R_{m1} ve R_{m2} ölçme şöntlerine bağlı ölçme cihazlarında (osiloskoplarda) ölçülebilir. Bu akımlar giderek sönümlenecek, buna karşın endüktans uygulanan gerilimin sırt süresince sargı iletkenleri boyunca yürüyen dalga nedeniyle belirli bir süre şarj edilecektir. Yürüyen dalganın, sargı sonuna kadar geçen bu süresine T denirse, $1T$ zaman sonra R_{m1} ölçme şöntüne bağlı osiloskopta, akan akım ölçülebilir.

Yağ içindeki bazı basit sargılarda (örn. disk sargı gibi) bu hız yaklaşık 150- 170 m/ms kadardır. Ayrıca bir transformatörün alçak gerilim sargısının deney sırasında sonlandırılma şekli de akımın değişimini etkilemektedir.

Gerek darbe gerilimi uygulanan sargının diğer kısımlarına ve gerekse darbe uygulanmayan sargılara darbe gerilimi transfer (taşınma) olabilir. Kapasitif ve endüktif olarak iki şekilde transfer söz konusudur.

Yukarıdaki açıklamalardan darbe gerilimlerinde sargılardaki zorlanmalar:

- Tam dalga geriliminde, cephe süresince (1,2 ms) sargının sarım yalıtımları zorlanır. Zorlamanın şiddeti, cephenin dikliği ile artar ve sargının içlerine gidildikçe azalır. Sırt süresince sargının ana yalıtımı yani tüm topraklanmış kısımlara (çekirdek, sıkıştırma düzeni, kazan ve topraklanmış sargılar) karşı ve tüm bobin boyunca yalıtımı zorlanır.
- Sırtta kesilmiş dalgada kesme sırasındaki diklik nedeniyle sargının girişinde sarım yalıtımını zorlar. Gerilim ne kadar dik kesilirse zorlanma o kadar fazla olur. Kesme yeri transformatörün bağlantı terminallerine ne kadar yakın olursa tehlike o oranda yükselir. Zira dalganın katettiği yol ne kadar kısa ise söndürme o kadar az olur ve gerilim kesilme dikliği de fazla olur.
- Cephede kesilmiş dalgada, sargıların zorlanması sırtta kesilmiş dalgada olduğu gibidir. Burada gerilim genliği daha yüksek, fakat etki süresi daha azdır.



Şekil 4.3: Yıldırım darbe sinyali delinme eğri tipleri [63].

4.1 Deneyde Kullanılacak Test Numunesinin Özellikleri

Trafo Gücü: 1000 kVA

Trafo Seri Numarası: 12832

Trafo Gerilim Sınıfı: 36 kV

Trafo Gerilimi: 33.0.4 kV

Trafo Off Load Kademe Sayısı: 6 poz

Kademeler Arası Gerilim Değişimi: 1500 Volt

Nominal Kademe (Test Kademesi): 1-4-6

Test Tarihi: 03.01.2022

Test Personeli: Elektrik Elektronik Müh. Safa ALKAN

Laboratuvar Sorumlusu: Elektrik Elektronik Müh. Turgut KÖMÜRKARA

Test Alanı: Timsan Transformatör Yıldırım Darbe Test Laboratuvarı (Faraday Kafesi).

Test Ortam Sıcaklığı: 19 °C

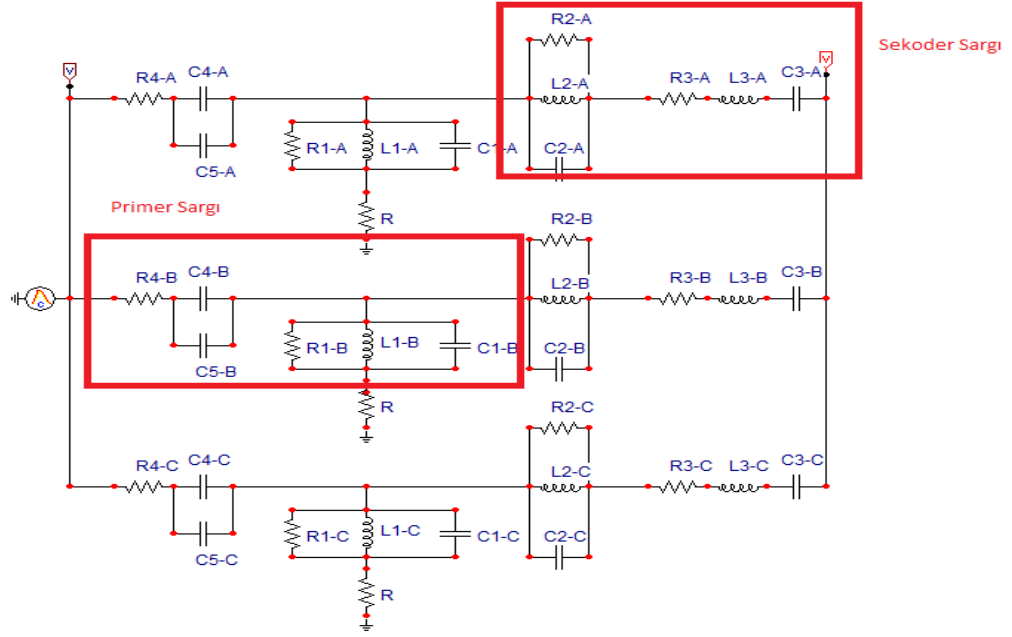
Test Laboratuvarı TURKAK Akreditasyon Numarası: AB-1440-T

Test Şartnamesi: TS EN IEC 60076

Deneyde kullanılacak test numunesinin etiket resmi aşağıda verilmiştir. Etiket resminde trafonun gücü, gerilimi ve kayıpları etiket resminde detaylı olarak yazmaktadır.

TİMSAN T r a n s f o r m a t ö r						
Rated Power : 1000 kVA	Pos.	HV (V)	LV (V)	Serial No : 12832		
System Volt. : 36 kV	1	28500		Prod. Year : 12/2016		
Standard : IEC 60076	2	30000		Frequency : 50 Hz		
Isolation Class : A	3	31500		Temp. Rise : 60 / 65 °C		
Service : Continuous	4	33000	400	Turn Ratio : 82,5		
Phase No : 3	5	34500		Vector Group : Dyn11		
Cooling : ONAN	6	36000		Installation : Outdoor / Indoor		
Oil Type : POWER OIL 60 UX	Current	17,49 A	1443,37 A	Imp. (Uk) % : 6,45		
Isolation Resistance (Mohm 20°C 60 sn.)						
Total Weight : 4,075 t	HV - T : 27000		Pfe : 837		W	
Interior Weight : 2,530 t	HV - LV : 24000		Pcu : 8320		W	
Oil Weight : 0,890 t	LV - T : 22000					
The transformer is hermetically sealed. Do not open valves etc. By opening with any problem please obey to balance the pressure inside the transformer. According to the ambient temperature add or take some oil from tank as kg (-) oil quantity must be taken, (+) oil quantity must be added.						
10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C
-16,5	-9,9	-6,6	-3,3	0,00	3,3	6,6
Web : www.timsantrafo.com e-mail : info@timsantrafo.com Tel. : +90 422 237 5841				ISO 9001:2008 REGISTERED		ISO LABEL
Made in TURKEY				TSE		

Şekil 4.4: Deneyde kullanılacak test numunesinin etiket resmi.



Şekil 4.5: 1000 kVA 33-0,4 transformatörün örnek teorik devre şeması.

Yukarıda 1000 kVA 33-0,4 transformatörün örnek teorik devre şeması verilmiştir. Bu şema ile ATP programında benzetimi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. 1000 kVA 33-0,4 kV transformatör sargı dirençleri ölçüm testi sonuçları.

DC-Sargı dirençleri ölçüm sıcaklığı 19,5 °C					
YG sargı (Ω)			AG sargı (mΩ)		
Terminals	Kademe Pozisyonu			Terminals	
	6	4	1		
A-B	8,161	7,465	6,413	a-b	0,8068
A-C	8,15	7,449	6,400	a-c	0,8158
B-C	8,162	7,466	6,414	b-c	0,8000
Ortamala	8,156	7,460	6,409	Ortalama	0,8075

Yukarıdaki tabloda transformatör sargılarının faz-faz dirençleri ölçülmüştür. Transformatör sargı dirençlerinde faz-faz değişim IEC 60076 standardına göre $\leq 2\%$ olduğundan dolayı transformatör testi başarı ile geçmiştir

Çizelge 4.2. 1000 kVA 33-0,4 kV transformatör çevirme oranları ölçüm testi.

Çevirme oranı sonuçları Dyn11 bağlantısı için						
Kademe değiştirici pozisyonu	6	5	4	3	2	1
Olması gereken oran	155,9	149,4	142,9	136,4	129,9	123,4
Faz A	155,9	149,4	142,9	136,4	129,9	123,4
Faz B	155,9	149,4	142,9	136,4	129,9	123,4
Faz C	155,9	149,4	142,8	136,4	129,9	123,4
Ortalama	155,9	149,4	142,9	136,4	129,9	123,4
Olması gereken orana göre hatalar (%)	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01

Yukarıdaki tabloda transformatör sargılarının dönüşüm oranları ölçülmüştür. Transformatör çevirme oranları olması gereken oranın IEC 60076 standardına göre \pm %0,05 toleransı içinde kaldığı için transformatör bu testi başarı ile geçmiştir.

4.2 1000 kVA 33-0,4 kV Transformatör Yıldırım Darbe Sinyallerinin İşlenmesi ve İncelenmesi

4.2.1 Test voltajı

Test voltajı IEC 60076 standartlarına tam dalga yıldırım darbe gerilimi 36 kV gerilim seviyesi için belirtilen 170 kV değeri uygulanmıştır.

4.2.2 Test bağlantısı

Transformatör yıldırım darbe testi için test bağlantısı yapılırken sırası ile aşağıdaki işlemler izlenir.

-Transformatör kazan topraklaması yapılır.

-Transformatörün kapak üzerinde bulunan topraklama noktası Faraday Kafesinin topraklama noktasına bağlanır.

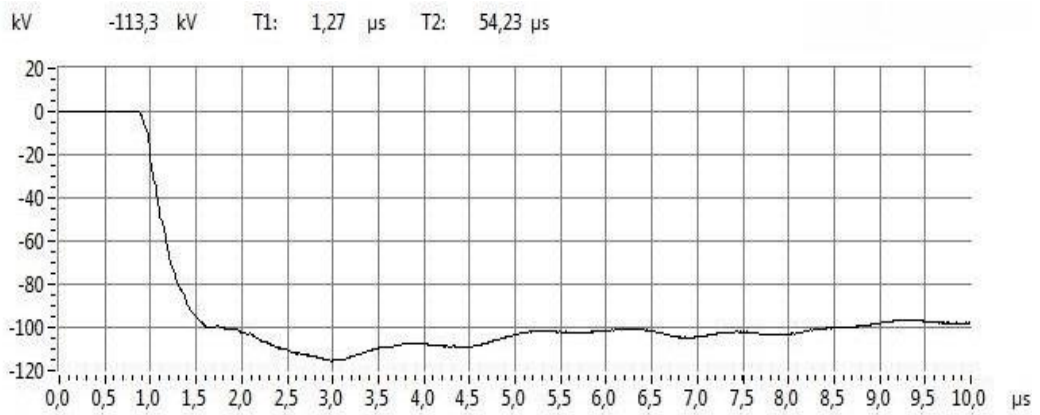
-Transformatörün alçak gerilim sargıları ve nötr sargısı olası problemin önüne geçmek için topraklama yapılır.

-Transformatör buşingleri üzerinde bulunan sivri köşeler var ise oralara silindirik şapkalar takılır.

-Transformatörün test yapılmayacak yüksek gerilim sargıları birbiri içinde kısa devre edilerek topraklanır.

-Yıldırım darbe jeneratörü ile gerilim bölücü arasındaki cephe ve kuyruk dirençleri bağlantıları kontrol edilir.

Şekil 4.6'da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65'i 113 kV ($170 \times 0,65 = 111$ kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,27 \mu s$ $T_2=54,23 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobininde herhangi bir delinme işlemi olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.6: A fazı %65 tam dalga darbe gerilimi T_1, T_2 değeri ve genlik.

Şekil 4.7'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65'i 113 kV ($170 \times 0,65=111$ kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşıtırlmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşıtırlmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 5.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

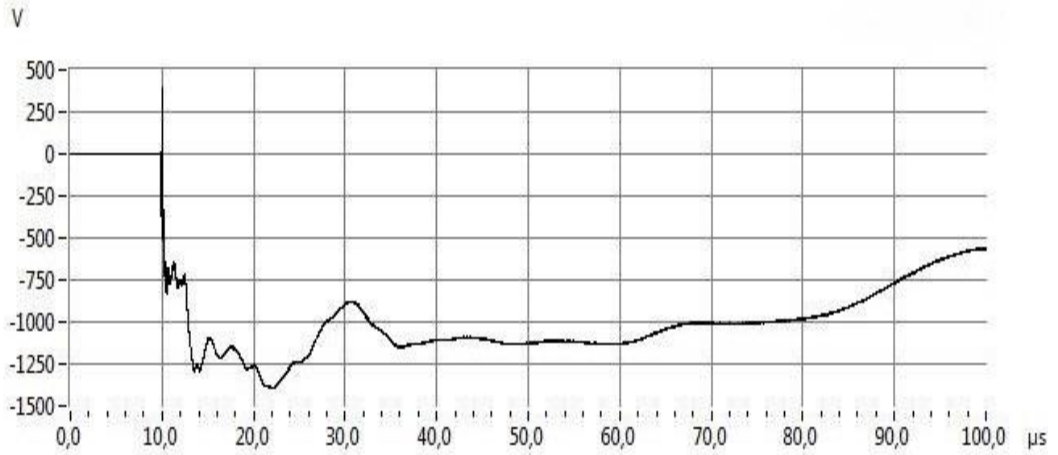


Fig. 2: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 RFW 65%, detection

Şekil 4.7: A fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyali işlemeşi.

Şekil 4.8’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T1=1,27 \mu s$ $T2=54,23 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde daha önce uygulanan şekil 4.6’daki 113 kV darbe gerilimine göre sinyallerin çeşitli noktalarda daha çok dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

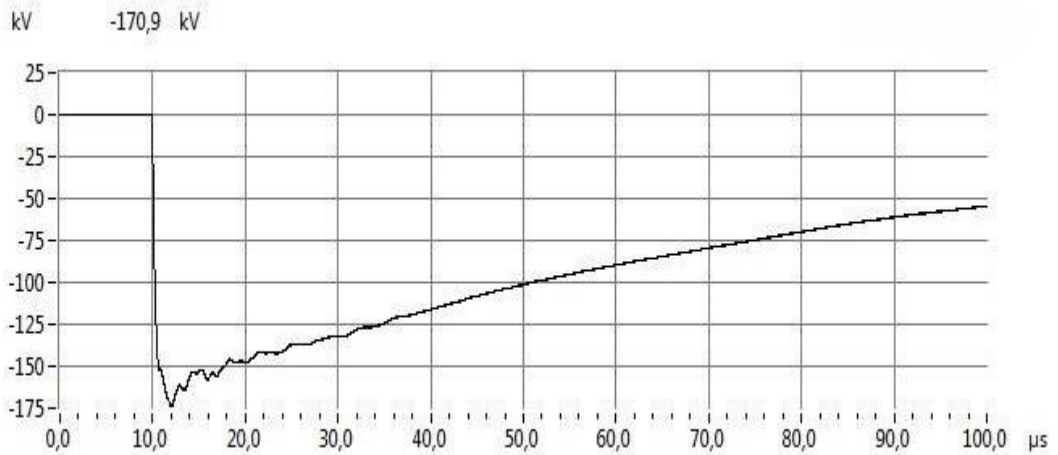


Fig. 3: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%

Şekil 4.8: A fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi .

Şekil 4.9’da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin

bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

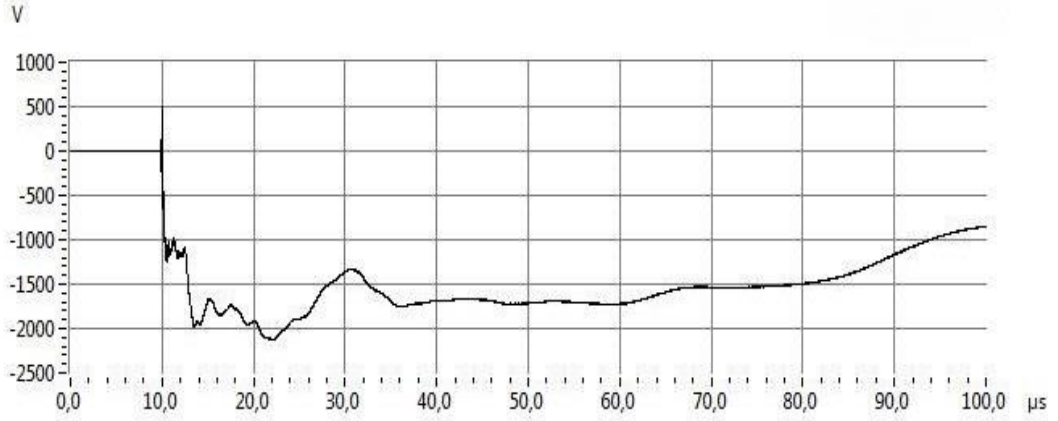


Fig. 4: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%, detection

Şekil 4.9: A fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.10'da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,27 \mu s$ $T_2=54,23 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

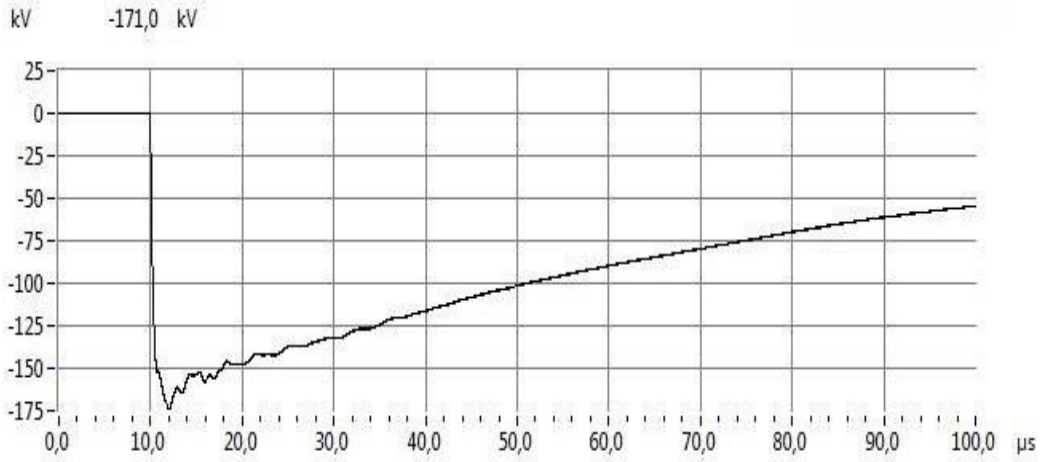


Fig. 5: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%

Şekil 4.10: A fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.11’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

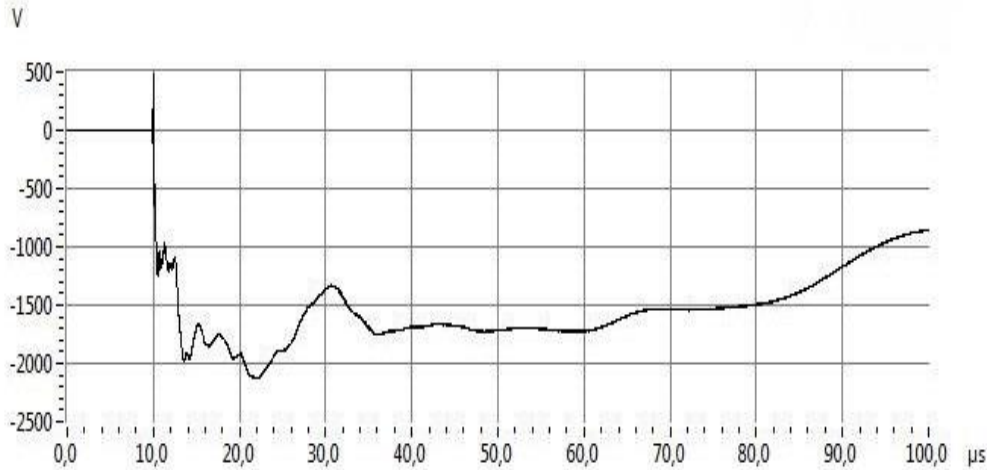


Fig. 6: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%, detection

Şekil 4.11: A fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyali işlemeşi.

Şekil 4.12’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,27 \mu s$ $T_2=54,23 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe

gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

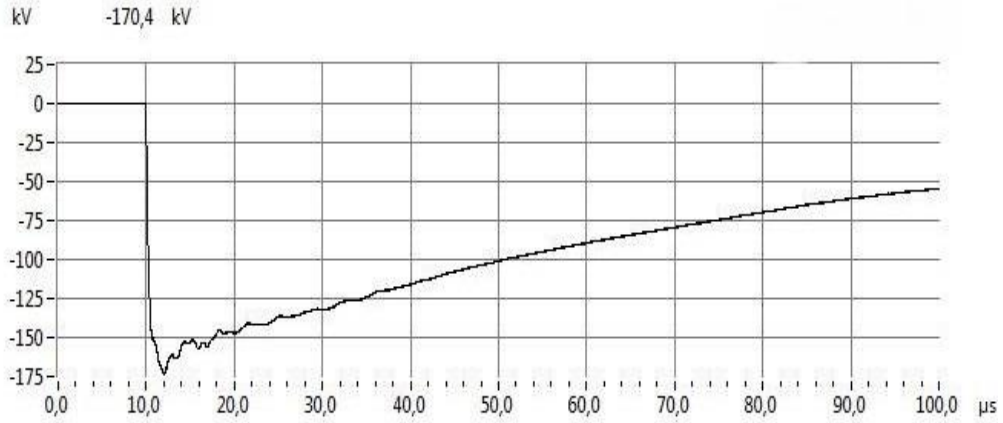


Fig. 7: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%

Şekil 4.12: A fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.13'te görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün A fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

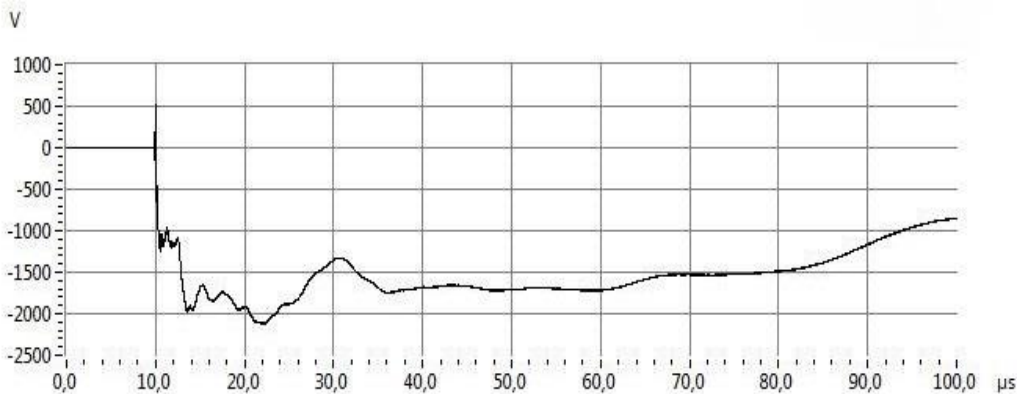


Fig. 8: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal A tap 1 FW 100%, detection

Şekil 4.13: A fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.14'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65'i 112 kV (170x0,65=111 kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,10 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

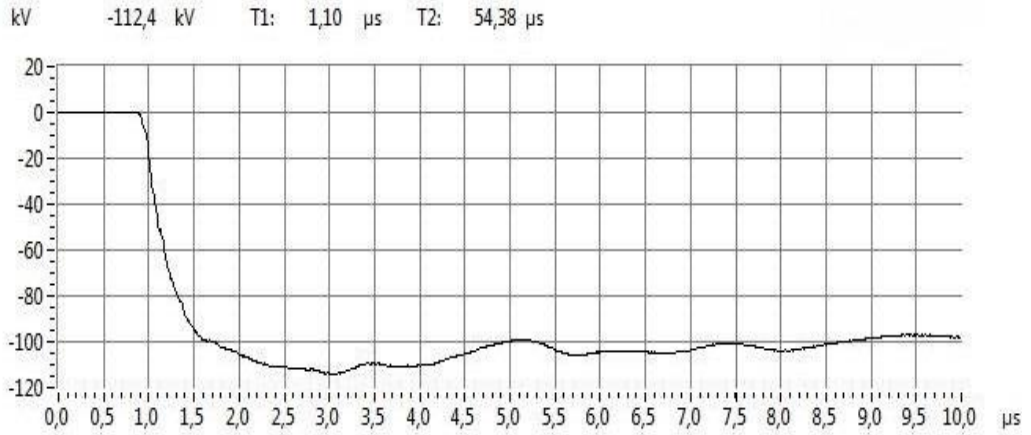


Fig. 9: Waveshape 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 RFW 65%

Şekil 4.14: B fazı %65 tam dalga darbe gerilimi t_1, t_2 değeri ve genlik.

Şekil 4.15'te görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65'i 112 kV (17x0,65=111 kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlaştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlaştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

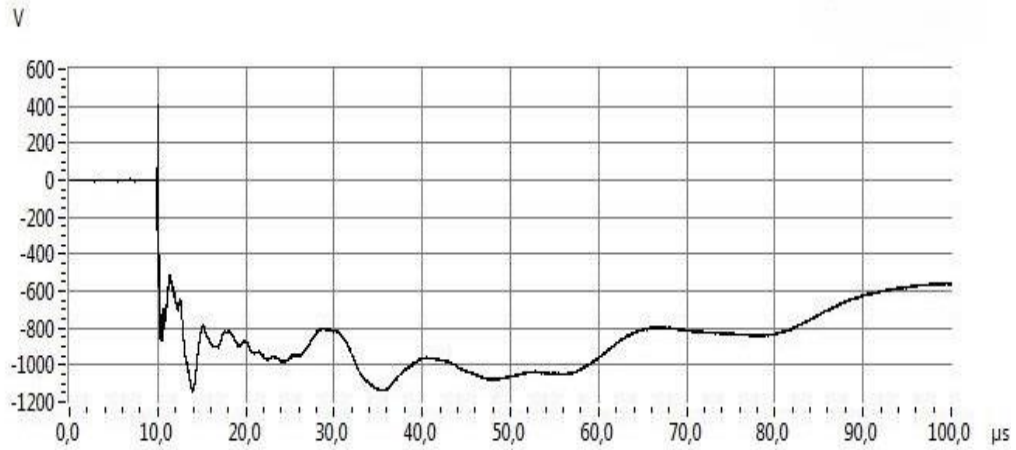


Fig. 10: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 RFW 65%, detection

Şekil 4.15: B fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.16'da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,10 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde daha önce uygulanan Şekil 4.14'teki 112 kV darbe gerilimine göre sinyallerin çeşitli noktalarda daha çok dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

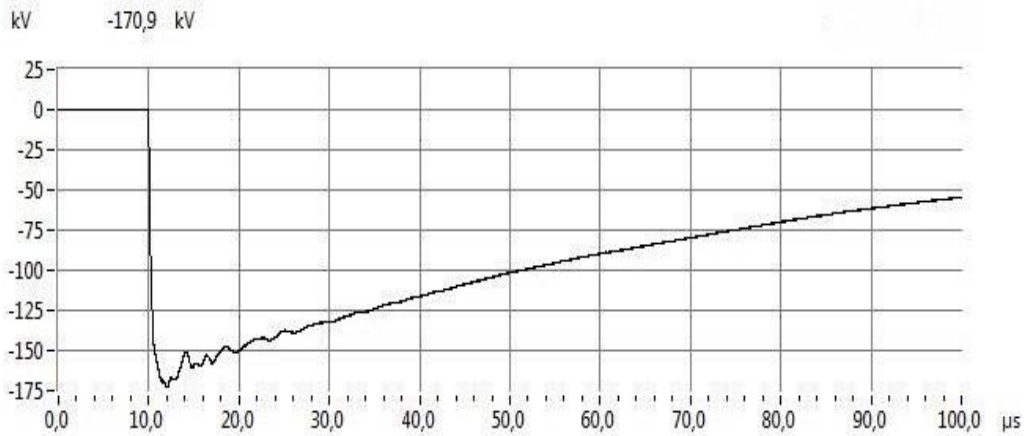


Fig. 11: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%

Şekil 4.16: B fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.17'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin

bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

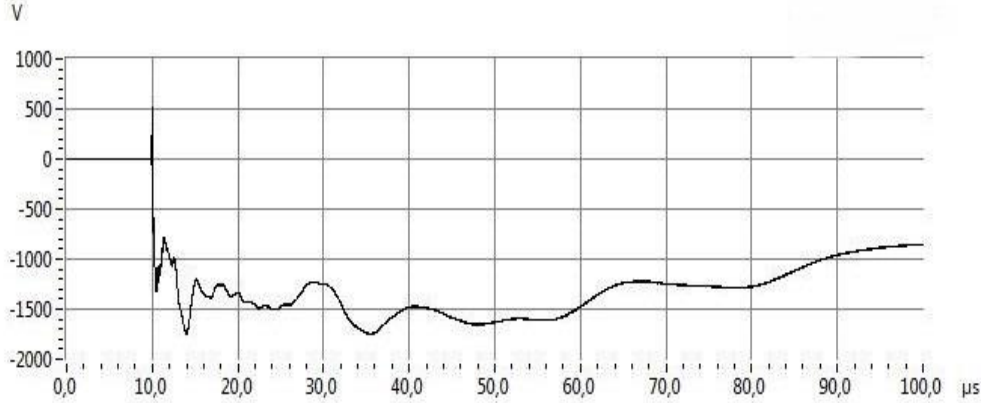


Fig. 12: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%, detection

Şekil 4.17: B fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyali işleme.

Şekil 4.18'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,10 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

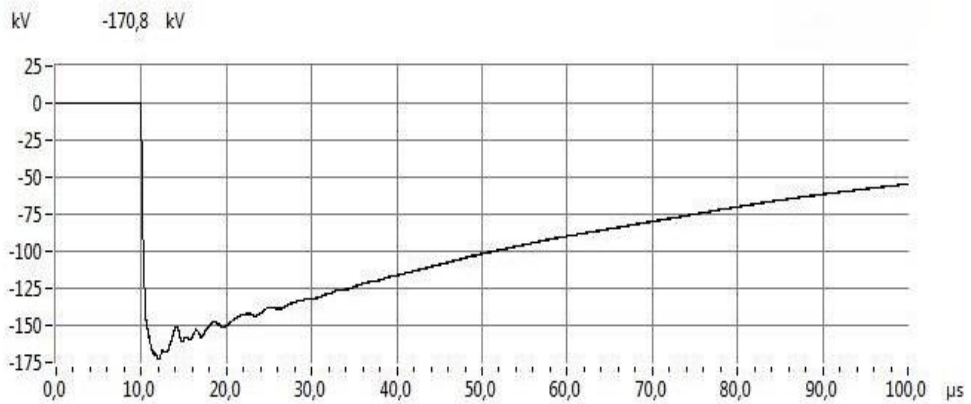


Fig. 13: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%

Şekil 4.18: B fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.19’da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

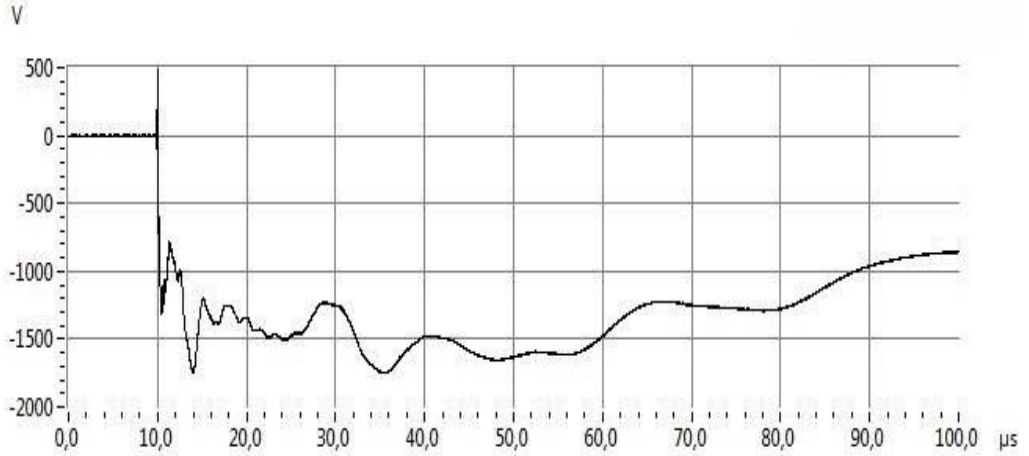


Fig. 14: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%, detection

Şekil 4.19: B fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işleme.

Şekil 4.20’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,10 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

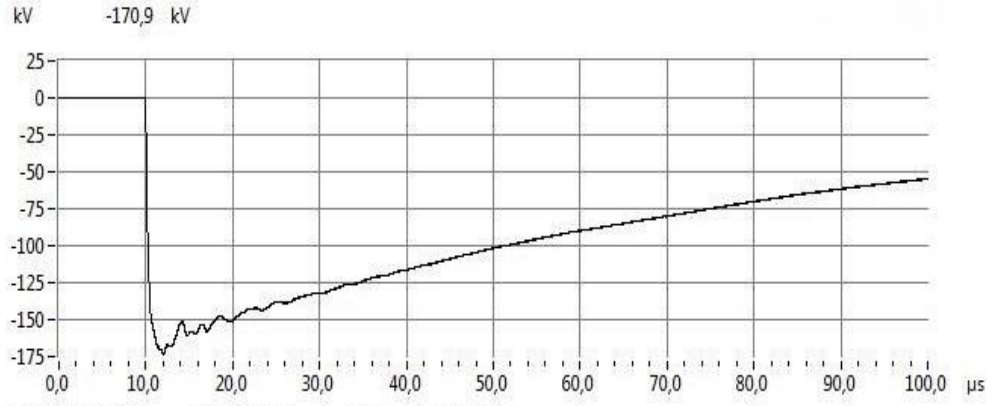


Fig. 15: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%

Şekil 4.20: B fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.21’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün B fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

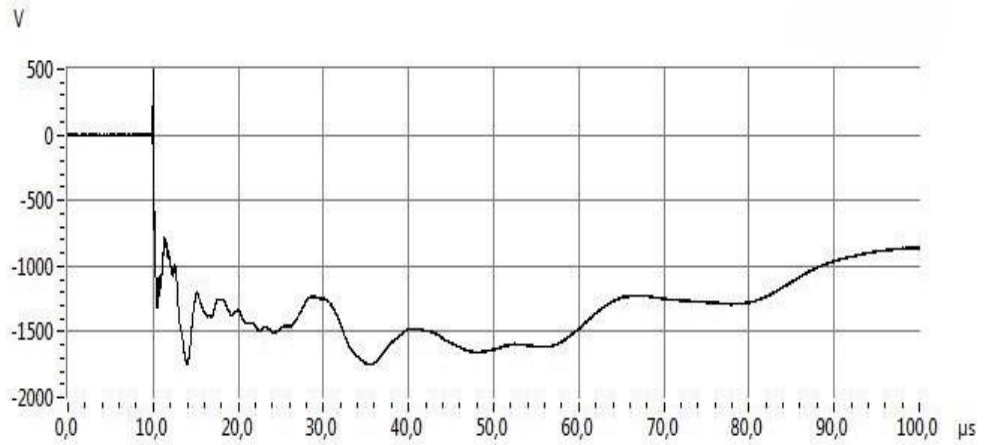


Fig. 16: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal B tap 4 FW 100%, detection

Şekil 4.21: B fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemeşi.

Şekil 4.22’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65’i 113 kV ($170 \times 0,65 = 111$ kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1 = 1,12 \mu s$ $T_2 = 54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi

uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.



Fig. 17: Waveshape 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 RFW 65%

Şekil 4.22: C fazı %65 tam dalga darbe gerilimi t1,t2 değeri ve genlik.

Şekil 4.23'te görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam darbe geriliminin %65'i 113 kV ($170 \times 0,65 = 111$ kV) gerilim seviyesi için olan yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlaştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlaştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

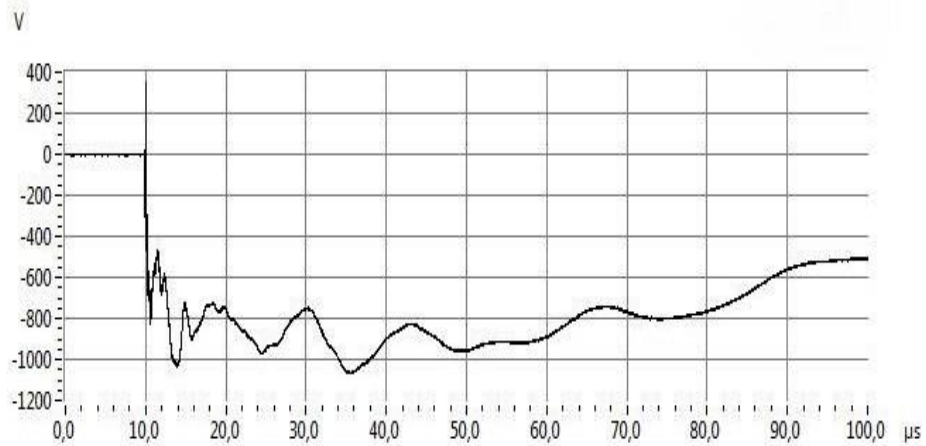


Fig. 18: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 RFW 65%, detection

Şekil 4.23: C fazı %65 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.24’de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,12 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde daha önce uygulanan şekil 4.22’deki 113 kV darbe gerilimine göre sinyallerin çeşitli noktalarda daha çok dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

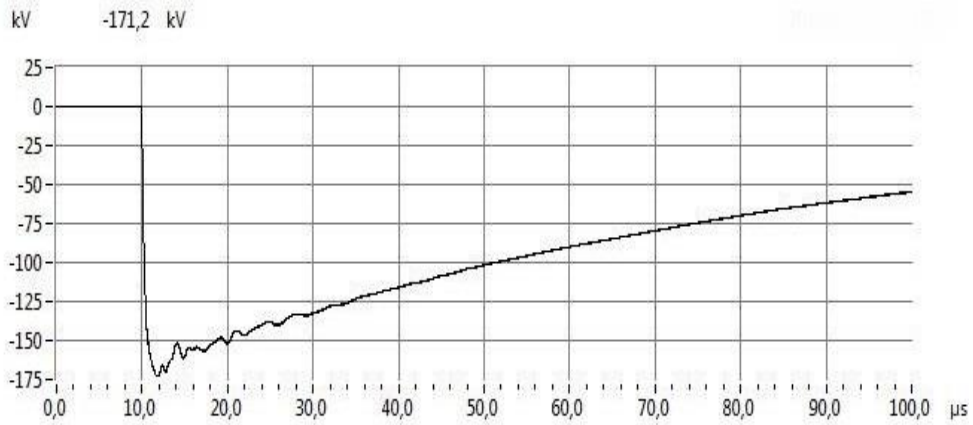


Fig. 19: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%

Şekil 4.24: C fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.25’te görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yakınlştırılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yakınlştırılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3’te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

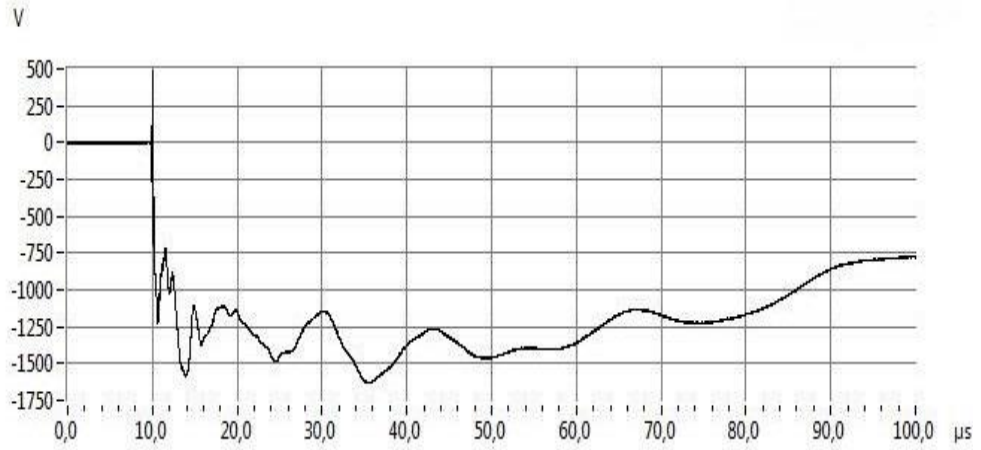


Fig. 20: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%, detection

Şekil 4.25: C fazı 1. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.26'da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,12 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

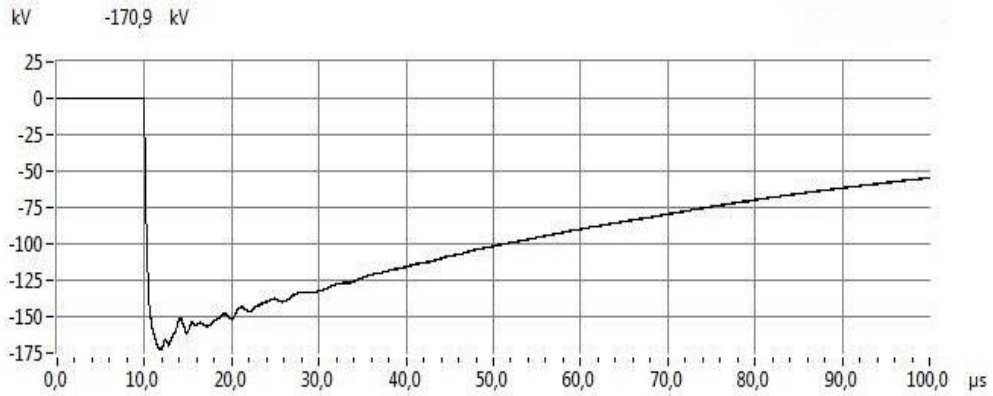


Fig. 21: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%

Şekil 4.26: C fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.27'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşıtırlmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşıtırlmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin

sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

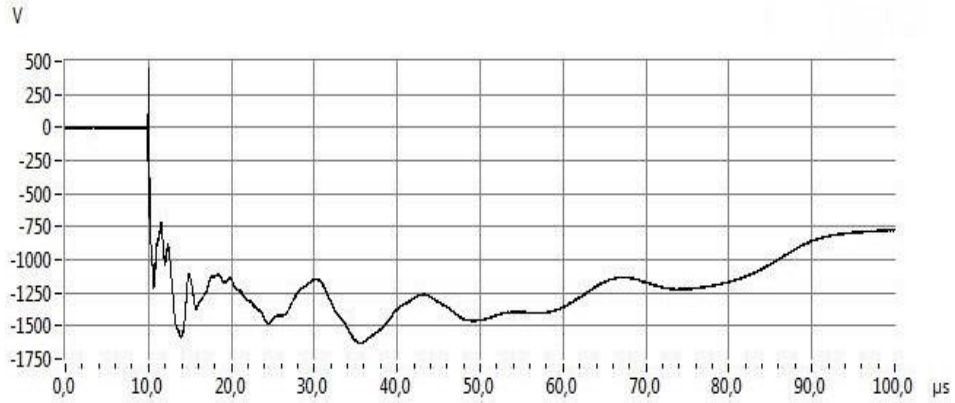


Fig. 22: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%, detection

Şekil 4.27: C fazı 2. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

Şekil 4.28'de görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe sinyalidir. Sinyal analizine göre $T_1=1,12 \mu s$ $T_2=54,38 \mu s$ ölçülerek standartlara uygun darbe gerilimi uygulanmıştır. Elde edilen darbe sinyali incelendiğinde sinyallerin çeşitli noktalarda dalgalanmalar yaptığı ve sert iniş ve çıkışlar yaptığını fakat transformatör bobininde Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

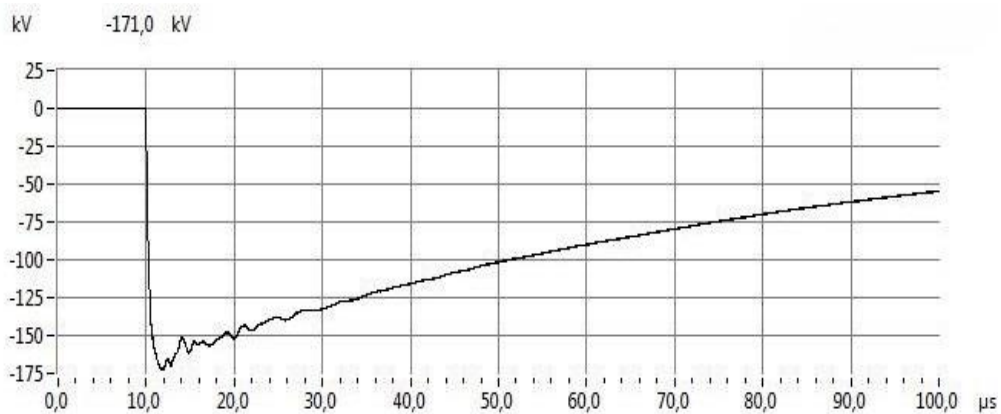


Fig. 23: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%

Şekil 4.28: C fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi.

Şekil 4.29 'da görülen darbe sinyali şekli 1000 kVA 12832 seri numaralı transformatörün C fazı için uygulanan tam dalga 170 kV yıldırım darbe geriliminin bobine geldiği andaki darbe sinyalinin tespitinin yaklaşılmış halidir. Elde edilen darbe sinyali yaklaşılmış hali incelendiğinde çeşitli noktalarda, darbe sinyallerin sert dalgalanmalar yaptığı fakat transformatör bobinin yeterli izolasyona sahip olduğu ve Şekil 4.3'te bulunan sinyal eğrilerine benzer herhangi bir delinme olayı gerçekleşmediği görülmektedir.

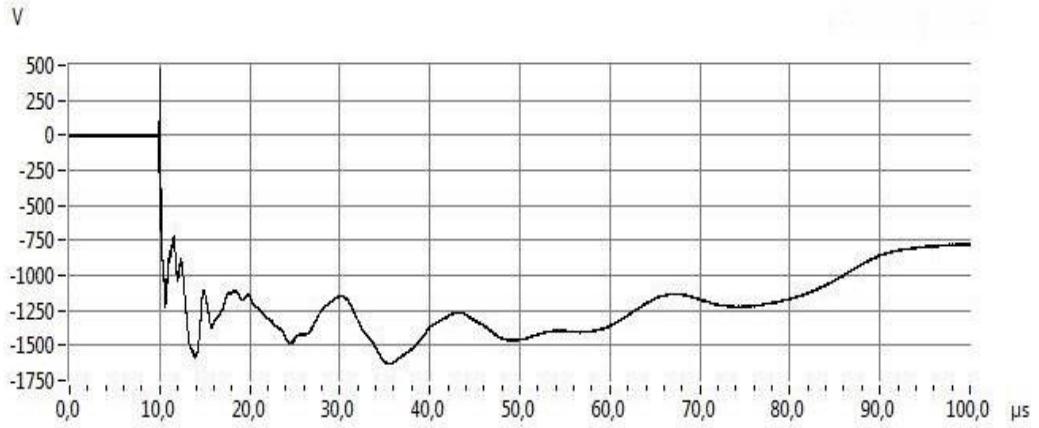


Fig. 24: 72128072 Timsan 1000 kVA Terminal C tap 6 FW 100%, detection

Şekil 4.29: C fazı 3. atış %100 tam dalga darbe gerilimi sinyal işlemesi.

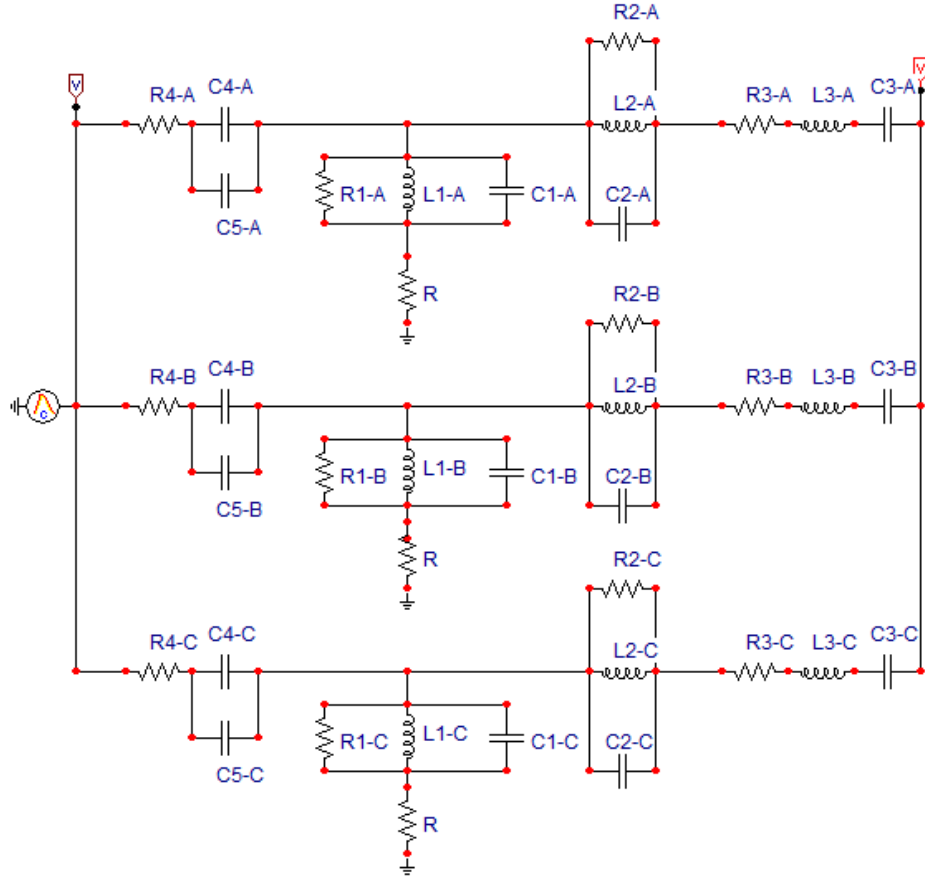
4.3 Test Sonucu

Uygulanan darbe voltajları sonunda transformatör sinyallerinde herhangi bir delinme gerçekleşmemiş ve transformatör IEC 60076 test standartlarına göre belirlenen T1 ve T2 cephe ve kuyruk dirençlerine göre transformatör başarı ile testi geçmiştir.

Tespit edilen grafiklerde Transformatör Yıldırım Darbesine maruz kalınca transformatör parazit şeklinde sinyal oluşturmakta ve bu parazitler toprak ile devresini birleştirmeye çalışmaktadır. Belirtilen bu parazitler toprak ile devresini tamamlarsa transformatör delinmiş oluyor ve yüksek gerilim sargısı ile transformatör tankı kısa devre oluyor ve transformatör zarar görüyor. Zarar gören transformatör çalışmaya yük altında çalışmaya devam edilirse daha büyük zararlar oluşuyor ve transformatörün tamir işlemi imkânsız hale geliyor.

5. 1000 kVA 33-0,4 kV DAĞITIM TİP GÜÇ TRANSFORMATÖR ATP PROGRAMI İLE YILDIRIM DARBE SİNYALİNİN İNCELENMESİ

Şekil 5.1'de verilen 1000 kVA transformatörün devre şeması ATP programında oluşturularak 170 kV gerilim 1,2 μ s 50 μ s T1 ve T2 değerlerini karşılayacak şekilde gerilim uygulandı. Yapılan test sonucunda deneysel elde dalga şekilleri ile ATP devre simülasyon programında elde edilen dalgalar karşılaştırıldı. Devre şemasında bulunan direnç, endüktans ve kapasitans değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

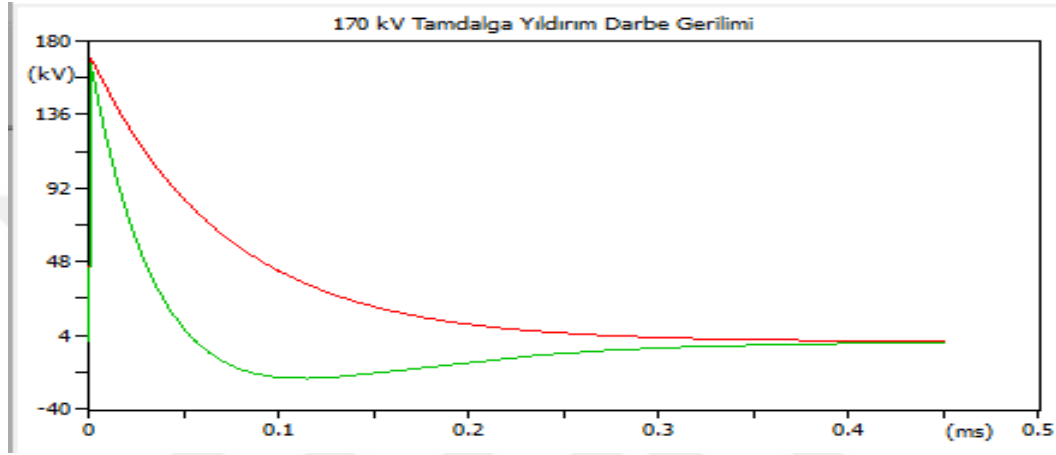


Şekil 5.1: ATP programında oluşturulan transformatör devre şeması.

Tablo 5.1'de transformatör sargılarının direnç, kapasitans ve endüktans değerleri laboratuvar ortamında ölçülerek aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Belirtilen değerler ile ATP programındaki devre şeması değerleri girilmiştir.

Çizelge 5.1. 1000 kVA dağıtım transformatörü parametre değerleri.

R1	7,46 Ω	C1	0,28 nF	L1	0,089 H
R2	1500 Ω	C2	0,0035 nF	L2	0,41 H
R3	0,8 m Ω	C3	0,057 nF	L3	0,54 H
R4	0,207 Ω	C4	0,0092 nF		
		C5	0,0024 nF		

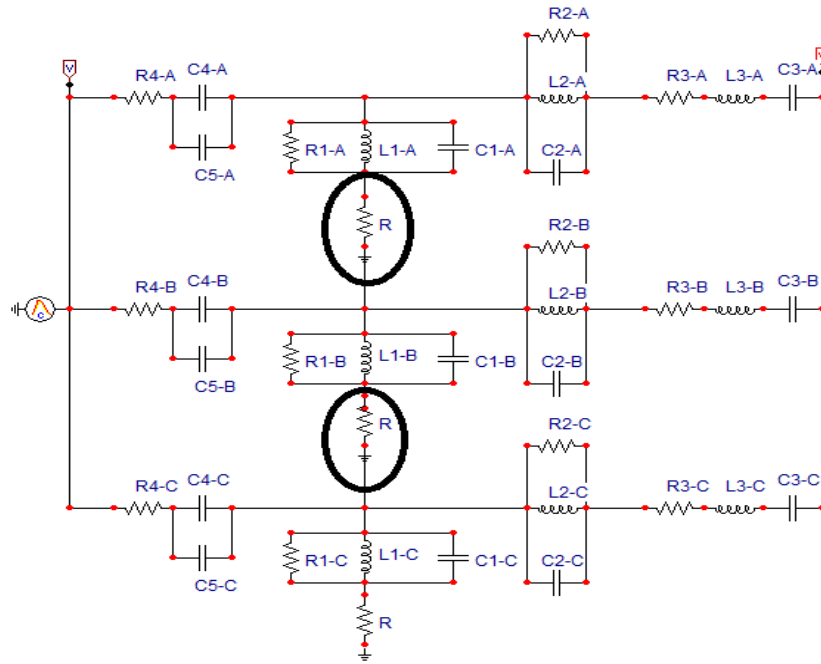


Şekil 5.2: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam dalga yıldırım darbe gerilimi grafiği.

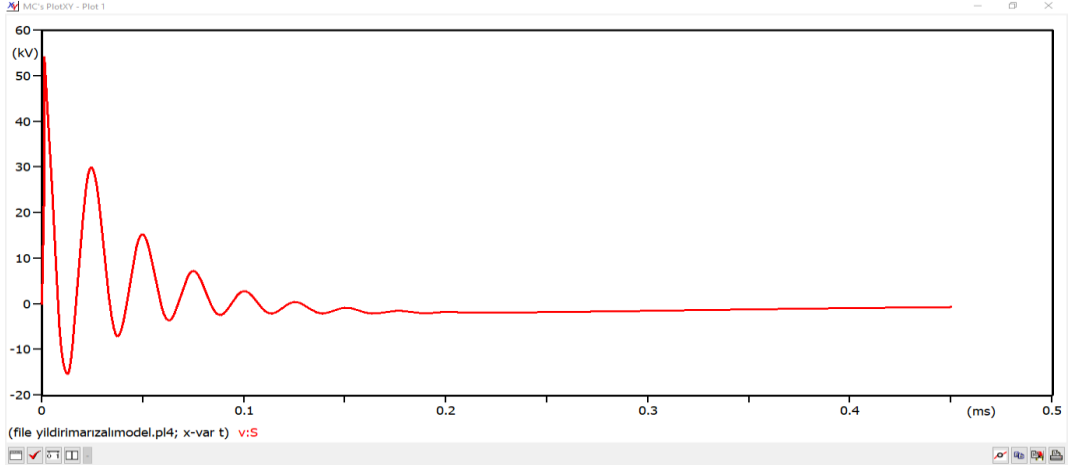
Bu çalışma ile kat sargılı yağlı tip dağıtım transformatörünün YG bobini içerisindeki yıldırım darbe analizi yapılarak darbe geriliminin bobinin içerisinde meydana getirdiği gerilim zorlanmaları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan analitik hesaplamaların sayısal hesaplamalarla tutarlı olduğu görülmektedir. Bu parametreler ile devrenin düğüm gerilimleri analizi literatürde yer alan yöntemle yapılarak bobin içerisinde gerilim dağılımı incelenmiştir. Kat sargı yöntemi ile sarılmış dağıtım tip transformatör bobinindeki gerilim dağılımı incelemesi sonucunda bobine ait elde edilen grafiklerde test laboratuvarında yapılan test ile ATP programında devre simülasyonu sonucunda oluşturulan grafik ile test grafiklerinin uyduğu ve darbe sinyali bobinin üzerinde geçici rejim oluşturulduğu ve bu rejimin darbe sinyalinin işlenmesi ile tespit edilebileceği ve transformatör bobinlerine zarar vermeden transformatörün devreden çıkarılması gerektiği ve oluşacak muhtemel arızanın ortan kaldırılacağı veya en az arıza ile trafonun arıza maliyetinin düşürülmesi konularında yardımcı olacaktır.

6. 1000 kVA 33-0,4 kV DAĞITIM TİP GÜÇ TRANSFORMATÖR ATP PROGRAMI İLE TAM DELİNME GERÇEKLEŞMİŞ YILDIRIM DARBE SİNYALİNİN İNCELENMESİ

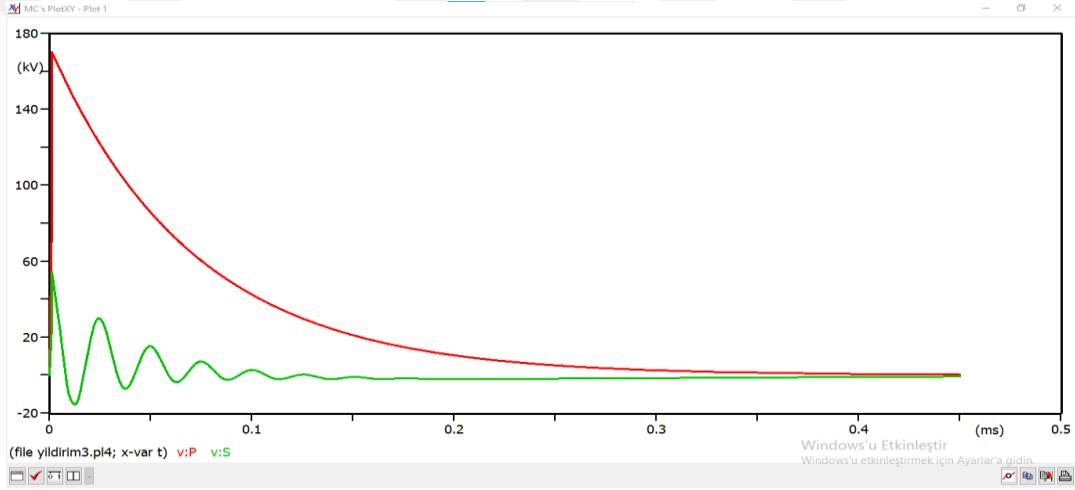
Şekil 6.1’de verilen 1000 kVA transformatörün devre şeması ATP programında oluşturularak sargılar kısa devre edilmiştir, 170 kV gerilim 1,2 μ s 50 μ s T1 ve T2 değerlerini karşılayacak şekilde gerilim uygulandı. Yapılan test sonucunda ATP devre simülasyon programında elde edilen dalga literatürde olması gereken tam delinme yıldırım darbe sinyali ile aynı sinyal elde edilmiştir. Elde edilen tam delinme gerçekleşmiş yıldırım darbe sinyali ile delinme olayı olmamış tam dalga yıldırım darbe sinyali aynı grafik üzerinde çizilerek aradaki farklar gözlenmiştir.



Şekil 6.1: ATP programında oluşturulan iki sargısı kısa devre edilmiş transformatör devre şeması



Şekil 6.2: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam delinme gerçekleşmiş yıldırım darbe gerilimi grafiği.



Şekil 6.3: 1000 kVA 33-0,4 kV transformatörün ATP programı tam delinme gerçekleşmiş ve delinme olmayan tam dalga yıldırım darbe gerilimi grafiği

Bu çalışma ile kat sargılı yağlı tip dağıtım transformatörünün YG bobini içerisindeki yıldırım darbe analizi yapılarak darbe geriliminin bobinin içerisinde meydana getirdiği gerilim zorlanmaları tespit edilmiştir. Kat sargı yöntemi ile sarılmış ve simülasyon için kısa iki sargısı kısa devre edilmiş dağıtım tip transformatör bobinindeki gerilim dağılım incelemesi sonucunda kısa devre olan sargılarda delinme gerçekleşmiş ve transformatör yıldırım darbe gerilim eğrisi literatürde oluşan tam delinme eğrisi ile uyumaktadır.

7. SONUÇ

Enerjinin 24 saat kesintisiz; iletim, dağıtım ve kullanımı sağlayan bir Elektrik Makinesi olan Transformatörler, şüphesiz enerji şebekelerinin en önemli elemanıdır. Transformatörler farklı güç, gerilim ve tiplerde tasarlanma imkânı ile her türlü şebekeye uyum sağlayıp iletim, dağıtım hatlarının en olmazsa olmazı durumundadır. Transformatörler; enerji üretim sahalarında, enerji iletim hatlarında, enerji dağıtım hatlarında, rüzgâr santrallerinde, güneş santrallerinde vb. kısacası tüm enerjinin üretildiği ve kullanıldığı tüm alanlarda tespit edilen güç ve gerilim farkına göre 24 saat kesintisiz enerji altında çalışmaktadır. Enerjili ortamda çalışma esnasında birçok harici ve dâhili tehlikeler ile karşılaşmaktadır. Bu tehlikelerin transformatörün çalışmasını etkileyecek hatta bir bomba misali patlamasını sağlayacak şekilde büyük problemlere ulaşmaktadır, transformatörün hasar görüp devreden çıkması durumunda enerji kesintiye uğramakta ve birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu çalışmamızda geliştirilecek yöntemler ile transformatörleri sürekli izlemesi sayesinde transformatörlerin arızaya geçmeden önce enerjiden ayrılmasını ve transformatörün daha büyük problemler ile karşılaşması engellenmeye çalışacaktır. Böylece transformatörümüzün zarar görmesi engellenecek, transformatör de problem oluşmuş ise daha yüksek tamir maliyetlerinin oluşması engellenmeye çalışılacaktır.

Sinyal işleme yöntemi ile transformatörlerde oluşacak arızalar önceden tahmin edilebilir ve böyle günümüzde çok daha maliyetli hale gelen transformatör arızalanmadan veya arızalanmışsa bile daha arızalara sebep olmadan arıza sinyalleri ile tahmin edilebilir. Transformatörlerde en büyük problemler sargı problemleri ve manyetik çekirdek problemleridir. Sargılarda oluşacak arızalar genellikle iki sebepten olur bunlar, yıldırım darbe gerilimleri ve sargıların kısa devre olmasıdır. Tez çalışmamızda sargıların yıldırım darbesi esnasında sinyallerinin nasıl oluşunu işledik böylece trafo yıldırım darbesine maruz kalır ise sinyal işleme yöntemi ile tespit edilecek ve trafo devreden çıkarılarak daha büyük arızalara yol açması engellenecektir.

KAYNAKLAR

- [1] The J&P., 1998. Transformer Book, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, Great Britain.
- [2] IEC Standard 60076-5, 2006. Power Transformers-Part 5, *Ability to Withstand Short-Circuit*.
- [3] Düzgün, B., Kömürgöz, G., Sonmez, O., 2012. Proper Location of the Regulating Coil in Transformers from Short Circuit Forces Point of View.
- [4] Garcia, B.; Burgos, J.C.; Alonso, A.M. Transformer Tank Vibration Modeling as a Method of Detecting Deformations—Part II: Experimental Verification. *IEEE Trans. Power Deliv.* 2006, 21, 164–169.
- [5] Borucki, S. Diagnosis of Technical Condition of Power Transformers Based on the Analysis of Vibroacoustic Signals Measured in Transient Operating Conditions. *IEEE Trans. Power Deliv.* 2012, 27, 670–676.
- [6] G. Bertagnolli, *Short-Circuit Duty of Power Transformer*. Zurich, Switzerland: ABB Ltd., 2007.
- [7] Identification and classification of transformers current transients through Huang Hilbert Transform Leopoldo Angrisania, Francesco Bonavolontaa, Annalisa Liccardoa,□, Rosario Schiano Lo Moriello ELSEVIER 2018.
- [8] Classification and Discrimination Among Winding Mechanical Defects, Internal and External Electrical Faults, and Inrush Current of Transformer *IEEE Trans. On Industrial Infor.*, Vol. 14, NO. 2, Feb. 2018
- [9] Estimating Power Transformer High Frequency Model Parameters Using Frequency Response Analysis *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 35, NO. 3, June 2020
- [10] Performance Evaluation of Online Transformer Internal Fault Detection Based on Transient Overvoltage Signals State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology School of Electrical Engineering Chongqing University Chongqing 400044, China
- [11] Prigent, S., Daiel, E., Scheurer, D., “Experience and Research”, *Transformer Protector Semineri*, Ankara, 4-12 (2005).
- [12] Allan, D., Moore, H., “Theory and Principles”, *Electric Power Transformer Engineering*, Harlow J., *CRC Press LLC*, USA, 6-14 (2004).
- [13] Korkut, M., “Güç Transformatör Test Notları”, *BEST AŞ.*, Balıkesir, 23 (2005).
- [14] Waters, M., “The Short –Circuit Strength of Power Transformer”, *MACDONALD*, London, 33-109 (1966).
- [15] Martin, J.H., “A Pratical Technology of The Power Transformers”, *The J& P Transformer Book*, Twelfth Edition, *PLANTA TREE NEWNES*, Oxford, 226- 245 (1998).
- [16] Jinsim, H., Digby, S.H., “Power Transformers”, *Waukesha Electric Systems*, *Electric Power Transformer Engineering*, *CRC Press*, 36-40 (2004).

- [17] Wendahl, L.K., Horne I.J., “The Core-Form Transformer-Designed for Strength”, *McGraw-Edison Co.*, USA, 45 (1975).
- [18] Odaoğlu, H., “AREVA Transformatör Test Tekniği”, *AREVA*, İstanbul, 4-47 (2004).
- [19] Grosh, P.S., Hashim, H., Muhammedazizi,A., “Frequency Response Analysis of Power Transformer”, *Universiti Tenaga Nasional, College of Engineering, Electrical Engineering Department*, USA, 1-6 (2005).
- [20] Saraçoğlu, Y., “Transformatör Arızaları ve Yanıcı Gaz Analizi”,*TEK Test Başmühendisliği*, İzmir, 1: 11-15 (1978).
- [21] IEC 60076-1 -2011: Power Transformers Part1-General IEC 60076-2 -2011
- [22] IEC 60076-2 -2011: Power Transformer, Part2-Temperature-rise
- [23] IEC 60076-3 -2000: Power transformers Part.3-Insulation levels dielectric tests and external clearances in air.
- [24] IEC 60076-4 -2002 : Power transformers Part.4- Guide to the lightning impulse and switching impulse test – Power transformersand reactors
- [25] IEC 60076-5 -2006: Power transformers Part.5- Ability to withstand short circuit
- [26] IEC 60076-7 -2005: Loading Guide for oil-immersed power transformer
- [27] IEC 60076-8 -1997: Power transformers Part.8-Application guide.
- [28] IEC 60076-18-2012: Power Transformers- Part 18 Measurement of Frequency Responce
- [29] IEC 60060-1 -2010: High-Voltage test techniques Part 1-General definitions and testrequirements
- [30] IEC 60060-2 -2010: High-Voltage testtechniques, Measuring system
- [31] IEC 60422 -2005: Supervision and maintenanceguide for mineral insulating oil in electrical equipment
- [32] IEC 60567-2011: Oil filled electrical equipment_Sampling of gases and analysis offree and disolved gases-Guidance
- [33] IEEE Std C57.12.00 -2010: General requirements for liquid immersed distribution,power and regulating transformer
- [34] IEEE Std C57.12.90 -2010: Standard test codefor liquid immersed distribution, power andregulating transformer
- [35] IEEE Std C57.98- -2011: Guide for transformerimpulse tests
- [36] 620 ODO 2013 Odoğlu, Haluk TRANSFORMATÖR VE ŞÖNT REAKTÖR DENEYLERİ: Yayın Hazırlayan Elektrik Mühendisleri Odası --2.bs. Ankara., 2013 180 s., 24 cm (EMO Yayın No: GY/2013/533; ISBN 978-605-01-0465-3 Elektrik--Trafola
- [37] GÜÇTRANSFORMATÖR ARIZALARININ İNCELENMESİ (Yüksek Lisans Tezi) Murat İLKAHRAMAN GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ Ocak 2008
- [38] IEEE Std C57.123 -2010: Guide fortransformer loss measurement

- [39] IEEE Std C57.106 -2006: Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oilin Equipment
- [40] IEEE PC57.149/D9.1 March 2012: Draft Trial- Use Guide fort he Application and Interpretation of Frequency Responce Analysis of Oil Immersed Transformers
- [41] Nils Hyltén-Cavallius : High Voltage Lab. Planning
- [42] A. Nicolet: Partial Discharge measurement onTransformers. BBC
- [43] J. Poittevin : Location PD in transformersAlsthom Review 1983
- [44] Mike Horning. Power Factor, Theory And Apparatus Testing. 2008 Doble EngineeringComp. 75 th Annual Int. Doble Client Conference
- [45] EN 60076-4: 2002 Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing - Power transformers and reactors
- [46] IEC 60027-1 (1992, corrected and reprinted 1995-03-31) Letter symbols to be used in electrical technology - Part 1: General
- [47] IEC 60076-1 (2000-04) Ed. 2.1 Power transformers - Part 1: General
- [48] K. Feser : Circuit design of impulse generatorsfor the lightning impulse voltage testing of transformers Bull. SEV/VSE. Bd. 68 (1977)
- [49] IEC 60076-3 (2000-03)Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- [50] IEC 60076-3 Corr. 1 (2000-12) Corrigendum 1 - Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- [51] IEC 60214-1 (2003-02) Tap-changers - Part 1: Performance requirements and test methods
- [52] EN 50216-1: 2002 Power transformer and reactor fittings - Part 1: General
- [53] EN 50216-3: 2002 +A1: 2002 Power transformer and reactor fittings - Part 3: Protective relay for hermetically sealed liquid-immersed transformers and reactors without gaseous cushion
- [54] EN 50216-5: 2002 +A1: 2002 Power transformer and reactor fittings - Part 5: Liquid level, pressure devices and flow indicators
- [55] EN 60076-1: 1997 Power transformers - Part 1: General
- [56] HD 565 S1: 1993 Specification for silicone liquids for electrical purposes
- [57] Paul Griffin: Doble Material Laboratory, August 1999
- [58] A Guide to diagnostic to insulation testingabove 1 kV-MEGGER
- [59] KISA DEVRE DURUMUNDA GÜÇ TRAFOSUNDA MEYDANA GELEN ELEKTROMANYETİK KUVVETLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ Yıldırım ÖZÜPAK1*, Mehmet Salih MAMIŞ2 1 Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Turkey 2 İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Turkey Geliş tarihi: 10.01.2019 Kabul tarihi: 02.04.2019

- [60] Transformatörlerinde Kapasitansların Yıldırım Darbe Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi *Mustafa Akdağ1, Mehmet Salih Mamiş2* 1Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 2İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
- [61] Elektrik Enerjisi Üretimi İletimi ve Dağıtımı Detay Yayıncılık Öğr. Gör. Erdal Turgut, Öğr. Gör. Korkmaz Selçuk
- [62] Transformatörler Haluk ODOĞLU İTÜ SINCE 08.03.2012
- [63] HIZAL M, High voltage impulse generator control unit, Yüksek Lisans, A.Rıza, 1987



ÖZGEÇMİŞ

Adı- Soyadı : Turgut KÖMÜRKARA

Doğum Yeri ve Tarihi

Adres

e-Posta

Ön Lisans : İş Sağlığı ve Güvenliği Anadolu Üniveristesi 2022

Lisans : İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 2018, MALATYA

İş Deneyimi

Timsan Transformator Test Mühendisi 2018 Haziran -2019 Haziran

Timsan Transformator Üretim ve Kalite Kontrol Sorumlusu 2019 Haziran - 2020

Timsan Transformator Üretim ve Proje Müdürü 2020-Devam