

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM MODEL TRANSFORMATÖRÜNDE FREKANSA BAĞLI
KAYIP KATSAYISININ YALITKANLIK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur KAYA

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

ARALIK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM MODEL TRANSFORMATÖRÜNDE FREKANSA BAĞLI
KAYIP KATSAYISININ YALITKANLIK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur KAYA
(504151085)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL

ARALIK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504151085 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜKSEK GERİLİM MODEL TRANSFORMATÖRÜNDE FREKANSA BAĞLI KAYIP KATSAYISININ YALITKANLIK ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğ. Üyesi Suat İLHAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan GÖKMEN
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Kasım 2018**
Savunma Tarihi : **14 Aralık 2018**





Kendime,



ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve öncesinde her zaman desteğini ve inancını hissettiren, gerek bilgi ve tecrübesiyle, gerekse yüksek insanî vasıflarıyla yol gösterici ve örnek olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL'a derin minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2018

Onur KAYA
Elektrik-Elektronik Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hipotez	2
2. TRAFO BÖLÜMLERİ.....	3
2.1 Bir Transformatörün Temel Parçaları	3
2.1.1 Çelik tank	3
2.1.2 Burçlar.....	3
2.1.3 Çekirdek(Nüve).....	3
2.1.4 Sargılar	4
2.1.5 İzolasyon malzemeleri ve trafo yağı	4
3. TRAFO SARGILARI.....	7
3.1 Katman Sargılar.....	8
3.2 Sarmal Sargılar	9
3.3 Disk Sargıları.....	9
3.4 Pancake Sargıları	11
4. TRAFO ARIZALARI VE KORUMALARI.....	15
4.1 Trafolarda Meydana Gelen Aşırı Akımların Nedenleri	15
4.2 Aşırı Akım Rölelerinin Çeşitleri ve Özellikleri	16
4.2.1 Sekonder aşırı akım koruma rölesi.....	16
4.2.2 Diferansiyel koruma.....	17
4.2.2.1 Transformatörün diferansiyel koruması.....	17
4.2.2.2 Diferansiyel aşırı akım koruma rölesi	17
4.3 Isıdan Koruma Röleleri	19
4.3.1 Trafolarda meydana gelen aşırı ısıl原因ların nedenleri.....	19
4.3.2 Isıdan koruma rölelerinin çeşitleri ve özellikleri	19
4.3.2.1 Temperatur (ısı kontrol) koruma rölesi	19
4.3.2.2 Yatak ısınma koruma rölesi	20
4.4 Buchholz Röle ve Bağlantıları	20
4.4.1 Buchholz rölesi	20
4.4.1.1 Çalışma prensibi.....	21
4.4.1.2 Beyaz renkli gaz.....	22

4.4.1.3 Siyah veya gri renkli gaz	22
4.4.1.4 Mavi alev bulunması	22
4.4.1.5 Sarı alev	23
5. TRAF0 ARIZALARININ TESPİT YÖNTEMLERİ.....	25
5.1 Rvm (Tekrar Oluşan Gerilim Ölçümü)	25
5.2 Pdc (Polarizasyon ve Depolarizasyon Akımları Ölçümü).....	28
5.3 Fds (Frekans Alan Spektroskopisi)	31
6. KAYIP FAKTÖRÜ VE GÜÇ FAKTÖRÜ İLİŞKİSİ.....	33
7. YALITKANLIK ÖLÇÜM ANALİZİ (IDA 200).....	43
7.1 Uygulama	44
7.2 Uygulama Örnekleri	44
7.2.1 Mineral yağların dielektrik özellikleri.....	44
7.2.2 Selülozik kağıdın dielektrik özellikleri	45
7.3 Güç Transformatörlerinde Yalıtım Teşhisi	45
7.4 Selülozik Güç Kablosu Yalıtımının Teşhisi.....	46
7.5 Şartnameler.....	47
7.5.1 Teknik açıklama	47
7.5.2 Genel	48
7.5.2.1 Ölçüm sinyali	48
7.5.2.2 Ölçüm aralıkları.....	48
7.5.2.3 İnsan makine iletişimi	48
8. DENEY SONUÇLARI VE ÇİZİMLER.....	51
8.1 Sonuç ve Öneriler	67
9. IEC 60250.....	69
9.1 Güç Kaynağı (Gerilim).....	70
9.2 Ölçüm Yöntemlerinin Seçimi.....	70
9.2.1 Sıfır yöntemi.....	70
9.2.2 Empedans analiz metodu.....	70
9.2.3 Dijital faz kayması yöntemi	71
9.3 Malzemeye Uygulanan Elektrotlarla Ölçüm Ayarı	71
9.4 Topraklama.....	72
9.5 Test Numunesi İmalatı	72
9.6 Doğruluk Aralığı	72
9.7 Numunenin Sıcaklığı ve Test Frekansı.....	73
9.8 Köprü Bağlantı Aparatı	73
9.9 Hesaplama	73
9.10 Köprü Aparatı.....	74
9.11 Doğruluk ve Aralık.....	74
9.12 Test Numunesinin Sıcaklığı ve Test Frekansı	74
9.13 Yalıtkan Kalınlıkları	74
9.13.1 Örnekler kullanılarak kalıplanmış malzemeler ve sac malzemeler için test prosedürü 50-54 mm çapta(yalıtkanın çapı).....	74
9.13.2 Kalıp malzemesi ve tabaka malzemesi için prosedür (örnekler için) 50 mm'den az çapta(yalıtkanın kalınlığı)	75
9.14 Sıvı Yalıtım Malzemelerinin Ölçülmesi.....	76
9.14.1 B aparatı	77
9.14.2 C aparatı	78
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

DGA	: Çözünmüş Gaz Analizi
DP	: Polimerizasyon Derecesi
HPLC	: Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
FDS	: Frekans Alan Spektroskopisi
RVM	: Tekrar Oluşan Gerilim Ölçümü
LTC	: Yük Kademe Değiştirme
C₁	: Bağlantı Noktası ile İç İletken Arasındaki Kapasite
Hz	: Hertz
C₂	: Bağlantı Noktası ile Toprak Arasındaki Kapasite
H₁,H₂,H₃	: Farklı Fazların Burçları için Varsayılan Etiketler
KVA	: Kilo (10 ³) Volt-Amper
V	: Volt
AG	: Alçak Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
cc	: santimetre küp(cm ³)
ms	: mili (10 ⁻³) saniye
GPC	: Jel Permeasyon Kromatografisi
PDC	: Polarizasyon ve Depolarizasyon Akımı
IR	: Yalıtım Direnci
DLF	: Dielektrik Kayıp Faktörü
DAR	: Dielektrik Emme Oranı
PI	: Polarizasyon İndeksi
DC	: Doğru Akım
RV	: Geri Besleme Gerilimi
AC	: Alternatif Akım
DSP	: Dijital Sinyal İşleme Birimi
sn	: Saniye
kHz	: kilo (10 ³) Hertz

mHz	: mili (10^{-3}) Hertz
IDA 200	: Yalıtkanlık Değerlendirme Analizi
PILC	: Kağıt Yalıtımlı Güç Kabloları
mA	: mili (10^{-3}) Amper
pF	: piko (10^{-12}) Farad
mF	: mili (10^{-3}) Farad
MB	: mega (10^6) Bayt
USB	: Evrensel Seri Veriyolu
MVA	: mega (10^6) volt Amper
LCR	: Endüktans, Kapasite, Direnç Ölçebilen Elektronik Cihaz
FFT	: Hızlı Fourier Transformasyonu
A/D	: Analog-Dijital

SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
t_c	: Şarj edilme süresi
t_d	: Deşarj edilme süresi
t_m	: Ölçüm süresi
U_0	: Şarj edildiğindeki ilk gerilim
U_m	: Deşarj olunca ulaşılan maksimum gerilim
I_{pol}	: Polarizasyon akımı
I_{depol}	: Depolarizasyon akımı
C_0	: Test nesnesinin geometrik kapasitesi
U_c	: Şarj gerilimi
σ_0	: Dielektrik malzemenin dc iletkenliği
ϵ_0	: Hava geçirgenliği
C'	: Kapasitenin gerçek(reel) kısmı
C''	: Kapasitenin sanal(imajiner) kısmı
F	: Frekans
t_a	: Elektrotların ilk ayrılma mesafesi
t_s	: Numunenin çalışma bölgesinin ortalama kalınlığı
A	: Elektrotun çalışma alanı
G_0	: Denge durumunda köprü bağlantısının iletkenliği
G_1, G_2	: Numunenin denge durumundaki iletkenliği
t_1	: Numune ile elektrotların ayrılma mesafesi
d	: Numunenin kalınlığı
D_1	: Numune kondansatörünün dairesel plakalarının çapı
C_i	: Numunenin plakaların merkezine yerleştirilip ölçülen kapasitesi
V_r	: Rezonans gerilimi
C_s	: Plakaların ayrılması için gereken kapasite



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 8.1 : Pancake trafonun ara parçalarının yağ oranı.	51
Çizelge 8.2 : 60 Hz frekansa model transformatörün C-HB bağlantılarının kayıp faktörü ve kapasite değerleri.....	57
Çizelge 8.3 : 100 V, 60 Hz frekansa CHL'nin farklı bağlantılarının kayıp faktörü C, C', C''ve güç faktörü değerleri.....	57
Çizelge 8.4 : 75 V, 60 Hz'de model transformatörün DG-CH, E-DG ve F-E bağlantılarının kayıp faktörü ve kapasite değerleri.	59





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Çekirdek biçimli transformatörlerde, sarımların eş merkezli olarak düzenlenmesi.	7
Şekil 3.2 : Katman sarımları.	8
Şekil 3.3 : Montaj sırasında sarmal sarım.....	9
Şekil 3.4 : Temel disk sargı düzeni.....	10
Şekil 3.5 : Disk sarma iç ve dış geçitler.....	10
Şekil 3.6 : Pancake sargılar sarılma sürecinde.....	11
Şekil 3.7 : Yığılmış pancake sargıları.....	11
Şekil 3.8 : Kabuk (shell) tipi yapı.....	12
Şekil 3.9 : Pancake model transformatörün enine kesiti.....	12
Şekil 4.1 : Bir güç transformatörü.	15
Şekil 4.2 : Transformatörlerde sargı kaçağı.....	16
Şekil 4.3 : Sekonder aşırı akım koruma rölesi.	16
Şekil 4.4 : Diferansiyel röle.	18
Şekil 4.5 : Isıdan koruma (temperatür) röleleri.	20
Şekil 4.6 : Buchholz rölesi.....	20
Şekil 4.7 : Buchholz rölesinin bağlantı yeri.....	21
Şekil 5.1 : Geri dönüş gerilimi olgusu.	26
Şekil 5.2 : PDC ölçüm devresi.....	29
Şekil 5.3 : PDC ölçülen akımlar.	30
Şekil 6.1 : Eşdeğer kapasite devresi ve vektör diyagramı.	33
Şekil 6.2 : Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında kayıp faktörü.	35
Şekil 6.3 : Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında imajiner(sanal) kapasite.	37
Şekil 6.4 : Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında reel (gerçek) kapasite.	37
Şekil 6.5 : Farklı sıcaklıklarda kayıp faktörleri.	38
Şekil 6.6 : Farklı sıcaklıklarda imajiner (sanal) kapasite.....	39
Şekil 6.7 : Farklı sıcaklıklarda reel (gerçek) kapasite.....	39
Şekil 6.8 : Yaşlanma süresi farklı olup aynı nem içeriğine sahip numunenin tan δ eğrileri.....	40
Şekil 6.9 : Yaşlanma süresi aynı olup farklı nem içeriğine sahip numunenin tan δ eğrileri.....	41
Şekil 7.1 : IDA 200 (Yalıtkanlık değerlendirme analizi).	43
Şekil 7.2 : Düşük ve yüksek iletkenliğe sahip tipik bir yağ göstergesi.	44
Şekil 7.3 : Kraft kağıdının 20 ° C'de kayıp faktörünü nasıl etkilediğine dair bir örnek çizimi.	45
Şekil 7.4 : Bir güç transformatöründe primer ve sekonder tersiyer sargılar arasındaki yalıtım ölçüm sonuçları.	46
Şekil 7.5 : Yeni bir kablo ve yaşlı kablo ölçümlerinden elde edilen sonuçlar.....	46
Şekil 7.6 : IDA 200'ün şematik blok diyagramı.....	47
Şekil 7.7 : Sinüs korelasyon tekniği prensibi.	47
Şekil 7.8 : IDA 200 gösterimi.....	49
Şekil 8.1 : İki sargılı güç trafosunun kapasitelerinin gösterimi.	51
Şekil 8.2 : CH-B bağlantısı için CHL'nin değişimi.....	52
Şekil 8.3 : CH-B bağlantısı için CH'nin değişimi.	53
Şekil 8.4 : CH-B bağlantısı için CL'nin değişimi.	53
Şekil 8.5 : CH-B bağlantısı için C1H1'in değişimi.	54

Şekil 8.6 : CH-B bağlantısı için C1H2'nin değişimi.	54
Şekil 8.7 : CH-B bağlantısı için C1H3'ün değişimi.	55
Şekil 8.8 : CH-B bağlantısı için C2H1'in değişimi.	55
Şekil 8.9 : CH-B bağlantısı için C2H2'nin değişimi.	56
Şekil 8.10 : CH-B bağlantısı için C2H3'ün değişimi.	56
Şekil 8.11 : DG-CH bağlantısı için CHL'nin değişimi.....	58
Şekil 8.12 : E-DG bağlantısı için CHL'nin değişimi.....	58
Şekil 8.13 : F-E bağlantısı için CHL'nin değişimi.	59
Şekil 8.14 : CH-B ve DG-CH bağlantısı için CHL' de kayıp faktörünün değişimi. .	60
Şekil 8.15 : CH-B bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(140 V).	61
Şekil 8.16 : DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(100 V).	61
Şekil 8.17 : E-DG bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(100 V).	62
Şekil 8.18: F-E bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(100 V).....	62
Şekil 8.19: DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(50 V).	63
Şekil 8.20 : DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi(140 V).....	63
Şekil 8.21 : DG-CH bağlantısı için CHL'nin C',C'', kayıp faktörü ve güç faktörü değişimi(100 V).	64
Şekil 8.22: DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için CHL'de kayıp faktörünün değişimi(75 V).	65
Şekil 8.23: DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için CHL'de kayıp faktörünün değişimi(100 V).	65
Şekil 8.24 : DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için CHL'de C' değişimi(100 V). ..	66
Şekil 8.25 : DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için CHL'de C'' değişimi(100 V)..	66
Şekil 9.1: Eşdeğer devre diyagramları.	69
Şekil 9.2: Koruma elektrotunun numunede gösterimi.	72

YÜKSEK GERİLİM MODEL TRANSFORMATÖRÜNDE FREKANSA BAĞLI KAYIP KATSAYISININ YALITKANLIK ANALİZİ

ÖZET

Güç trafolarının günümüz enerji dünyasında büyük bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bu cihazlar oldukça pahalı olmasının dışında sürekli bakıma ihtiyaç duyan elektrik ekipmanlarından biridir. En çok bakıma ihtiyaç duyulan kısmı ise şüphesiz yalıtım sistemleridir. Yağlı kağıt yalıtım sistemleri normal çalışma esnasında bile bozulabilmektedir. Eğer bu bozulmalar zamanında fark edilemezse beklenmeyen arızalar ve plansız elektrik kesintisi gibi durumların dışında, yangın gibi felakete de yol açabilir.

Günümüzde hâlâ kullanılmakta olan çok sayıda eskimiş trafo vardır. Eğer bu trafolar çalışabilecek durumdalarsa ömürlerinin uzatılması ve çalışmaya devam etmelerinin sağlanması maliyet açısından önemlidir. Bunu yapmanın yolu da trafonun izolasyon kalitesini arttırmaktan geçmektedir. Eğer biz trafonun izolasyon durumunu öğrenebilirsek, trafonun ömrü ile ilgili daha iyi bilgi sahibi olabiliriz. İşte bu yüzden trafoların yalıtım durumunu öğrenebilmek için bazı yöntemler bulunmuştur (RVM, PDC). Bu yöntemlerin birbirlerine göre bazı avantajları ve dezavantajları olduğu tespit edilmiştir ve araştırmalara devam edilmiştir. En son olarak FDS (frekans alan spektroskopisi) yöntemi geliştirilmiştir. FDS yönteminin diğer iki yönteme göre üstünlükleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada genel anlamda trafo sargılarından, trafo arızalarından ve nedenlerinden, trafo korumalarından bahsedilmiştir. Bazı koruma cihazları tanıtılmıştır. Ayrıca yukarıda söylenen yöntemlerin avantajlarından ve dezavantajlarından karşılaştırmalı olarak bahsedilmiştir. Farklı yağ oranlarına sahip bir pancake model transformatör geliştirilmiştir. Bu pancake transformatörünün yağ oranları % 85 ile % 0 arasında değişiklik göstermektedir. FDS yöntemi ile pancake deney transformatöründe farklı yağ oranlarında kayıp faktörü ve güç faktörü ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler analiz edilmiştir. Pancake deney transformatöründe sabit gerilim altında, farklı frekanslarda kayıp faktörü, güç faktörü, imajiner (sanal) kapasite ve reel (gerçek) kapasite ölçümleri alınmıştır.

Frekans ile kayıp faktörü, güç faktörü, imajiner (sanal) ve reel (gerçek) kapasite değişimleri analiz edilmiştir. Ayrıca nemin, sıcaklığın ve yaşlanmanın da kayıp faktörü ve güç faktörü üzerindeki etkileri yardımcı ölçütler ile değerlendirilmiştir. Frekans büyüklüğünün kayıp faktörünü değerlendirme açısından önemine vurgu yapılmıştır.

Bununla birlikte kayıp faktörü ve güç faktörünün eşdeğer devre ve vektör diyagramı yardımıyla birbirleriyle ilişkisinden bahsedilmiştir. Bu iki olgunun düşük, orta ve yüksek frekanslarda davranışının nasıl olduğu bilinmelidir. FDS yöntemine hâkim olabilmek için bu iki olgunun anlaşılması çok önemlidir.

Yapılan çalışmalarda FDS ile, yalıtım malzemesindeki bozulmanın tam olarak çevre koşulundan mı yoksa yalıtım bozulmasından mı kaynaklandığı ayırt edilebilmektedir. Deney sonuçları, sıcaklığın ve yaşlanmanın yalıtım malzeme üzerindeki etkisinin FDS sonuçlarını düşük frekanslarda etkilediği görülmüştür. Düşük frekanslarda yapılan çalışmalarda kayıp faktörü, güç faktörü, imajiner(sanal) kapasite ve reel(gerçek) kapasite değerlerinin ölçüm sıcaklığı ve yaşlanma süreleri ile birlikte doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca trafo yalıtımındaki yağ oranı azaldıkça imajiner(sanal) kapasite, reel(gerçek) kapasite ve kayıp faktörü değerlerinin de azaldıkları görülmektedir. Farklı gerilimler uygulanarak (50 V, 75 V, 100 V, 140 V) imajiner(sanal), reel(gerçek)kapasite ve kayıp faktörü değişimleri incelenmiştir. Kapasite eğrilerinin farklı gerilimler altında neredeyse aynı eğrilere sahip olduğu gözlenmiştir. Kayıp faktöründe ise gerilim arttıkça eğrilerin tepe değerlerinin daha yüksek frekanslarda olduğu görülmüştür.

Aynı bağlantı noktası ve eşit gerilimler(140 V) altında farklı sargı yerlerinin ölçümleri alınıp grafikleri çizdirilmiştir. CL ve CH için kayıp faktörü, kapasite ve güç faktörü eğrilerinin benzerlik gösterdikleri söylenebilir. Kayıp faktörü ve güç faktörü 0.1 Hz seviyelerinde tepe noktasına ulaşmıştır. C1H1, C1H2, C1H3 için kayıp faktörü, kapasite ve güç faktörü eğrileri ile C2H1, C2H2, C2H3 eğrilerinin benzer oldukları söylenebilir. Fakat CHL için kayıp faktörü, kapasite ve güç faktörü eğrileri diğer durumlardan biraz ayrılmaktadır. CHL'de kayıp faktörü ve güç faktörünün tepe noktası yaklaşık olarak 0.1 Hz de, kapasitenin ise 0.001 Hz seviyelerinde gözükmektedir.

Yapılan ölçümler ile tüm bağlantı şekillerinde (CH-B, DG-CH, E-DG ve F-E) ve tüm sargı yerlerinde(CHL, CH, CL, C1H1, C1H2, C1H3, C2H1, C2H2 ve C2H3) güç faktörü, kapasite ve kayıp faktörü eğrilerinin yüksek frekans aralığında birbirlerine çok yakın oldukları bulunmuştur. Ancak bu değerler düşük frekanslarda farklılık göstermişlerdir. Yani bizim için belirleyici olan düşük frekanslardır.

Frekans alanı spektroskopisi (FDS), diğer yalıtım teşhis yöntemlerinden(RVM, PDC) daha az gürültülüdür ve transformatörün şeklinden bağımsızdır. Ayrıca dış faktörlerden de en az etkilenen ölçüm yöntemidir. Bu nedenle FDS'nin en etkili ölçüm yöntemi olduğu söylenebilir.

INSULATION ANALYSIS OF FREQUENCY-DEPENDENT DISSIPATION FACTOR IN HIGH VOLTAGE MODEL TRANSFORMER

SUMMARY

It is known that power transformers are of great importance in today's energy world. These devices are quite expensive and require constant maintenance. The most maintenance-requiring zone is insulation systems. Oily paper insulation systems can be breakdown even during normal operation. If these failures cannot be noticed in time, they can lead to disaster, such as fire, as well as unexpected failures and unplanned power outages.

There are many old transformers still in use today. If these transformers are capable of working, it is important to extend their life and ensure that they continue to work. The way to do this is to increase the insulation quality of the transformer. If we can learn the isolation status of the transformer, we can have better information about the life of the transformer. That's why researchers found some methods to learn the insulation status of transformers (RVM, PDC). These methods have some advantages and disadvantages compared to each other, and research has been continued. Finally, FDS (frequency domain spectroscopy) method was developed. The FDS method has advantages over the other two methods.

In this study, the transformer windings, transformer protection, transformer failures and the reasons of transformer failures are mentioned. Some protection devices have been introduced. In addition, the advantages and disadvantages of the aforementioned methods are mentioned comparatively. A pancake model transformer with different oil ratios has been developed. The oil content of this pancake transformer ranges from 85% to 0%. The dissipation factor and power factor measurements were taken in Pancake test transformer by using FDS method. These measurements were analyzed. On pancake test transformer under constant voltage, loss factor, power factor, imaginary capacity and real capacity measurements were taken at different frequencies. These values for DG-CH are power factor 0.0053475, dissipation factor 0.0053476, real capacity 2.8319E-9 and imaginary capacity is 1.5138E-11. Values for E-DG are power factor 0.005547, the dissipation factor is 0.0055471, the real capacity is 2.4056E-9 and the imaginary capacity is 1.3344E-11. Values for F-E are power factor 0.0044075, the loss factor is 0.0044075, the real capacity is 4.8008E-9 and the imaginary capacity is 2.1159E-11. Loss factor, power factor, imaginary and real capacity changes were analyzed by frequency. In addition, the effects of moisture, temperature and aging on dissipation factor and power factor were evaluated with auxiliary parameters. The importance of frequency magnitude in evaluating the dissipation factor is emphasized.

At the same time, the relationship between dissipation factor and power factor with the help of equivalent circuit and vector diagram is mentioned. With the dissipation factor $\tan \delta$, the conductivity of oil in the transformers, the moisture and the aging of the insulating paper can be determined. In transformers with power factor $\cos \theta$, the core movement between the transformer tank and the core, and the change of the distance between the windings can be determined. The behavior of these two cases at low, medium and high frequencies should be known. It is very important to understand these two cases in order to very good know the FDS method.

In the studies done, it is possible to know exact cause of the defect in the insulation material (environmental conditions or insulation deterioration) by FDS. The results of the experiment showed that the effect of temperature and aging on the insulating material affected FDS results at low frequencies. In studies performed at low frequencies, dissipation factor, power factor, imaginary capacity and real capacity values increased with the measurement temperature and aging times. In addition, as the oil content of the transformer insulation decreases, the values of imaginary capacity, real capacity and dissipation factor decrease. By applying different voltages (50 V, 75 V, 100 V, 140 V), imaginary, real capacity and dissipation factor changes were investigated. It has been observed that the capacity curves have almost the same curves under different voltages. In the dissipation factor, the peak values of the curves were at higher frequencies as the voltage increased.

Under the same connection point and equal voltages (140 V), different winding locations are measured and plotted. It can be said that the dissipation factor, capacity and power factor curves for CL and CH are similar. The dissipation factor and power factor reached its peak at 0.1 Hz. Dissipation factors, capacity and power factor curves for C1H1, C1H2, C1H3 and C2H1, C2H2, C2H3 curves are similar. However, the dissipation factor, capacity and power factor curves for CHL differ slightly from other conditions. In CHL, the loss factor and power factor peak at approximately 0.1 Hz and the capacity at 0.001 Hz.

Power factor, capacity and loss factor curves in all connection forms (CH-B, DG-CH, E-DG and FE) and all winding locations (CHL, CH, CL, C1H1, C1H2, C1H3, C2H1, C2H2 and C2H3) were found to be very close to each other in the high frequency range. However, these values differed at low frequencies. So we can say that low frequencies that are decisive for us.

The dissipation factor of CHL for a frequency of 0.1 Hz in CH-B mode is approximately 2.5 times greater than that of CH and approximately 7 times greater than that of CL. On the frequency of 60 Hz, the dissipation factor of CHL is approximately 1.5 times higher than that of CH and approximately 2 times higher than that of CL. At the frequency of 1000 Hz, the rates are quite variable. The dissipation factor of the DG-CH connection for the frequency of 0.1 Hz in CH-L is about 2 times the dissipation factor of the E-DG connection and about 9 times the dissipation factor of the F-E connection. At 60 Hz, the dissipation factor values are very close to each other, but we see that the biggest E-DG connection and the smallest DG-CH connection. While the loss factor has the highest value at a frequency of 0.05 Hz, it is smaller at lower frequencies. While the dissipation factor of CL and CH are close to each other, the dissipation factor of CHL are about 1.5 times smaller than that of CL and CH.

The dissipation factor of the DG-CH connection at 0.1 Hz is about 2 times the dissipation factor of the E-DG connection and about 5 times the dissipation factor of the F-E connection. Although real capacities are close to each other, the real capacity of the DG-CH connection is the lowest, while the real capacity of the F-E connection is the highest. In the imaginary capacities, the DG-CH connection is the highest and the F-E connection has the lowest values. Although the values at 60 Hz were very close to each other, the highest dissipation factor value was found in E-DG and the lowest dissipation factor value was observed in F-E connection. The highest real capacity value was found in the F-E connection, the lowest DG-CH connection. The highest imaginary capacity value is found in the DG-CH connection and the lowest in the F-E connection. At 1000 Hz, the dissipation factors of the DG-CH and F-E connections are almost equal, and the dissipation factor of the E-DG connection is approximately 5/4 about of the other two connections. In the highest real capacity value F-E connection, the lowest real capacity value was seen in the DG-CH connection. The highest imaginary capacity value is seen in the F-E connection and the lowest imaginary capacity value is seen in the DG-CH connection.

Today, transmission and production at low frequencies are preferred because of the low losses. In particular, a more detailed analysis of the low frequency experiments is necessary since the diagnostic tests are performed at low frequencies such as 0.1 Hz. Changes in capacity and dissipation factor inform us about the type of error. For example, short circuit turns and changing of magnetizing are seen at the low frequency response while the medium frequency response is sensitive to hoop buckling and axial movement faults in the transformers. The high frequency response is sensitive to the part of the properties of windings and grounding problems. For this reason, the capacitance and dissipation analysis according to frequency are very important for detecting faults in transformers.

Frequency domain spectroscopy (FDS) is less noisy than other insulation diagnostic methods (RVM, PDC) and is independent of the shape of the transformer. It is also little affected method by external factors. Therefore, it can be said that FDS is the most effective diagnosis method.



1. GİRİŞ

Güç transformatörleri enerji üretim tesisleri, iletim sistemleri ve büyük endüstriyel tesisler için vazgeçilemezdirler[1]. Güç trafosu, maliyeti nedeniyle herhangi bir elektrik iletim ve dağıtım hizmetinin en önemli parçalarından biridir. Transformatör durağan bir cihaz olmasına ve tasarımının oldukça basit olmasına rağmen, güç trafosunun bakımı oldukça zahmetlidir[2].

Son yıllarda güç ekipmanı tasarımında büyük ilerlemelere rağmen, zincirin zayıf halkası halen yalıtım sistemidir. Bir güç transformatöründeki yağlı kağıt yalıtım sistemi, normal çalışma koşullarında bile elektrik, termal ve çevresel zorlanma altında bozulabilir[1]. Beklenmeyen arızalar, işletim sistemlerinde büyük bozulmalara neden olur ve bu durum, plansız kesintiler ve güç dağıtım sorunları ile sonuçlanır. Ayrıca, meydana gelen hasarlar, yangın gibi istenmeyen sonuçlar doğurur[3].

Günümüzde, çok sayıda güç transformatörü eskimiştir. Bu transformatörleri sadece yaşlandıkları için yenileriyle değiştirmek çok pahalı bir çözümdür. Çünkü bu transformatörlerin çoğu daha uzun yıllar çalışabilecek durumdadır. Bu nedenlerden dolayı, transformatör ömrünün iyileştirilmesi konusu hem ekonomik hem de teknik nedenlerden dolayı son on yılda artan bir ilgi kazanmıştır. Bir transformatörün ömrü doğrudan izolasyon kalitesi ile ilişkili olduğundan, transformatörlerin yalıtım durumunun izlenmesi önemli bir konudur[4]. Yağ-kâğıt yalıtım sisteminin durumunu doğru bir şekilde değerlendirme ve izleme, trafonun ne kadar ömrünün kaldığını anlayabilmek için gereklidir ve sadece güç kaynağının güvenilirliğini arttırmakla kalmaz aynı zamanda bakım maliyetlerini de azaltır. Yalıtım malzemelerinin dielektrik özellikleri sıcaklık, nem, dielektrik kimyasal bileşim, yalıtım sisteminin yapısı ve frekans gibi birçok faktörden etkilenmektedir[5].

Güç transformatörlerinin izolasyon sistemi, genellikle transformatörün ömrü boyunca yalıtım özelliklerini değiştirir ve dolayısıyla dielektrik ölçümler sistemin yaşlanma durumunu belirlemek için kullanılır[6].

Son yıllarda transformatörlerin izlenmesi için birkaç yeni teknik geliştirilmiştir. Polarizasyona dayalı çözümler, donanım ve yazılım tekniklerindeki ilerlemeden dolayı önemlidir[7].

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, farklı yağ oranlarına sahip yüksek gerilim model transformatöründe frekansa bağlı kayıp katsayısının FDS (frekans alan spektroskopisi) ile yalıtkanlık analizi yapılmasıdır.

1.2 Literatür Araştırması

Son yıllarda, güç mühendisliği birliği, yağla dolu güç transformatörlerinin yalıtım koşullarını belirlemek için çeşitli teşhis teknikleri geliştirmiş ve önermiştir. Transformatörlerin yalıtımının yaşlanma sürecini izlemek için Çözünmüş Gaz Analizi (DGA), Polimerizasyon derecesi (DP) ve Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) ile furan analizi gibi kimyasal teknikler kullanılmıştır[2].

Güç sistemleri yalıtımını tahribatsız ve güvenilir bir şekilde teşhis etmek için uygun araçlara yönelik artan gereksinimler nedeniyle ve transformatör içindeki katı yalıtımın nem durumunu daha uygun ve doğru olarak ölçebilmek için, son dönemde polarizasyon/depolarizasyon akımı ölçümleri ve frekans etki alanı spektroskopisi ölçümlerine dayanan zaman alanı ölçümü gibi tanı araçlarının geliştirilmesini sağlamaktadır.[8,9]

Tekrar oluşan gerilim ölçümü (RVM) 90'lı yılların başında ortaya çıkan ilk polarizasyon temelli yalıtım tanı tekniği olmuştur[7].

Günümüzde frekans alanı spektroskopisi (FDS) tanı teknikleri, yüksek gerilim cihazları için güçlü bir teşhis aracı haline gelmektedir[10].

Son birkaç yılda, transformatör yağı / kağıt yalıtım sisteminin modellenmesi için bir dizi eşdeğer devre, dielektrik yanıtın daha iyi anlaşılması için önerilmiştir[8].

1.3 Hipotez

FDS'de model transformatörün analiz sonuçlarının sıcaklık, yaşlanma analiz sonuçlarıyla benzer olmaları gerekmektedir.

2. TRAF0 BÖLÜMLERİ

Temel olarak bir transformatör, iki endüktif sargı ve kat kat şeklinde çelik çekirdekten oluşur. Bobinler çelik çekirdekten ve birbirlerinden yalıtılmıştır. Ayrıca bir trafoda sargı ve çekirdek montajı için bir hazne(tank olarak adlandırılır) ve burçlar bulunur. Tüm transformatörlerde çekirdek, aralarında minimum hava boşluklu (sürekli manyetik yol elde etmek için), çelik levhaların montajı ile oluşturulur[11].

2.1 Bir Transformatörün Temel Parçaları

2.1.1 Çelik tank

Transformatörün ana parçasıdır. Çelik kutudur. Transformatör çekirdeği bu tankın içine yerleştirilir. Sargı ve diğer yardımcı cihazlar bu tankın içine yerleştirilir. İzolasyon yağı (mineral yağ) ile doldurulur. Trafo yapımına bağlı olarak genellikle silindirik veya kübik şekle sahiptir. Güvenlik açısından içten ve dıştan renkle kaplanmıştır.

2.1.2 Burçlar

Burçlar, sargı uçlarını tanktan çıkarmak için ve yalıtım için kullanılır. Porselen, yağ dolgululu ve kapasitör tipi burçlar mevcuttur. Yıldırım boynuzları da yıldırımdan korunmak için burçlara bağlanır. 34 KV trafonun üzerinde, tamamen kapalı kondenser tipi burçlar kullanılmaktadır. 25KV'dan daha az trafoda düz burç kullanılmaktadır[12].

2.1.3 Çekirdek(Nüve)

Çekirdek, transformatördeki sargıya destek görevi yapar. Aynı zamanda manyetik akı akışına düşük bir direnç yolu sağlar. Eddy akımı kaybını ve ısı kaybını azaltmak için, kat kat halinde yumuşak demirden yapılmıştır. Bir transformatör çekirdeğinin bileşimi, gerilim, akım ve frekans faktörlerine bağlıdır. Transformatör çekirdeğinin çapı, bakır kaybıyla doğru, demir kaybıyla ters orantılıdır. Çekirdeğin çapı azalır, çekirdeğin içindeki çeliğin ağırlığı azalır, bu da transformatörün daha az çekirdek kaybına ve bakır kaybı artışına yol açar. Çekirdeğin çapı arttırıldığında, tam tersi oluşur.

2.1.4 Sargılar

Transformatör çekirdeği üzerinde iki sarım yapılır ve birbirinden yalıtılır. Sargı, bir araya getirilen çeşitli bakır iletkenlerden oluşur ve seri olarak bağlanır.

Sarma iki farklı şekilde sınıflandırılabilir:

- Giriş ve çıkış kaynağına göre
- Gerilim aralığına göre

Giriş / çıkış kaynağı olarak ikiye ayrılır:

- Birincil sargı - Bunlar, giriş geriliminin uygulandığı sargıdır.
- İkincil sargı - Bunlar, çıkış geriliminin uygulandığı sargıdır.

Gerilim aralığı sınıflandırması ikiye ayrılır:

- Yüksek gerilim sargısı - Bakır iletken yapıdır. Yapılan dönüşlerin sayısı, alçak gerilim sargısındaki dönüş sayısının katlarıdır. Kullanılan iletken, alçak gerilim sargısınınkinden daha ince olacaktır.
- Düşük gerilim sargısı - Yüksek gerilim sargısından daha az sayıda dönüşten oluşur. Kalın bakır iletkenlerden yapılmıştır. Bunun nedeni, alçak gerilim sargısındaki akımın yüksek gerilim sargısından daha yüksek olmasıdır.

Sargılar neden bakırdan yapılmıştır?

- Bakırın yüksek iletkenliği vardır. Bu, sarım için gereken bakır miktarının yanı sıra kayıpları da azaltır (hacim ve bobin ağırlığı).
- Bakırın bükülebilme özelliği vardır. Bu, iletkenleri transformatör çekirdeğinin etrafındaki dar sargılara bükme ve böylece gerekli olan bakır miktarını ve ayrıca sargının toplam hacmini en aza indirmek anlamına gelir.

2.1.5 İzolasyon malzemeleri ve trafo yağı

Yalıtım kağıdı ve mukavva, birincil ve ikincil sargının birbirinden ve transformatör göbeğinden izole edilmesi için transformatörlerde kullanılır.

Trafo yağı başka bir yalıtım malzemesidir. Trafo yağı iki önemli işlevi yerine getirir: yalıtım işlevine ek olarak, çekirdek ve bobin düzeneğini de soğutur. Transformatörün

ekirdeęi ve sarımı tamamen yağa batırılmalıdır. Normalde hidrokarbon mineral yağları transformator yağı olarak kullanılır. Yağın kirlenmesi ciddi bir sorundur çünkü kirlenme ile yağın yalıtkanlık özelliği kaybolur ve onu yalıtım malzemesi olarak işe yaramaz hale getirir[13].





3. TRAF0 SARGILARI

Güç ve trafo sargılarında iletken olarak kullanılan ana malzemeler bakır ve alüminyumdur. Alüminyum daha hafif ve bakırdan daha ucuz olsa da, bakır ile aynı akımı taşımak için daha büyük bir alüminyum iletken kesiti kullanılmalıdır. Bakır daha yüksek mekanik mukavemete sahiptir. Aşırı güçlerin karşılaştığı durumlarda, daha yüksek mukavemet için gümüş içeren bakır iletkenler kullanılabilir.

Çekirdek-biçimli transformatörlerde, sarımlar genellikle, üç fazlı bir transformatörün çekirdek bacağı etrafında eş merkezli olarak düzenlenir. Bu durum Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Çekirdek-biçimli transformatörlerde, sarımların eş merkezli düzenlenmesi[14].

Eş merkezli sarımlar düşünüldüğünde, genellikle dairesel sarımların dikdörtgen sarımlardan daha yüksek mekanik mukavemete sahip olduğu, buna karşılık dikdörtgen sarımların daha az malzeme ve işçilik maliyetlerine sahip olabileceği anlaşılır.

Dikdörtgen sargılar alanın daha verimli kullanılmasına izin verir, ancak bunların kullanımı iç kuvvetlerin aşırı yüksek olmadığı küçük güç trafoları ve orta güç

transformatörleri ile sınırlıdır. İç kuvvetlerin yüksek olmasına ihtiyaç duyuldukça, kuvvetler önemli ölçüde artar ve sarımlarda ek kuvvete ihtiyaç olur, bu nedenle dairesel bobinler veya kabuk-biçim yapımı kullanılır.

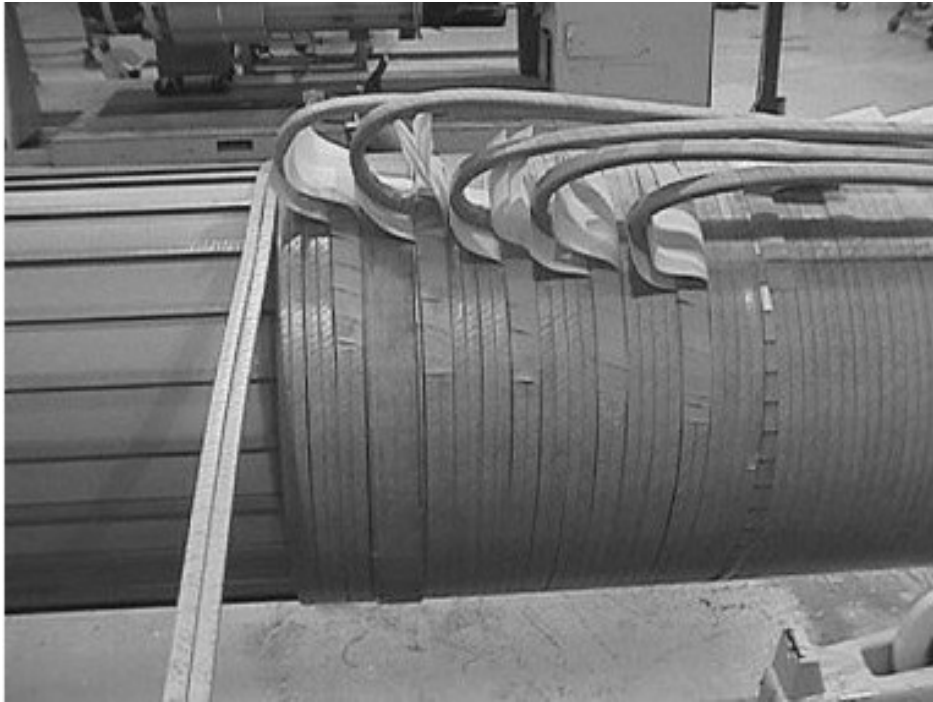
Yıllar boyunca güç transformatörlerinde farklı türde sarımlar kullanılmıştır. Bobinler, dikey bir yönde sarılabilir veya yatay olarak sarılıp tamamlandıktan sonra dik olarak yerleştirilebilirler.

Sarım türü, transformatörün derecesine ve çekirdek yapısına bağlıdır. Daha yaygın sarım türleri aşağıda tartışılmıştır.

3.1 Katman Sargılar

Katman (sarmal) sargılar en yalın sargılar arasındadır, çünkü yalıtılmış iletkenler doğrudan silindir ve ara parçaların etrafında birbirine sarılır. Katmanlar, katı yalıtım veya kanallar ile ayrılmış olarak birbiri üzerine sarılabilmektedir. Eğer istenirse bazı teller paralel olarak sarılabilir. Bu sargının varyasyonları, yük kademe değiştirme(LTC) transformatörlerinde üçüncü harmoniği bastırmak için sıklıkla kullanılır.

Şekil 3.2, bir LTC transformatörü montajı sırasında bir sarım tabakasını göstermektedir.



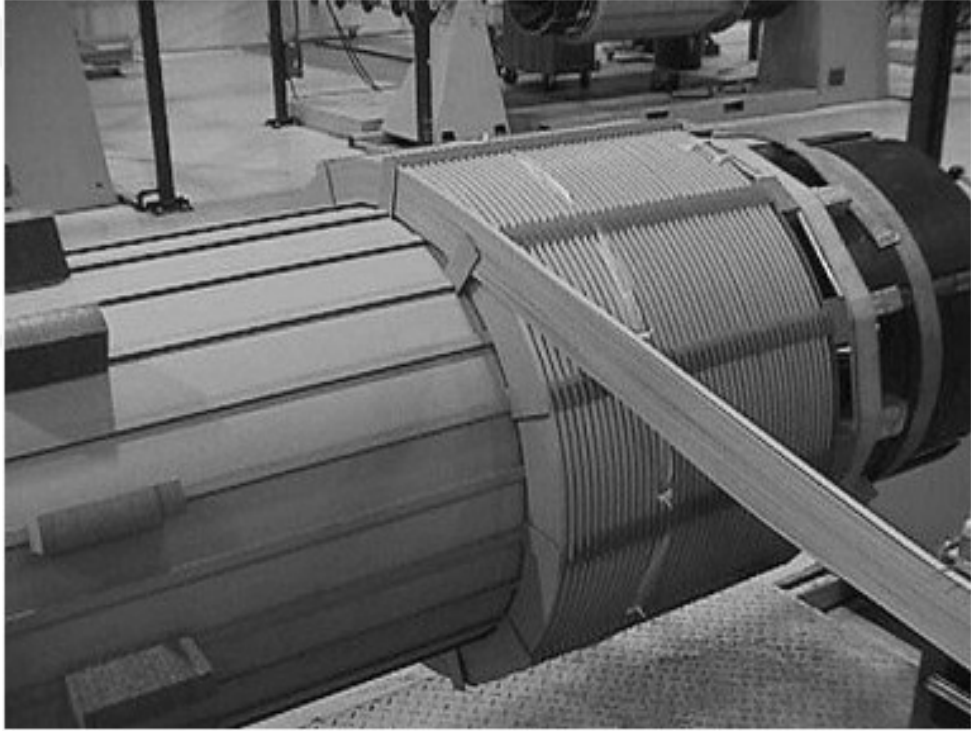
Şekil 3.2: Katman sarımları (paralel olarak sarılmış iki şeritli tek tabaka)[14].

3.2 Sarmal Sargılar

Sarmal sargılara, aynı zamanda bobinin yapısını doğru bir şekilde karakterize eden vida veya spiral sargı da denmektedir.

Sarmal bir sargı, silindirin uzunluğu boyunca sürekli olarak paralel olarak sarılmış 100'den fazla yalıtılmış şeritten oluşur. Tutucular(spacer), yakın sarım ile diskler arasına yerleştirilir ve paralel teller arasındaki dolaşan akımları en aza indirmek için kullanılır.

Şekil 3.3, sarma işlemi sırasında sarmal bir sargıyı göstermektedir. Alçak gerilim uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan yüksek akım uygulamaları için sarmal sargılar kullanılır.

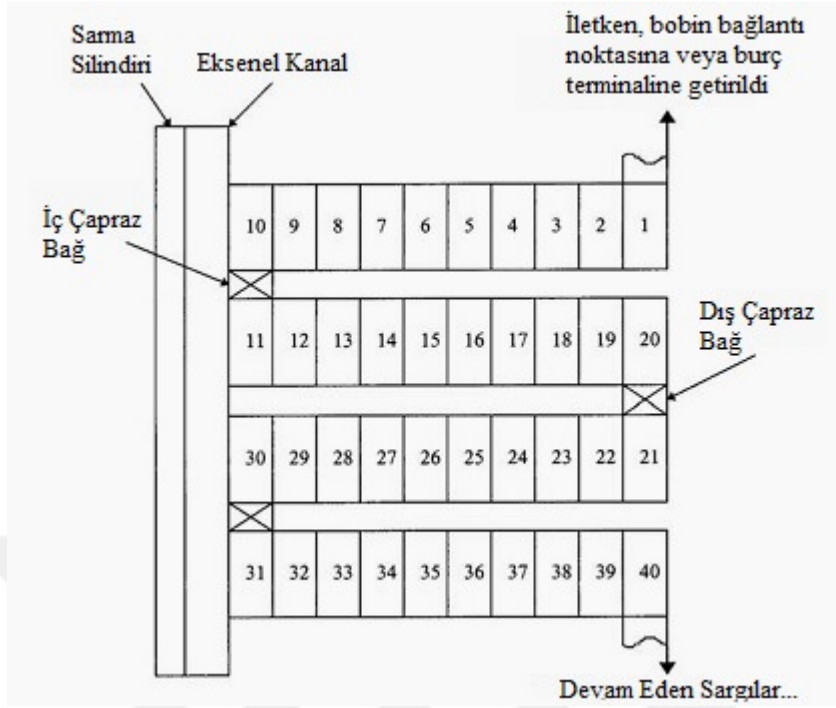


Şekil 3.3: Montaj sırasında sarmal sarım[14].

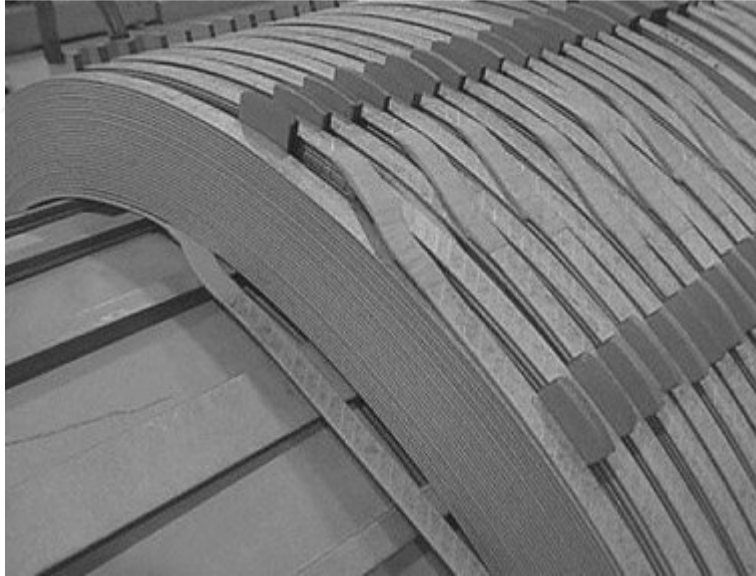
3.3 Disk Sargıları

Bir disk sarımı, yatay bir diskte paralel olarak sarılmış tek veya birkaç iletken içerebilir. Diskler ya içten ya da dışarıdan bir geçiş noktası olarak bağlanır. Her bir disk içerisi ve dışarısı arasında sarılmış çapraz dönüşler içerir.

Şekil 3.4, temel kavramı özetlemektedir ve Şekil 3.5, sarma işlemi sırasında tipik geçitleri göstermektedir.



Şekil 3.4: Temel disk sargı düzeni[14].



Şekil 3.5: Disk sarma iç ve dış geçitler[14].

Çekirdek formu transformatörlerde kullanılan 25-kV sınıfı ve üstü sargıların çoğu disk tipidir. Trafo testi ve trafo çalışmasındaki yüksek gerilimler göz önüne alındığında, trafonun geçici gerilim dalgalanmalarına maruz kalması halinde, sarımların sonuna yakın diskler ve sarımlar arasındaki yüksek gerilmeleri önlemek için özellikle dikkat edilmelidir.

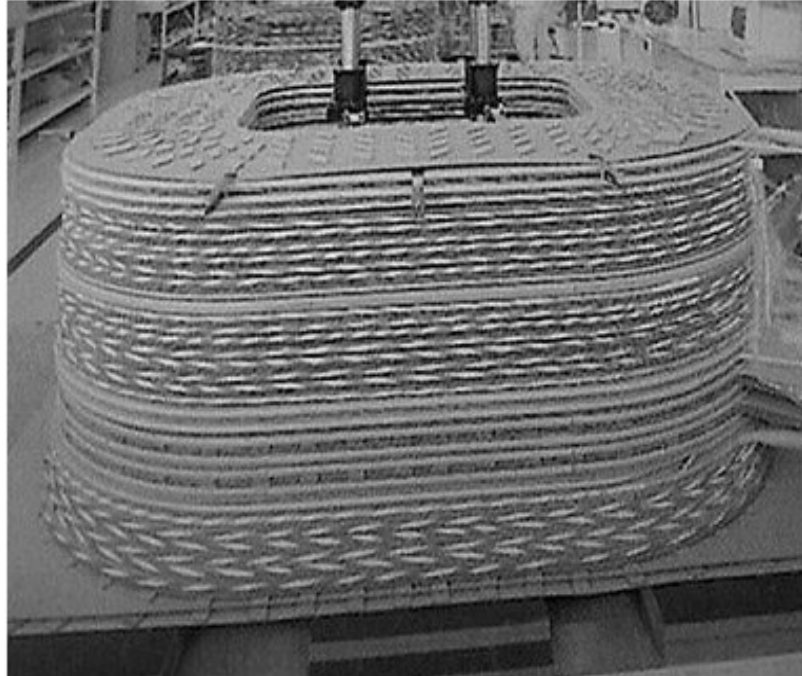
3.4 Pancake Sargıları

İletkenlerin disk içine yerleştirilmesinden ötürü bazı sarım türleri genellikle “pancake” sarımları olarak adlandırılır. Bununla birlikte bu terim çoğunlukla kabuk(Shell) tipi trafolarla kullanılan bir bobini işaret eder.

İletkenin en geniş yüzü yatay veya dikey olarak dikdörtgen formda sarılır. Şekil 3.6, bu sargıların tipik olarak nasıl sarıldığını göstermektedir. Bu tip bir sarım, yığılmış pancake olarak şekil 3.7 deki gibi gözükür.



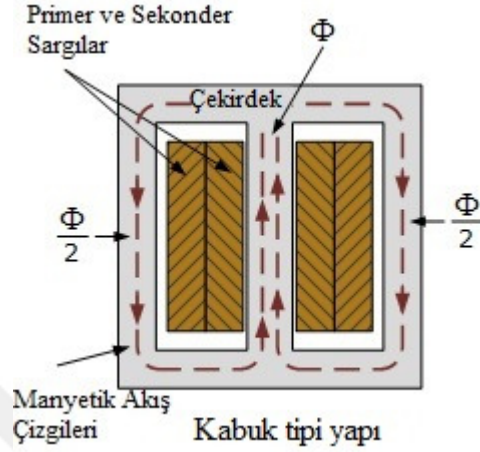
Şekil 3.6: Pancake sargılar sarılma sürecinde[14].



Şekil 3.7: Yığılmış pancake sargıları[14].

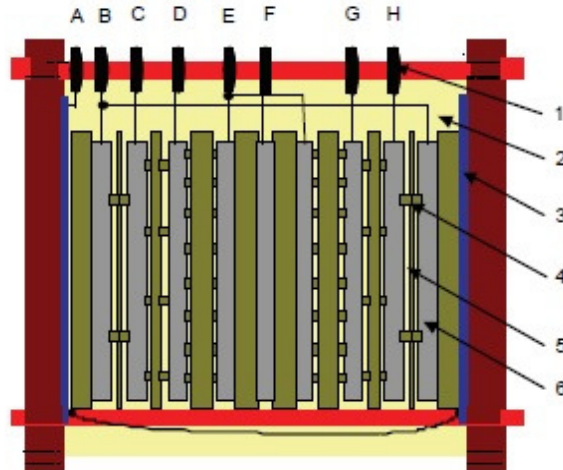
Sandviç veya “pancake” bobinleri, spiral formda sarılmış düz iletkenlerden oluşur ve iletkenlerin disklere düzenlenmesi nedeniyle adlandırılır. Alternatif diskler dışarıdan

merkeze doğru spiral şeklinde, bobinlerin tek tek plastik levha kağıdı gibi yalıtım malzemeleri ile ayrılıp kümelenmesi ile oluşturulur. Pancake bobinleri ve sargılar, kabuk(shell) tipi çekirdek konstrüksiyonu ile daha yaygındır. Şekil 3.8’de kabuk tipi çekirdek yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Shell(kabuk) tipi yapı[15].

Kompozit bir yağ kağıdı yalıtımının dielektrik özelliklerini etkileyen faktörler üzerinde sistematik bir çalışma için sözde bir pancake modeli transformatör yalıtımı geliştirilmiştir. Şekil 3.9’da pancake trafo modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Pancake model trafonun enine kesiti (1-bağlantı (burç); 2-yağ; 3-bakır levha; 4-bakalit çubuk; 5-ara parçası; 6-baskı tahtası))[16].

Pancake trafolar deney trafolarıdır. Farklı yalıtım malzemelerinin ve farklı yağ oranlarının (farklı yağ-kağıt oranı) yalıtım durumunu incelemek için kullanılır.

Yüksek gerilim burçları(bushingleri), güç transformatörünün kritik bileşenleridir. Özellikle, kapasitif yüksek gerilim burçları, aniden meydana gelebilecek arızaları

önlemek için düzenli ve dikkatli testlere ihtiyaç duyar. Bu bushinglerin(burçlar) bağlantı noktasında bir ölçüm yeri vardır. Bu bağlantı noktası ile iç iletken arasındaki kapasite (normalde C1 olarak adlandırılır) ve bağlantı noktası ile toprak arasındaki kapasite (normalde C2 olarak adlandırılır) ölçülür. C1 deki artış iç kısımların kısmi bozulmalarını gösterir. Burç kayıplarını belirlemek için, kayıp faktörü testleri yapılmıştır. H1, H2 ve H3, farklı fazların burçları için varsayılan etiketlerdir. Aşağıda pancake trafonun çeşitli şekillerde bağlantı ölçümleri açıklanmıştır.

C1H1: Bağlantı noktası ile iç iletken arasındaki kapasitenin H1 fazında ölçümü

C1H2: Bağlantı noktası ile iç iletken arasındaki kapasitenin H2 fazında ölçümü

C1H3: Bağlantı noktası ile iç iletken arasındaki kapasitenin H3 fazında ölçümü

C2H1: Bağlantı noktası ile toprak arasındaki kapasitenin H1 fazında ölçümü

C2H2: Bağlantı noktası ile toprak arasındaki kapasitenin H2 fazında ölçümü

C2H3: Bağlantı noktası ile toprak arasındaki kapasitenin H3 fazında ölçümü[17].



4. TRAF0 ARIZALARI VE KORUMALARI

4.1 Trafolarda Meydana Gelen Aşırı Akımların Nedenleri

Trafolarda meydana gelen arızaların birkaç nedeni olabilir. Bunlar;

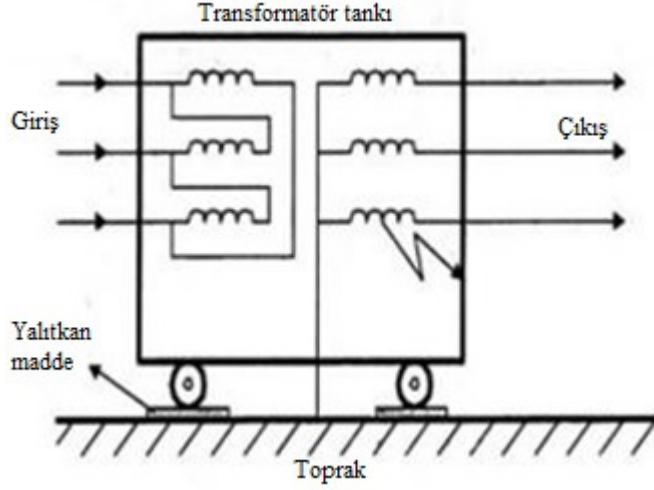
- Transformatör sargılarındaki sıcaklığın artması
- Yağ seviyesinin normalin altına düşmesi
- Trafo tankının ark nedeniyle delinmesi(sargı-toprak arızası sonucu oluşan ark)
- Faz-toprak arızası
- Aşırı yüklenme sonucu transformatör sargılarında oluşan aşırı akı
- Katı ve sıvı izolasyon maddelerinin ark sonucu yanması

Transformatörler ve çeşitli devre elemanları, yüksek gerilim, aşırı akım, ısınma ve dengesiz yüklenmelere karşı korunmalıdır. Arızalar sonucunda tahribatlar oluşmaktadır. İşte bu tahribatları önlemek için yüksek gerilim sistemlerinin korunması çok önemlidir.

Şekil 4.1’de bir güç trafosu, şekil 4.2’de transformatörde meydana gelen sargı kaçağı yeri gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Bir güç transformatörü(1000 KVA gücünde-433 V)[18].



Şekil 4.2: Transformatörlerde sargı kaçağı[19].

4.2 Aşırı Akım Rölelerinin Çeşitleri ve Özellikleri

Aşırı akım koruma röleleri, sekonder aşırı akım koruma rölesi ve diferansiyel aşırı akım koruma rölesidir.

4.2.1 Sekonder aşırı akım koruma rölesi

Sekonder röle, akım trafolarının sekonder devresine bağlanan röledir. Alternatörlerde ve trafolarında aşırı akımlara karşı korumada kullanılır. Genellikle yüksek gerilim devrelerinde aşırı akım koruma rölesi kullanılmaktadır. Ancak alçak ve orta gerilim devrelerinde de kullanıldığı görülmüştür. Şekil 4.3'de sekonder aşırı akım koruma rölesi gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Sekonder aşırı akım koruma rölesi[19].

Transformatörler aşırı yüklenirlerse ısısı artar ve verimi düşer. Bu negatif etkileri önlemek için koruyucu eleman olarak kullanılır[19].

4.2.2 Diferansiyel koruma

Diferansiyel koruma, transformatörler, makineler, baralar, hatlar ve besleyiciler gibi herhangi bir ağ bileşeninin korunmasına uygulanabilecek çok yararlı bir koruma yöntemidir.

Diferansiyel röle, bir nesnenin gelen faz akımlarını aynı nesnenin giden faz akımlarıyla karşılaştırır. Bu akımlar genlik veya faz açısına göre birbirinden farklıysa veya rölenin ayar değerleri tarafından izin verilenden daha fazla olursa, röle açılacaktır.

Hassasiyeti çok yüksek bir korumadır. Koruma, anma akımının %1'indeki bir arıza akımına tepki verebilir. Elde edilebilir hassasiyet kullanılan röle tipine, akım trafolarının ve korunan nesnenin özelliklerine bağlıdır.

Düşük empedans diferansiyel prensibi ve yüksek empedans diferansiyel prensibi olmak üzere iki çeşittir [20].

4.2.2.1 Transformatörün diferansiyel koruması

Transformatör, güç sistemindeki başlıca ekipmanlardan biridir. Tamamen kapalı ve genellikle yağa batırılmış statik bir cihazdır ve bu nedenle üzerlerindeki arıza genellikle nadir olmaktadır. Ancak nadir bir arızanın etkisi, bir güç transformatörü için çok ciddi olabilir. Bu nedenle güç transformatörünün olası arızalara karşı korunması çok önemlidir.

Transformatörde meydana gelen arıza esas olarak iki tip harici arızaya ve dahili arızaya bölünür. Bu arızalardan dolayı trafoda herhangi bir tehlike oluşmasını önlemek için, dış arıza transformatörün dışındaki röle sistemi tarafından en kısa sürede sonlandırılır. Bu tip bir transformatörde dahili arıza koruma, diferansiyel koruma sistemi kullanılarak sağlanmaktadır[21].

4.2.2.2 Diferansiyel aşırı akım koruma rölesi

Akım transformatörlerinde 180 derece faz farklı akımların oluşumu, transformatörlerin sekonder uçları birbirine ters bağlanarak sağlanır ve bir akım rölesi yerleştirilir. Bu yerleştirilen akım rölesine diferansiyel (farklı) röle denir. Diferansiyel röleler transformatörlerin, hava hatlarının, kabloların ve alternatörlerin faz sargıları

arasında herhangi bir izolasyon hatasından dolayı meydana gelen kısa devreleri en güvenilir şekilde tespit eden rölelerdir. Şekil 4.4’de diferansiyel röle gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Diferansiyel röle[19].

Günümüzde daha az tercih edilen elektromekanik diferansiyel röle, daha çok tercih edilense elektronik diferansiyel rölelerdir[19].

Diferansiyel rölelerin çalışması, güç transformatörlerinin primer ve sekonder akımlarının karşılaştırılması esasına dayanır. Diferansiyel röleler, eğer bir kısa devre olursa ve kesiciler devreye girmezse görev yapar. Röleye, gereksiz yere açmaları önlemek için bir zaman rölesi eklenir[22].

Diferansiyel koruma röleleri iki sarımlı güç trafolarının, trafo gruplarının ve oto trafolarının dâhili arızalara karşı (iki veya üç faz kısa devreler, sarımlar arası veya katlar arası arızalar, eğer nötrü topraklı ise toprak arızaları) korunmasında kullanılır[19].

Difarensiyel rölenin çalışma sebepleri

Primer ve sokender devresine bağlı olan teçhizattaki;

- A.G tarafındaki geçit izolatörlerinde arıza olması durumunda
- Akım trafosu ile sekonder buşing arasında yer alan yeraltı kablosunda veya yüksek gerilim buşingleri ile pirimer akım trafosu arasındaki iletken arasında arıza olması durumunda
- Pirimer ya da sekonder sargı hataları (sargı kısa devresi, sargı – tank arızası) olması durumunda

- Primer ve sekonder buşinglerinin arızalanması durumunda
- Güç trafosunun parafadurlarının arızalanması durmunda,
- Akım trafolarının arızalanması durumunda diferansiyel röle çalışır[23].

4.3 Isıdan Koruma Röleleri

4.3.1 Trafolarda meydana gelen aşırı ısıl原因ların nedenleri

Trafolarda sargı ve yağ sıcaklıklarının belirli bir sınırı aşmaması için termik koruma kullanılır. Trafolarda meydana gelen ısınma nedenleri şunlardır:

- Aşırı akım nedeniyle oluşan ısınma

-Kısa devre akımı

*İç arıza

- Sargılar arası kısa devre arızaları
- Sargı toprak arası kısa devre arızaları
- Sarımlar arası kısa devre arızaları

*Dış arıza

- Fazlar arası kısa devre arızası
- Faz toprak kısa devre arızası

- Aşırı yüklenme nedeniyle oluşan ısınma

- Aşırı gerilim nedeniyle oluşan ısınma

-İç aşırı gerilimler: Hat kopması, faz-toprak kısa devresi

-Dış aşırı gerilimler: Çevre sıcaklığı, yıldırım

4.3.2 Isıdan koruma rölelerinin çeşitleri ve özellikleri

4.3.2.1 Temperatur (ısı kontrol) koruma rölesi

Transformatörlerde sargı sıcaklığının belirli bir değeri aşmaması gerekir. Sargı sıcaklığını belirleyen ve bu değeri aşmamamızı sağlayan koruma aletine temperatur röle denir. Güç transformatörlerinin yağ ve sargı sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan

ısı kontrol(temperatür) röleleri, transformatör merkezlerinde ve alternatörlerde kullanılır. Şekil 4.5’de temperatür röle gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Isıdan koruma (temperatür) röleleri[19].

4.3.2.2 Yatak ısınma koruma rölesi

Trafonun yatak sıcaklığının belli bir sınırı aşması istenmemektedir. Bu nedenle yatak sıcaklığının korunmasını sağlamak amacıyla yatak ısınma koruma rölesi kullanılmaktadır.

Soğutucu gazın sıcaklığı 70°C değerine ulaştığında alarm yardımcı rölesi çalışır. Böylece zil çalar ve pano üzerinde termik alarm sinyali yanar. Sıcaklığın 85°C’e ulaşması durumunda ise açma yardımcı rölesi çalışır ve sistemi kilitlet. Alternatörlerde ve trafolarında kullanılmaktadır.

4.4 Buchholz Röle ve Bağlantıları

4.4.1 Buchholz rölesi

Güç trafolarında meydana gelen iç arızalardan dolayı yağ ısınır, genişler ve gaz açığa çıkar. Açığa çıkan bu gazın etkisiyle çalışıp koruma yapan rölelere buchholz rölesi denir. Buchholz rölesi şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Buchholz rölesi[19].

Buchholz rölesi trafo kazanıyla genişleme kabı arasına monte edilir.

Normalde buchholz rölesi ve trafo tankı tamamen yağla doludur. Buchholz rölesindeki kontaklar altta ve üstte konumlandırılmıştır. Bu kontaklar normalde açıktır. Alt kontak kapandığında açma olacaktır, üst kontak kapandığında ise alarm sistemi devreye girecektir. Buchholz rölesinin bağlantı yeri şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Buchholz rölesinin bağlantı yeri[19].

Buchholz röleleri, güç trafoları tankı içerisinde meydana gelen aşağıdaki arızaların ortaya çıkmasıyla devreye girer.

- Nüvelerde meydana gelen arızalarda
- Deprem sarsıntısında
- İzolasyon maddelerinin (katı ve sıvı) ark sonucu yanmasıyla
- Sargı ve spirlar arasında oluşan arızalarda
- Yağ tankında bulunan hava izole botunun arızalanması durumunda
- Yağ pompalarının hava yapması durumunda
- Elektriksel devrelerde istenmeyen temasla birlikte oluşan ark durumunda
- Yağ seviyesinin, tank seviyesinin altına düşmesi durumunda (yağın azalması)

Yukarıda verilen arızaları bildiren buchholz röleleri her güçteki transformatörlerde kullanılır. Buchholz rölesi trafolarında koruma ve arızanın sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır.

4.4.1.1 Çalışma prensibi

Trafolarında tank içinde oluşan arıza esnasında ark oluşur. Ark oluşmasıyla katı ve/veya sıvı izolasyon maddeleri yanar ve izolasyon maddesi ayrışır. Daha sonra yanıcı

özelliğinde gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu oluşan gaz kabarcıkları yağdan daha hafif olduğu için yukarı çıkar. Gaz kabarcıkları buchholz rölesinin camına doğru gelir ve haznedeki yağ aşağı iterek camda birikir. Böylece alarm kontağı kısa devre olur ve buchholz rölesi çalışır. Gelen gaz kabarcığı miktarı az ise birinci kontak çalışarak gaz alarm sinyalini, eğer gaz fazla miktarda ise (250 cc den fazla) buchholz açma rölesini çalıştırır[23].

Cam kap içinde toplanan gazın miktarı, arızanın önemi hakkında bilgi verir[19].

Ucuz ve basit olan bu sistem en güvenilir arıza koruma şekillerinden biridir. Buchholz rölesinin çalışabilmesi için trafoda genişleme tankı olmalıdır[23].

Buchholz rölesinin çalışmasında açığa çıkan gazın yanıcı olup olmadığına bakılır. Eğer gaz yanıcı ise transformatörde iç arızanın meydana geldiğini anlarız. Fakat gaz yanıcı değilse, havadır ve tamamen boşaldıktan sonra transformatör servise alınabilir. Buchholz rölesi kullanılarak yapılan bir deneyde arıza durumunda rölenin 50-100 ms içinde çalıştığı görülmüştür.

Buchholz ünitesi ve buchholz rölesini trafo ile genişleme kabına bağlayan boru, rastgele seçilemez. Kullanılacak borunun çapını ve yatakla yaptığı açığı transformatörün dizaynı belirler.

4.4.1.2 Beyaz renkli gaz

Yanan gazın beyaz renkli olması kağıt izolasyonunun yandığını gösterir. Beyaz renkli gaz olmasının yanında tespit edilen arızadan başka arızalarda olabilmektedir. Böyle bir durum oluşursa elektrik testleri yeniden yapılmalıdır.

4.4.1.3 Siyah veya gri renkli gaz

Eğer yanan gaz siyah ve gri renkli ise birkaç durum söz konusu olabilir. Bunlar; izolasyon yağının delinme sonucu yandığı, bakır sargıların üzerine sarılmış katı maddelerin delinmesi ve tank veya sipirlerin kendi arasında delindiğidir. Elektrik testlerinde ulaşılan sonuç ise arızanın, sargı-nüve, sargı tank arızası veya sipir kısa devresi arızası şeklinde oluştuğudur.

4.4.1.4 Mavi alev bulunması

Eğer gazın yanması sırasında mavi alev oluşuyorsa trafo bağlantı noktalarının birinde kopma, zayıf temas olabilir. Bunlar buşing merkez iletkeninin sargı iletkenine bağlantı

noktasında, kademe sargı uçlarının bağlantı noktasında olabilir. Bu sorunlar elektrik testlerinde görülür ve arıza giderilebilir. Testler tekrar yapıp değerler kontrol edilir.

4.4.1.5 Sarı alev

Gazın yakılması sırasında sarı alev görülmesi durumunda bakır iletkenlerin yandığı veya ark olduğu söylenebilir. DC direnç testlerinde bu tip arızalar görülür[23].

Buchholz rölesi transformatör içinde oluşabilecek herhangi bir arızaya karşın transformatörü korumak amacıyla kullanılmaktadır. Emniyetli ve basit bir yapısı olduğu için tüm güçteki transformatörlerde kullanılır[19].





5. TRAF0 ARIZALARININ TESPİT YÖNTEMLERİ

Çözünmüş gaz analizi (DGA), polimerizasyon derecesi (DP) ve yüksek performanslı akışkan kromatografisi (HPLC) ile furan analizi, trafo arıza tespit yöntemlerinin geleneksel olanlarından bazılarıdır. İzleme için kullanılan teşhis teknikleri trafo jel yalıtımının yaşlanma süreci yeni permeasyon kromatografisi (GPC) geliştirilmiş teknikler, katı izolasyonu yaşlandırmayı değerlendirmek için moleküler ağırlık selüloz dağılımını incelemek için kullanılır[24].

Bunun dışında yalıtkan malzemenin nem içeriğinin kontrol edilebilmesi için birçok geleneksel yöntem vardır. Örneğin, yağdaki nem içeriğinin ölçümü, yalıtım direnci(insulation resistance-IR), dielektrik kayıp faktörü (dielectric loss factor-DLF), dielektrik emme oranı (dielectric absorption ratio-DAR), polarizasyon indeksi(polarization index-PI). Bu yöntemler birçok kısıtlamaya tabidir. Nem, yağ-kağıt yalıtım sistemi içerisine çok yavaş bir şekilde nüfuz eder ve sıcaklığı değiştirdiği için bu yöntemler temelde başarılı olmaz. DC yalıtım direnci, emme oranı, polarizasyon endeksi ve diğer parametreler de tek yönlüdür ve transformatör içindeki nem içeriğini tam olarak yansıtmazlar.

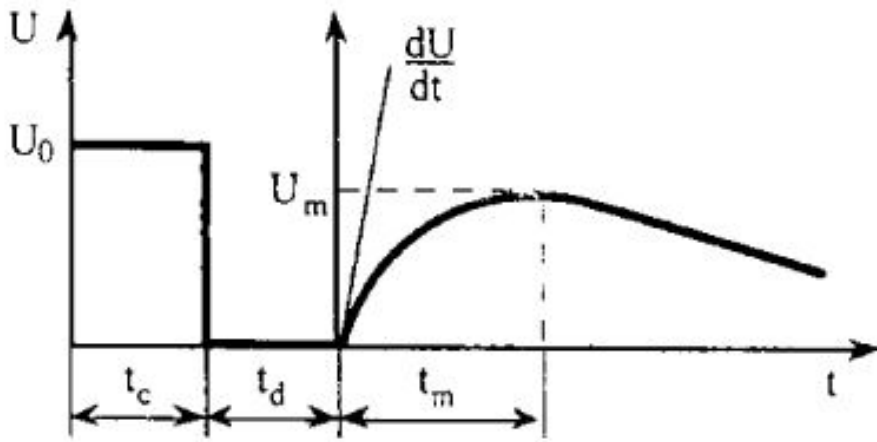
Transformatör içindeki katı yalıtımın nem durumunu daha uygun ve doğru olarak ölçmek için, bazı araştırmacılar, tekrar oluşan gerilim ölçümü (Retune Voltage Method-RVM), polarizasyon/depolarizasyon akımı (PDC), frekans alanı spektroskopisi (FDS) gibi birçok yöntem önermiştir[9].

5.1 Rvm (Tekrar Oluşan Gerilim Ölçümü)

Tekrar oluşan gerilim ölçümü (RVM) 90'lı yılların başında ortaya çıkan ilk polarizasyon temelli yalıtım tanı tekniği olmuştur[7].

İletkenlik, polarizasyon ve depolarizasyon akımları kullanılarak eşzamanlı olarak hesaplanabilir. Uzun bir süre boyunca bir yalıtıkana gerilim uygulanıp, bir süreliğine kısa devre edilir ve tekrar açılırsa, polarizasyonla sınırlanan yük serbest yüklere dönüşecektir, yani yalıtkan üzerindeki elektrotlar arasında bir gerilim oluşacaktır. Bu

dönüş gerilimi olarak adlandırılır. Dönüş gerilimi, yalıtkan malzemenin içindeki gevşeme işlemlerinden kaynaklanır[25]. RVM sırasında bir nesne tekrar tekrar şarj edilir ve boşaltılır. İlk olarak, nesne bir DC gerilimi aracılığıyla bir $t_c = \tau$ şarj süresi sırasında şarj edilir. Daha sonra, örnek bir deşarj süresi $t_d = \tau / 2$ sırasında kısa devre ve deşarj edilir. Son olarak, nesne üzerindeki geri besleme gerilimi (RV), bir t_m ölçüm süresi boyunca ölçülür. Bu süre boyunca RV maksimum bir RV_{max} 'a ulaşacak ve ardından 0'a düşecektir. Bu maksimum değer kaydedilir. Artan şarj süresi t_c ile bir dizi RV ölçümü gerçekleştirilir. Her bir t_c için RV_{max} kaydedilir ve t_c 'in bir fonksiyonu olarak RV_{max} 'ı gösteren bir spektrum çizilir[26].



Şekil 5.1: Geri dönüş gerilim olgusu[27].

Geri dönüş gerilimi ölçümlerinin uygulanması kolaydır, saha ortamında sağlam performans sunar ve ekipman daha az yer kaplar[28]. Ayrıca geri dönüş gerilimi uygulanan elektrik alana bağlıdır ve yalıtkan malzemenin lineer olduğu varsayılırsa, sonuçların yorumlanması için bu elektrik alana bağlı olması problemi kolayca çözülür.

Nem içeriği ve yağ kağıdı yalıtımının sıcaklığı, dönüş gerilimi ölçümünü etkiler. RV ölçümü, eğer ortam nem oranı % 70'in üzerinde olursa yapılamamaktadır. Nem yaşlanmayı hızlandırır. Nemin varlığı, çalışma ortam sıcaklığını da önemli ölçüde düşürür[29]. Transformatörün çok yüklenmediği durumlarda yağdaki nemin ölçülmesi pressboardın nemi hakkında tam olarak bilgi vermez. Buradaki asıl amaç pressboarddaki nemin ölçülmesidir[30]. Bu durumda katı yalıtımın içindeki nemin ölçülmesi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden bazıları, Kurtarma Gerilimi Ölçümü (RVM) veya Polarizasyon Depolarizasyon Akım Ölçümü (PDC)dür. Ayrıca dielektrik analizi, bizim çalışmamızda olduğu gibi Frekans Alanı Spektroskopisi (FDS) tekniğindeki gibi frekans alanında da yapılabilir[29].

Dönüş gerilimi ölçümleri, bir dizi güç ve dağıtım transformatörüne uygulanmıştır. RV parametrelerinin, nem seviyelerinin yanı sıra yalıtım sistemlerinin yaşlanma koşulları ile önemli ölçüde ve tutarlı bir şekilde değiştiği bulunmuştur. RV parametreleri arasında, merkezi zaman sabitinin, yaşlanmaya ve neme duyarlı olduğu bulunmuştur. Merkezi zaman sabiti, yaşlanma ve nem içeriği ile keskin bir şekilde azalır. Bununla birlikte, nemin ve yaşlanmanın RV sonucu üzerindeki etkisi ayrı ayrı tahmin edilemez. Yaşlanmanın ve nemin RV parametreleri üzerindeki etkisi ayrı ayrı araştırılmalıdır[25].

Polarizasyon spektrumuna dayanan yerleşik RVM yorumlarının, genellikle nem içeriğini tahmin etmede daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, RVM yorumlarının güvenilirliğini arttırmak için çeşitli metodolojiler önerilmiştir[7].

RV yönteminin, deney sırasında şant değerleri değişmediği sürece, test gerilimi seçimine, harici AC alanlarına ve şant kapasitesine veya direncine karşı duyarsız olduğu iddia edilmektedir.

RVM yönteminin yararlı olduğu kabul edilmektedir, ancak diğer iki yöntem (PDC ve FDS) göre sistematik hatalara daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. RVM, yüksek empedanslı bir giriş yöntemidir ve bu nedenle burçlardaki kaçak akım, ölçümü kolayca bozabilir[27].

RVM yöntemi kağıt yalıtımındaki nemi tespit edebilmekte, ancak duyarlılığı test nesnesinin şekline bağlıdır. Pratik bir transformatörde, kuru sarımlar arasında nemli sarımın tespit edilmesinin çok zor olabileceği belirlenmiştir.

Hassasiyet tamamen elektrotun yağa mesafesine bağlıdır ve en hassas an, her iki elektrotun yalıtım kağıdına değmesiyle olur[26].

Suyun ve yaşlanmanın etkilerini ayrı ayrı değerlendirebilmek için başka ölçüm yapılmalıdır[31]. RVM, yağ kağıdı yalıtım sisteminin durumunu belirlemek için kullanılan zararsız bir teşhis tekniğidir[7]. PDC ölçüm tekniği ile yağ veya kağıdın durumu, kağıt örneği için trafo tankı açılmadan ayrı ayrı değerlendirilebilir[24]. FDS yönteminde de yağ ve kağıdın durumu ayrı ayrı değerlendirilebilir. Bu RVM yönteminin PDC ve FDS'e göre olumsuz tarafıdır.

Dönüş gerilimi ölçümleri, güç ve dağıtım transformatörüne uygulanmıştır. RVM'nin, nem seviyeleri ve yaşlanma koşulları ile tutarlı bir şekilde değiştiği gözlenmiştir[25]. RVM metodu, kağıt yalıtımındaki nemi tespit edebilmektedir, fakat hassasiyeti, büyük

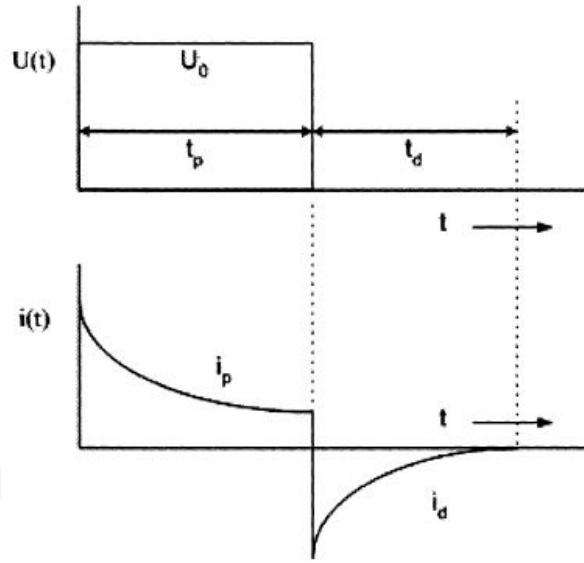
ölçüde test nesnesinin şekline bağlıdır. Transformatörde, kuru yalıtım ile sargılar arasındaki nemli sargı yalıtımının tespiti çok zor olabilir. RVM spektrumları dikkate alındığında, kapsamlı ölçüm süreleri nedeniyle RVM yöntemi, kağıt yalıtımlı kablo için pratik olmayabilir. Bu noktada RVM spektrumu yerine tek veya küçük RV eğrileri kümesine odaklanılmalıdır[26]. RVM de yaşlanma ve nem etkilerinin ayrı ayrı değerlendirilememesi henüz çözülememiş en önemli sorundur[27].

5.2 Pdc (Polarizasyon ve Depolarizasyon Akımları Ölçümü)

Polarizasyon ve Depolarizasyon Akımları (PDC) ölçümü, transformatörlerde yalıtım malzemelerinin durumunu değerlendirmek için yararlı bir tekniktir[32]. Polarizasyon ve depolarizasyon akımı (PDC) ölçümü, transformatörlerde yalıtım malzemelerinin genel yaşlanma durumunu ve nem içeriğini gösterir[4]. Bununla birlikte, kablo izolasyonu içindeki bozulmayı belirli bir dereceye kadar izlemek için de kullanılabilir[33]. PDC ölçümü, uzun bir süre (yaklaşık 10000 sn) test numunesi boyunca yüksek bir DC gerilimi uygulanmasından oluşur[4]. Şarj süresi boyunca, farklı yalıtım malzemelerine karşılık gelen farklı zaman sabitleriyle ve nesnenin iletkenliğine bağlı olarak polarizasyon işleminin aktivasyonundan kaynaklanan yalıtım malzemesinin durumuna bağlı olarak ortaya çıkan ve daha önce dikkatli bir şekilde boşaltılmış olan polarizasyon akımı $I_{pol}(t)$ ölçülür[32]. PDC'nin sonuçları, ağırlıklı olarak sıcaklıktan kaynaklanan çeşitli çevresel faktörlerden ciddi şekilde etkilenmektedir[4].

Normal çalışma koşullarında, bir transformatörün içindeki sıcaklık, yükleme durumuna bağlı olarak, ortam sıcaklığından çok daha yüksektir. Bu gibi durumlarda, büyük termal varyasyonlar sonuçları etkileyebilir, çünkü yalıtım içindeki nem dağılımı tam bir denge durumunda değildir. Bu nedenle, sonuçların yorumlanması için dikkatli olmak gereklidir. Ayrıca bir yağ numunesinde doğrudan iletkenlik ölçümleri yapılmadan bile, yağ iletkenliği daha sonra aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir. Burada $I_{pol}(t_b)$ ve $I_{depol}(t_b)$ sırasıyla polarizasyon ve depolarizasyon akımlarındaki başlangıç değerleridir. Aynı şekilde, kağıdın iletkenliği, polarizasyon ve depolarizasyon akımlarının uzun vadeli değerlerinden, t_b 'nin t_m 'ye değiştirilmesiyle tahmin edilebilir; burada t_m , akımların ölçüldüğü zamanın en büyük değerini temsil eder.

depolarizasyon akımları) yalıtım malzemelerinin özelliklerinden ve yalıtım sisteminin geometrik yapısından etkilenir[35].



Şekil 5.3: PDC ölçülen akımlar[35].

Polarizasyon / depolarizasyon akımı sıcaklık ve nem ile doğru orantılı olarak artar[4].

Sonuç olarak, yalıtımın geometrik parametrelerini modellemek için bilinen bir yağ iletkenliği kullanılabilir. Ayrıca trafoda yağ değişimi yapıldıktan sonra PDC ölçümlerinin çok fazla etkilendiği görülmüştür. Bu durum FDS'de görülmemiştir. PDC ve FDS'den elde edilen sonuçların karşılaştırsak her iki teknikten elde edilen tahmini nem içeriğinin eşit olmadığını ancak makul derecede yakın olduğunu göstermektedir[7].

PDC test sonuçlarının yorumlanması, yalıtım yaşlandırma durumu, nem içeriği ve aynı zamanda çalışma sıcaklığı gibi çevresel koşullar da dahil olmak üzere çeşitli parametrelerden etkilendiğine inanıldığı için hâlâ zor bir görev olmaya devam etmektedir. Yalıtımın sıcaklığı, sonuçlar ve PDC ölçümlerinin yorumlanması üzerinde büyük etkiye sahiptir. PDC ölçümlerinden polarizasyon ve depolarizasyon akımlarının sıcaklık artışı ile arttığı tespit edildi. Çeşitli sıcaklıklardaki sonuçlar ile termal geçiş sırasında ölçülen PDC üzerinde kayda değer bir fark vardır.

Analizler, polarizasyon akımı ve depolarizasyon akımının başta kaydedilen sıcaklık değerlerini kullanırken daha iyi yorumlanabildiğini göstermiştir[32].

Hem polarizasyon hem de depolarizasyon akımları iletkenlikten ve yağ-kağıt izolasyon maddesinin yaşlanma durumundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Hem

yağın hem de kağıdın durumu ayrı ayrı tahmin edilebilmesine rağmen, PDC ölçümlerinden tam olarak yaşlanma derecesini ölçmek zor görülmektedir[35].

FDS'den elde edilen sonuçlar, transformatör çalışma sıcaklığının, kayıp faktörü ve karmaşık kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Beklendiği gibi, hem FDS ölçülen verileri hem de simüle edilmiş PDC verileri tutarlı sonuçlar göstermektedir[24]. FDS'de kayıp faktörü ($\tan \delta$) ölçümü transformatör geometrisinden bağımsızdır. PDC'de bu durum söz konusu değildir. Yani PDC transformatör geometrisine bağlıdır. Yalıtım analizinde FDS nin kullanımı PDC'e oranla daha uygundur. Çünkü FDS gürültüye daha az duyarlıdır ve aynı zamanda PDC tekniği polarizasyona veya depolarizasyona geçtikten sonra geçiş akımlarının ilk birkaç saniyesini ölçmemektedir. Ayrıca PDC'nin eşdeğer frekansı 1 Hz'in in altına sınırlıdır[24].

5.3 Fds (Frekans Alan Spektroskopisi)

Frekans Alanı Spektroskopisi (FDS) tanı teknikleri son yıllarda popüler hale gelmektedir ve bunun nedenlerinden biri de, kayıp faktörünün ($\tan \delta$) ölçümünün transformatör geometrisinden(şeklinden) bağımsız olmasıdır. Diğer bir avantajı ise FDS'nin diğer yalıtım ölçüm yöntemlerinden, daha az gürültülü olmasıdır[24].

Frekans alanı spektroskopisi (FDS) ölçümü, dielektrik polarizasyon tepki ölçümünün frekans alanındaki boyutlandırılmasıdır. FDS tekniğinde bilinen bir sinüzoidal gerilim, transformatörlerin yalıtımına uygulanır ve ilgili akımlar ölçülür. Ölçümler önceden belirlenmiş frekans aralıklarında tekrarlanır. Genellikle bu ölçümler, yüksek frekanstan düşük frekansa doğru uygulanmaktadır[7].

Frekans aralığı üzerindeki ölçümler 0.0001 Hz ila 1000 Hz arasındadır ve elde edilen veriler yüksek gerilim izolasyonunun durumu hakkında bilgi verir. Ölçüm prensibi şöyle tarif edilebilir: bir dijital sinyal işleme (DSP-digital signal process) birimi, istenen frekansta bir sinüzoidal deney işareti üretir yükseltilebilir işaret daha sonra bir deney cisminde uygulanır. Gerilim bölücüsü ve bir ampermetre kullanılarak gerilim ve numune üzerindeki akım ölçülerek kayıp katsayısı($\tan \delta$) bulunur[36].

Bir frekans aralığında kapasite ve dielektrik kayıplarının ölçülmesinin amacı, yalıtım malzemesindeki yaşlanma sürecinin yanı sıra farklı bileşenleri ayırmaktır[2].

FDS ölçümlerinin uygulanması üzerine yapılan çok sayıda çalışmaya göre, yüksek ve alçak gerilim arasındaki ölçümlerin, bağlantı şekilleri, hava koşulları ve dış faktörlerden diğer yöntemlere göre(PDC ve RVM) en az etkilenen yöntem olduğu görülmüştür[7].

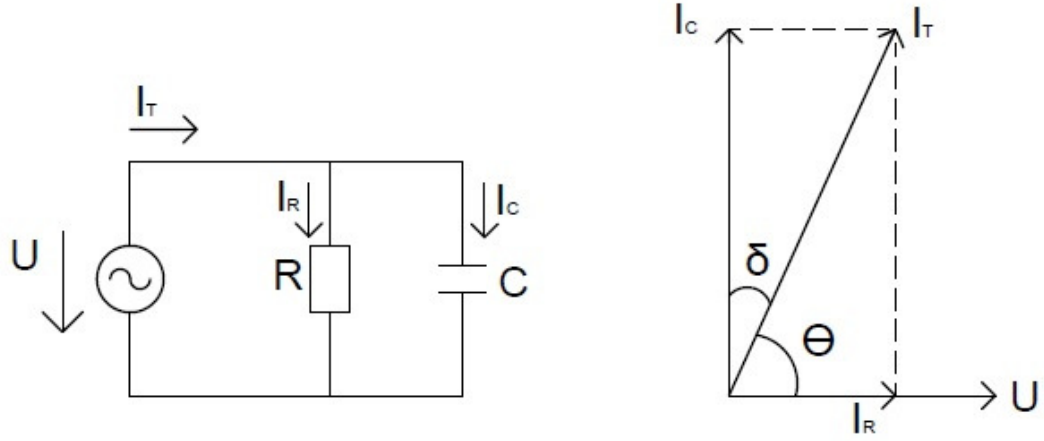
Frekans Alan Spektroskopisi (FDS) tüm frekanslarda ve düşük gerilimde kayıp faktörü ve kapasite ölçümlerini yapabilir[10]. Yani FDS transformatörün yağ-kağıt yalıtımının genel yaşlanma durumunu ve nem içeriğini gösterir[1,8].

Transformatörün izolasyonu bozulması sabit bir frekansla ölçüldüğünde fark edilemez. Ölçülen kayıp faktörü sayesinde eksiksiz bir teşhis yapılabilir(FDS)[37].

Değişik frekanslarda ölçülen kayıp faktörleri($\tan \delta$) ile daha detaylı analiz yapılabilir[2].

6. KAYIP FAKTÖRÜ VE GÜÇ FAKTÖRÜ İLİŞKİSİ

Yalıtkana sinüzoidal bir gerilim uygulandığında akım ile gerilim arasında (θ) faz farkı vardır. Akımın 90 dereceden ayrılma payı kayıp açısıdır. Kayıp açısı (δ), aynı zamanda akım ile imajiner (sanal) eksen arasındaki açı olarak da tanımlanır. Yalıtım maddesi, $\theta = 90^0$ olduğunda veya $\delta = 0^0$ olduğunda kayıpsız olacaktır[2]. Şekil 6.1’de eşdeğer kapasite devresi ve vektör diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.1: .Eşdeğer kapasite devresi ve vektör diyagramı[38].

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere yalıtkandan toplam I akımı akmaktadır. Bu akımın I_R (omik) ve I_C (kapasitif) iki bileşeni vardır. Kapasitif akım I_C ile toplam I akımı arasındaki açı δ , omik akım I_R ile toplam I akımı arasındaki açı ise θ ’dir. Bu açı değerleri yalıtım hakkında bilgi vermektedir.

Kayıp faktörü $\tan \delta = I_R / I_C$ ’dir[38].

Tan δ bazen negatif olabilir. Yüksek frekanslardaki negatif tan δ değerleri, karmaşık dielektrik değerlerinin cihazın ölçüm sınırının dışında olmasından kaynaklanabilir. Dielektrik sabitinin gerçek kısmı, rezonans frekansının üzerindeki frekanslar için negatif olur, dolayısıyla tan δ negatiftir. Ekipmanın belirli frekanslarda ölçebileceği aralığı aşarsa tan δ negatif gözükür[44].

Transformatör yalıtımının yaşlanması yavaş ilerleyen bir süreç olduğu için, transformatörün analiz edilmesi kayıp faktörü ($\tan \delta$) kullanılarak yapılabilir. Dielektrik kayıp faktörü $\tan \delta$, yüksek gerilim yalıtım durumunu değerlendirmek için gerekli anahtar parametrelerden biridir. Çünkü bu yöntem, rastgele hatalarından kaynaklanan etkileri ortadan kaldırılabılır. Ancak dielektrik kayıp faktörü şu gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir:

- Cihazların normal çalışmalarından kaynaklanan güçlü elektromanyetik bozulma
- Çevre sıcaklığı ve nem[39].

Güç faktörü $\cos \theta = I_R/I_T$ olarak gösterilir. Nem arttıkça kayıp faktörü ve güç faktörü de artar[36,39]

Yalıtım sisteminde bozulma olursa veya kirlenirse güç faktörü sonucu yüksek çıkacaktır. Yalıtım malzemesinden elde edilen güç faktörü, önceden bulunan güç faktörüyle karşılaştırılırsa, numunede kayıpların artıp artmadığı ile ilgili bilgiye sahip olunur. Ancak bu artan kayıpların nedeni çevre koşullarıyla ilgili de olabilir. Bunu öğrenebilmek için de bir frekans bandında güç faktörü ölçümünün yapılması gerekmektedir. Bu da bize FDS'i işaret eder. FDS ile iletken kayıplarını, polimerizasyon indeksi kayıplarını ve yaşlanan ürünlerin etkilerini ayırt edebiliriz.

Kayıp faktörü ($\tan \delta$) ile trafolarada; yağın iletkenliği, yalıtkan kağıdın nemi ve yaşlanması tespit edilir. Buşinglerde; elektrotlarda bağlanma hatası, kapasitif tabaka, yaşlanma, izolasyondaki çatlaklar ve nem arızaları tespit edilir.

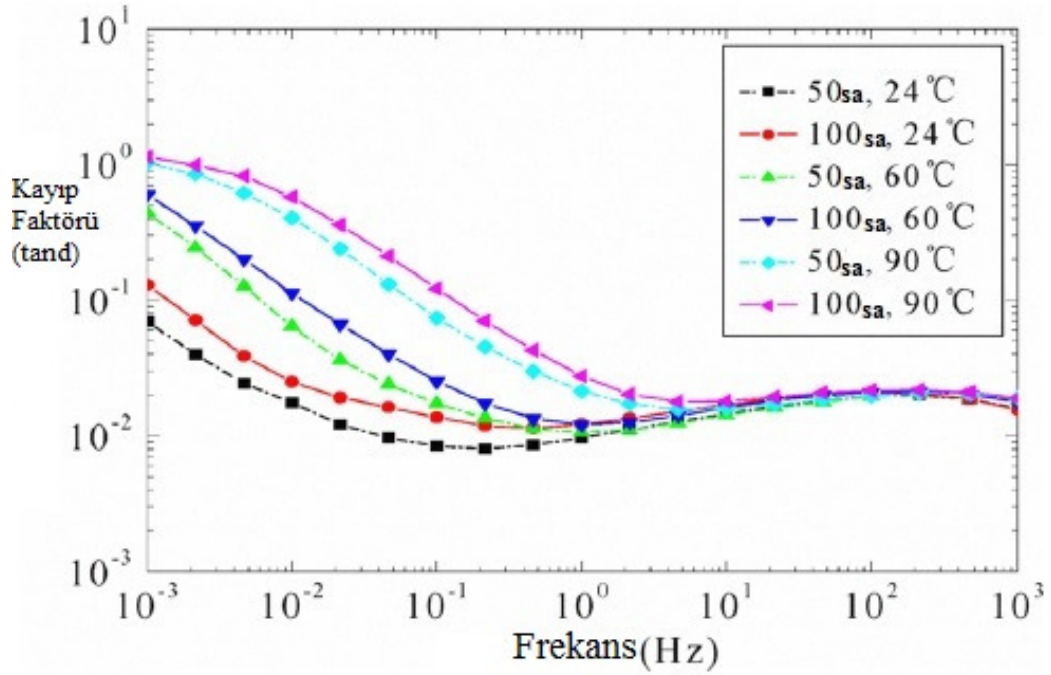
Güç faktörü ($\cos \theta$) ile trafolarada; trafo tankı ile çekirdek arasındaki çekirdek hareketi, çekirdek ile sargılar arasındaki çekirdeğin veya sargının yer değiştirmesi, sargılar arasındaki uzaklıkların değişmesi tespit edilir. Buşinglerde; oluşan çatlaklarda bulunan yağ tabakaları ve tabaklar arasında oluşan kısmi delinme arızaları tespit edilir[38].

Kayıp faktörü ve güç faktörü değerleri, 0.1mHz ile 1000 Hz arasındaki frekanslar için çok yakın değerlere sahiptirler. Bu iki parametrenin en yakın olduğu bölgeler yüksek ve orta frekanslardır. Düşük frekanslarda, kayıp faktörü ile güç faktörü arasında bir farklılık görülür. Yani grafikte biraz farklılık olur. Bu kritik frekans değeri deney süresine bağlıdır. Kritik frekans değeri yaşlanmada etkili bir büyüklüktür. Düşük frekanslarda farklı tanjant değerleri bulunduğu için farklı yaşlanma değerleri tespit edilir.

Özet olarak $\tan \delta$ ve $\cos \theta$ yüksek frekans (50Hz-1000Hz) ve orta frekans (1Hz-50Hz) için birbirine çok yakın değerlerdedir. Düşük frekanslarda (1Hz'den az), $\tan \delta$ ve güç faktörü $\cos \theta$ değerleri arasında bir farklılık görülür. Bu nedenle, düşük frekansların incelenmesi ayrı bir öneme sahiptir[36, 39].

Deney sonuçları, ölçüm sıcaklığının ve termal yaşlanma sürecinin, yağ içeren pressboard örneğinin FDS sonuçlarını daha düşük frekanslarda önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Kayıp faktörleri ($\tan \delta$), gerçek(reel) kapasite ve sanal(imajiner) kapasite, özellikle düşük frekanslarda ölçüm sıcaklığı ve termal yaşlanma süresinin artmasıyla birlikte artar.

Şekil 6.2, yağ içeren pressboard örneğinin farklı sıcaklıklarındaki ve farklı yaşlanma sürecindeki kayıp faktörlerinin ($\tan \delta$) davranışını göstermektedir. Noktalı çizgi olan eğriler 50 saat yaşlandırılmıştır, düz çizgili eğriler 100 saat yaşlandırılmıştır.



Şekil 6.2: Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında kayıp faktörü[5].

Şekil 6.2, sıcaklığın, özellikle düşük frekanslarda olmak üzere, kayıp faktörleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. 10Hz'den 1 kHz'e kadar, kayıp faktörleri ($\tan \delta$) üzerindeki etki daha azdır. 10 Hz'den küçük frekanslarda ise yüksek etkiye sahiptir. Tüm eğriler sıcaklık arttıkça yukarıya doğru kaymaktadır. Tüm ölçümlerin maksimum kayıp faktörleri en düşük frekans olan (1 mHz) de bulunur. Kayıp faktörlerinin tepe değerleri, bu çalışma için tüm verilerde 100 Hz'de maksimuma ulaşır.

Yaşlanma süresinin de test sonuçları üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Aynı ölçüm sıcaklığında, özellikle de daha düşük frekansta, kayıp faktörü eğrilerinin yaşlanma süresi arttıkça yukarıya doğru kaydığını açıkça görülmektedir. Yaşlanma süresi ve sıcaklık arttıkça nem içeriği de artmaktadır[5]. Dolayısıyla kayıp faktörü ($\tan \delta$) artmaktadır.

FDS analizlerinde ayrıca yalıtımın C kapasite değeri de bulunur. Burada $C = C' - jC''$ dir. Kapasitenin gerçek(reel) kısmı(C') yalıtım malzemesinin kapasitesini temsil eder ve imajiner(sanal) kısım (C'') ise kayıp bileşenini temsil eder. Kayıp faktörünü iki kapasite değeri de etkilemektedir. İki değer bilinmesiyle denklem 6.1'den $\tan \delta$ bulunabilir.

Kayıp faktörü $\tan \delta$, bu büyüklüklere bağlı olarak denklem 6.1'deki gibi ifade edilir:

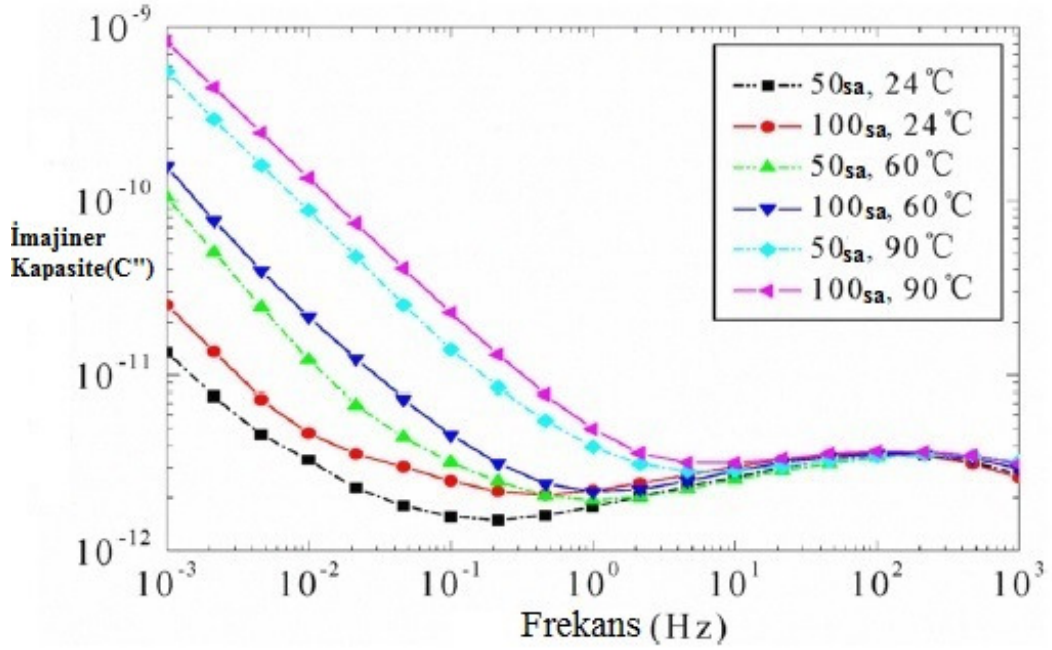
$$\tan \delta = \frac{C''}{C'} \quad (6.1)$$

[5].

Örnek olması açısından 60 Hz'de DG-CH bağlantısının IDA 200'de ölçülen kapasite değerleri verilip, denklem 6.1 ile de sağlanması yapılacaktır. IDA 200'de $C' = 2.8319E-9$ F, $C'' = 1.5138E-11$ F, $\tan \delta = 0.0053457$ 'dir. Burada reel ve sanal kapasite değerleri denklem 6.1'de yerine konulursa;

$$\tan \delta = \frac{1.5138E - 11}{2.8319E - 9} = 0.0053'dür.$$

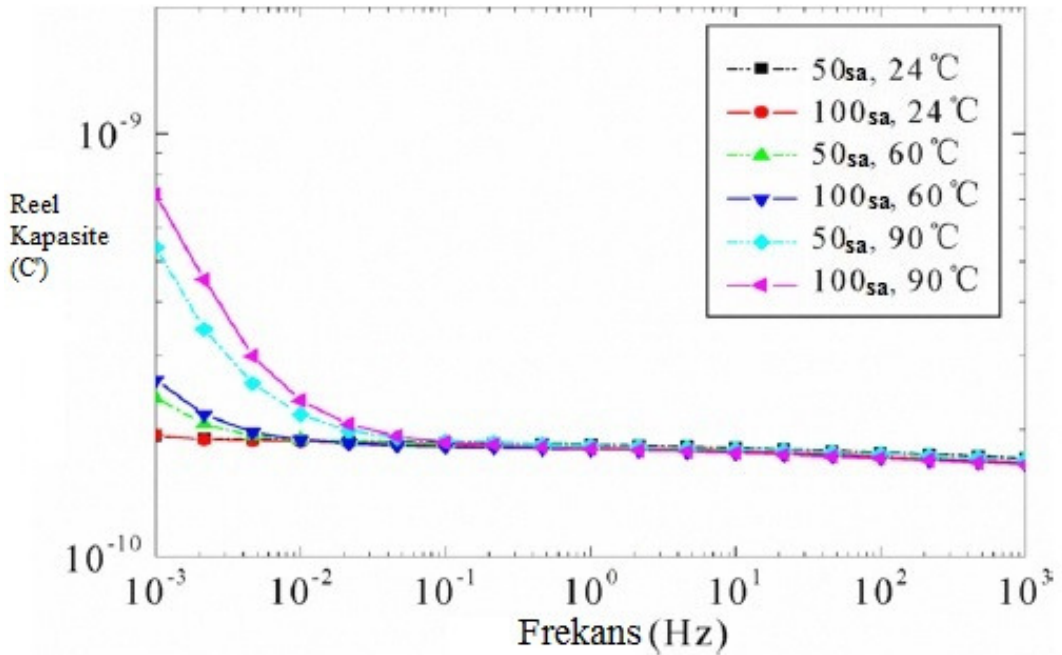
Şekil 6.3, farklı yaşlanma süreleri için çeşitli ölçüm sıcaklıklarında imajiner(sanal) kapasiteyi göstermektedir. Şekil 6.3'ten görüldüğü gibi, yağ içeren pressboard'daki yalıtım kaybının, ölçüm sıcaklıklarından önemli derecede etkilendiği görülebilir. Eğrilerin sıcaklık artışlarıyla yukarı doğru kaydığı gözlenmektedir.



Şekil 6.3: Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında imajiner kapasite[5].

Her bir imajiner(sanal) kapasite eğrisi, 1 mHz ila 1 kHz arasında değişen frekanslarda minimumdur. Daha yüksek sıcaklıklarda yağ iletkenliği arttığı için imajiner(sanal) kapasite daha yüksektir.

Şekil 6.4, farklı termal yaşlanma süreçleri için çeşitli sıcaklıklarda ölçülen gerçek kapasite eğrilerini göstermektedir. Çeşitli sıcaklıklarda maksimum reel kapasite değerleri en düşük frekansta (1 mHz) bulunur.



Şekil 6.4: Farklı sıcaklık ve yaşlanma zamanında reel kapasite[5].

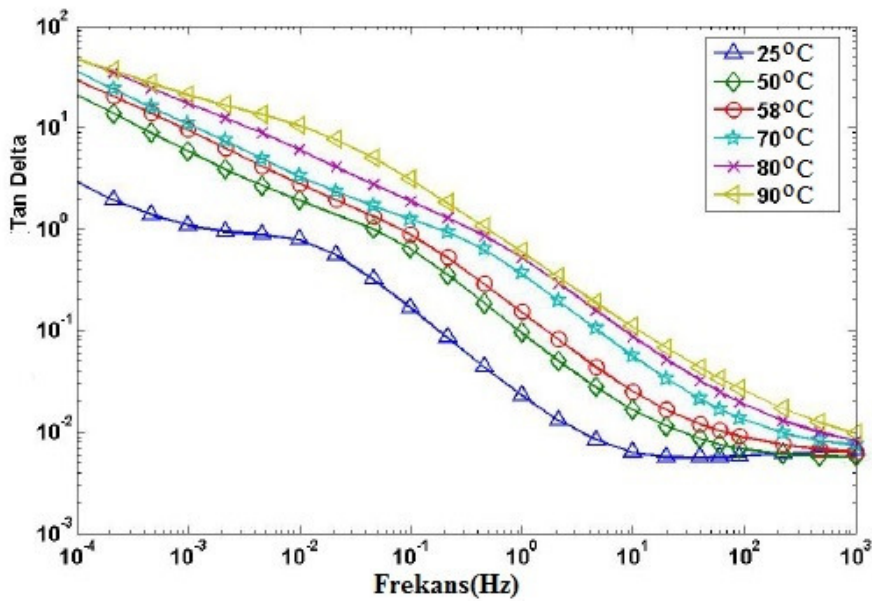
İmajiner(sanal) kapasite, yalıtım malzemesi yaşlandıkça ve sıcaklık arttıkça artar. Yaşlanma süreci, gerçek(reel) kapasiteyi sadece düşük frekanslarda etkiler. Yani fark düşük frekanslarda belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Frekans yükseldikçe reel kapasite değeri aynı kalır. Fakat sıcaklık artınca, yüksek ve alçak frekanslardaki reel kapasite eğrisi arasındaki fark da büyür.

Kayıp faktörü($\tan \delta$), gerçek(reel) kapasite ve imajiner(sanal) kapasitenin sıcaklığa bağlı olmasının nedeni, sıcaklığın sadece yağ iletkenliğini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda yağ içeren pressboard polarizasyonlarını da önemli ölçüde etkilemesidir[5].

Reel ve imajiner kapasite eğrilerine baktığımızda iki eğrinin de düşük frekanslarda maksimuma ulaştığını görmekteyiz. Reel kapasite eğrisinde imajiner kapasite eğrisine göre daha düşük frekanslarda ayrılma gerçekleşmiştir. Bir başka deyişle yalıtım malzemesinin kapasitesi kayıp bileşenine nazaran daha düşük frekanslarda ayrılmaktadır.

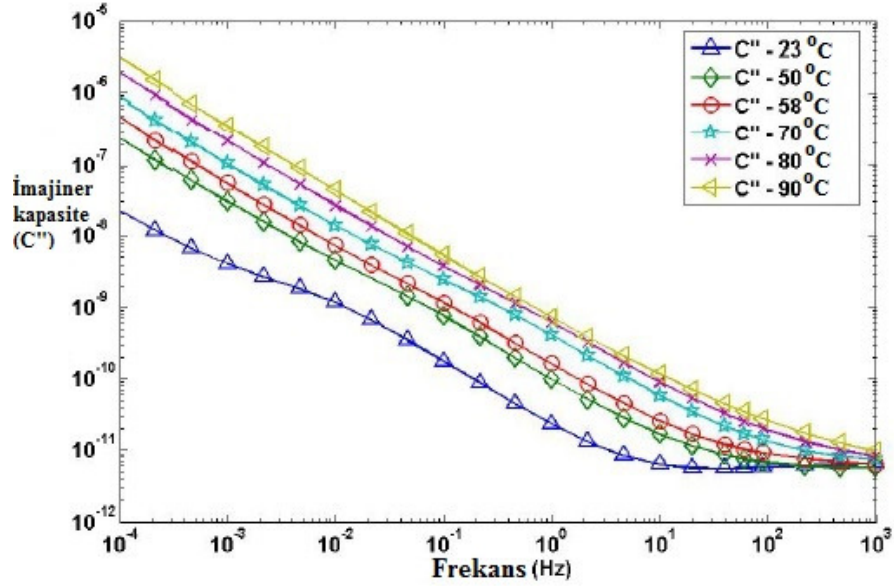
Başka bir örnekte çeşitli sıcaklıklarda yağ kağıdı yalıtımı için kayıp faktörlerinin davranışı gösterilmiştir. Sonuçlar açıkça, sıcaklığın kayıp faktörü üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.5’de numunenin farklı sıcaklıklarda kayıp faktörü ($\tan \delta$) değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça $\tan \delta$ değeri artar. Frekans azaldıkça da $\tan \delta$ değeri artmaktadır. En düşük $\tan \delta$ değeri 10-1000 Hz frekans aralığında elde edilmiştir. En yüksek $\tan \delta$ değeri en düşük frekansda gözlemlenmiştir.



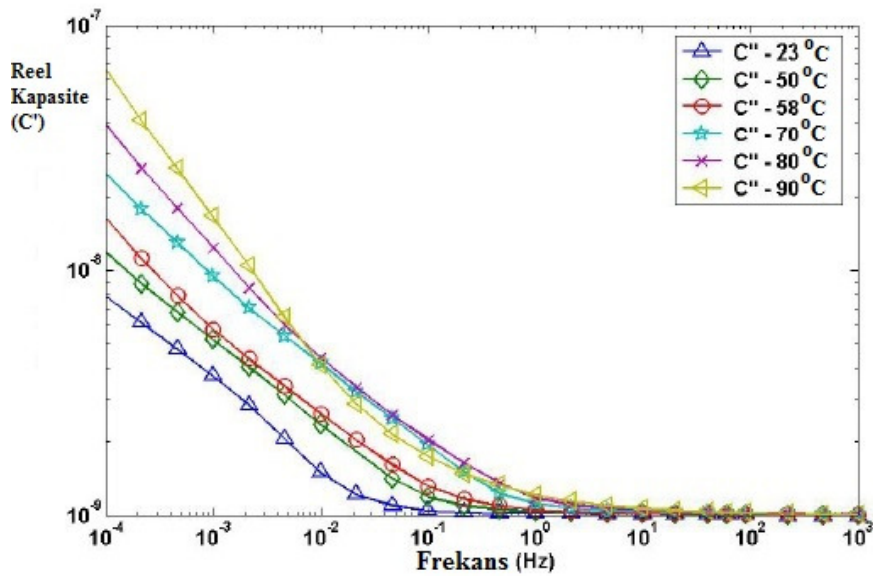
Şekil 6.5: Farklı sıcaklıklarda kayıp faktörleri[24].

Şekil 6.6’da numunenin farklı sıcaklıklarda imajiner (sanal) kapasite C'' değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça imajiner(sanal) kapasite değeri artmaktadır. Maksimum imajiner(sanal) kapasite değeri minimum frekansda gözükmetedir. 10-1000 Hz arası frekans değerinde C'' minimumdur.



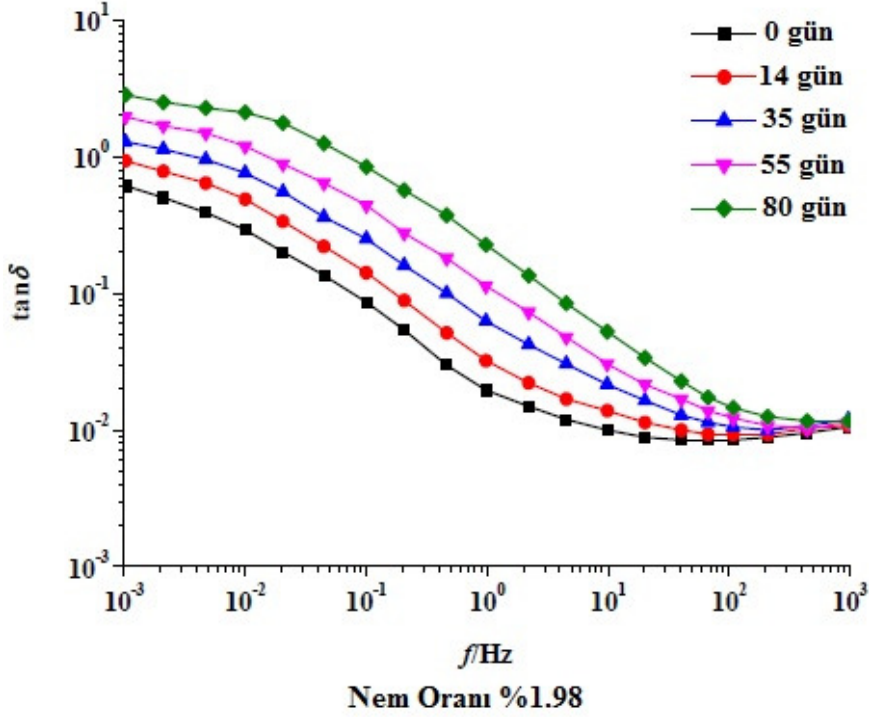
Şekil 6.6: Farklı sıcaklıklarda imajiner kapasite[24].

Şekil 6.7’de numunenin farklı sıcaklıklarda reel (gerçek) kapasite C' değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça reel (gerçek) kapasite C' değeri artmaktadır. Ancak 1-1000 Hz arası frekanslarda reel kapasite minimumdur. Maksimum reel kapasite değeri minimum frekansda gözükmetedir.



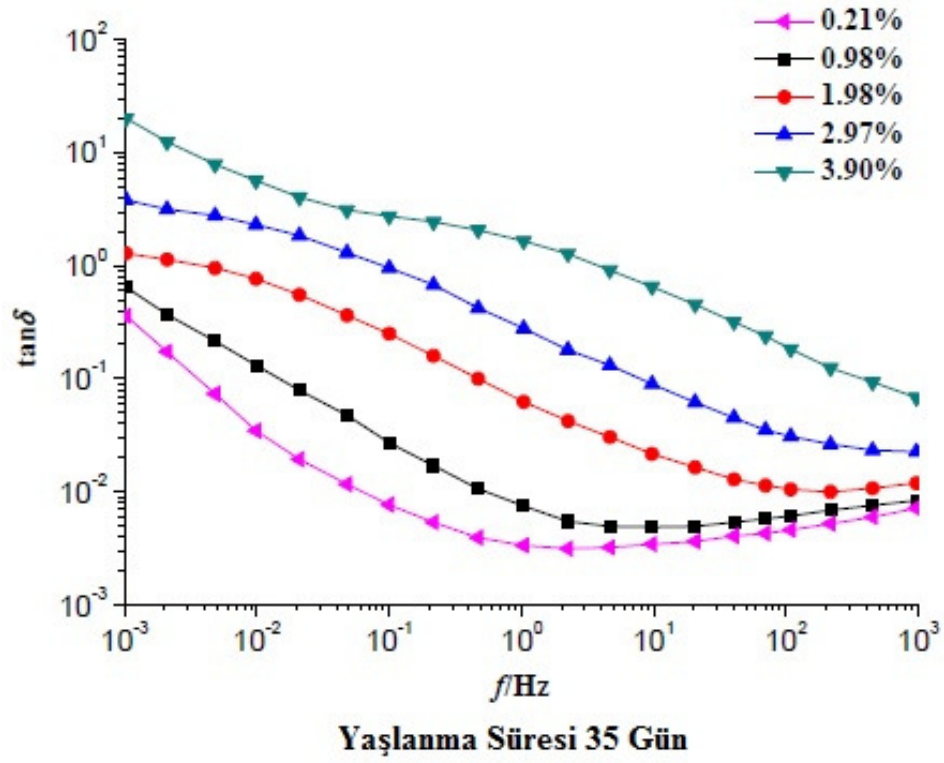
Şekil 6.7: Farklı sıcaklıklarda reel kapasite[24].

Şekil 6.8’de yaşlanma süresi farklı olup aynı nem içeriğine sahip numunenin kayıp faktörü($\tan \delta$) değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yaşlanma zamanı arttıkça kayıp faktörü artmaktadır. 1000 Hz frekansa kayıp faktörü minimumdur. Maksimum kayıp faktörü($\tan \delta$) minimum frekansa gözükmektedir.



Şekil 6.8: Yaşlanma süresi farklı olup aynı nem içeriğine sahip numunenin $\tan \delta$ eğrileri[40].

Şekil 6.9’da yaşlanma süresi aynı olup(35 gün), farklı nem içeriğine sahip numunenin kayıp faktörü($\tan \delta$) eğrileri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi nem oranı arttıkça kayıp faktörü artmaktadır. Nem oranı %1’den az olan numunelerin en düşük $\tan \delta$ değeri 1 Hz dolaylarında, nem oranı %1’den büyük olan numunelerin en düşük $\tan \delta$ değerleri 1000 Hz dolaylarında gözükmektedir.



Şekil 6.9: Yaşlanma süresi aynı olup farklı nem içeriğine sahip numunenin $\tan \delta$ eğrileri[40].

Tüm bu şekillerden de görüldüğü gibi en yüksek $\tan \delta$ değeri en düşük frekansda elde edilmiştir. Grafiklere bakıldığında yüksek frekansda $\tan \delta$ değeri en azdır. Düşük frekansa doğru gidildikçe $\tan \delta$ değeri artmaktadır. Aynı şekilde imajiner ve reel kapasite değerlerinde de bu durum vardır. Sıcaklığın ve nemin özellikle düşük frekanslarda olmak üzere, imajiner kapasite, reel kapasite ve kayıp faktörü üzerinde önemli bir etkisi vardır.



7. YALITKANLIK ÖLÇÜM ANALİZİ (IDA 200-INSULATION DIAGNOSTIC ANALYSIS)

Yalıtkanlık değerlendirme analizi IDA 200, GE enerji servisi tarafından hizmete sunulmuştur. IDA 200 de kullanılan ölçüm ve analiz yöntemleri, Stockholm'deki Kraliyet Teknoloji Enstitüsünde, yüksek gerilim ekipman üreticilerinin sağladığı bilgilerle ve kaynaklarla yapılan araştırmalara dayanmaktadır. Bu yöntemler, parçaların seçimi ve tasarımı ile birlikte benzersiz bir teşhis sistemi ile sonuçlanmıştır. IDA 200 analiz derinliği ve doğruluğunun yanı sıra büyüklüğü ve ağırlığı bakımından da kesinlikle kendi sınıfında liderdir. Şekil 7.1'de IDA 200 gösterilmiştir.



Şekil 7.1: IDA 200(Yalıtkanlık Değerlendirme Analizi)[37].

IDA 200 kullanılarak, çoğu yüksek gerilim tesisatındaki yalıtım malzemelerinin (örn. Güç transformatörleri, ölçüm transformatörleri, burçlar, kağıt yalıtımlı kablolar) belirlenmesi mümkündür. Tanısal ölçüm, 140 V'a kadar olan nispeten düşük bir gerilimin uygulanmasıyla yapılır.

IDA 200, şebeke frekansının hem üstünde hem altında bulunan farklı frekanslarda, kapasite ve dielektrik kayıplarını ölçer. Şebeke frekansından ve harmoniklerden sakınarak, zararlı etkilerinin etkin bir şekilde filtrelenmesine olanak tanır.

7.1 Uygulama

IDA 200, elektriksel yalıtımın tanısal ölçümleri için tasarlanmıştır. Uygulama alanlarına örnekler: Güç transformatörleri, burçlar ve kağıt yalıtımlı kablolar.

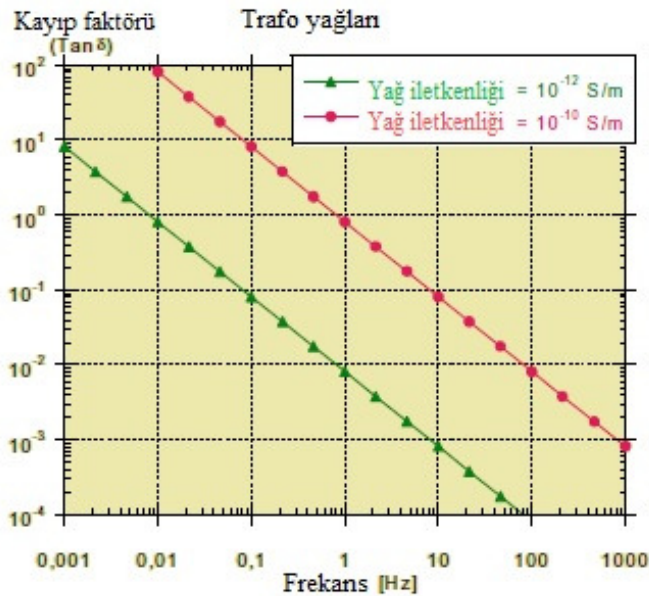
Elektrik yalıtımı her üç şekilde de meydana gelir: katı (selülozik kağıt ve porselen gibi), sıvı (mineral yağ gibi) ve gaz. Katı ve sıvı izolasyonlu yalıtım sistemleri, IDA 200 ölçümleri için uygundur. Bununla birlikte, IDA 200, saf gaz yalıtımlı sistemler için uygun değildir.

Yukarıda listelenen nesnelere bulunan elektrik yalıtım sistemleri genellikle farklı malzemelerin birleşiminden oluşur. Aşağıda, en yaygın kullanılan yalıtım sistemlerinden bazılarının durumunu belirlemek için IDA 200'ün nasıl kullanılabileceğini göstereceğiz.

7.2 Uygulama Örnekleri

7.2.1 Mineral yağların dielektrik özellikleri

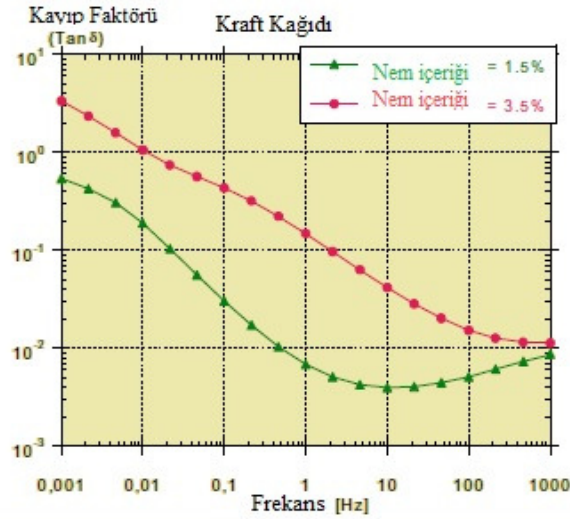
Trafo yağı, kapasitesi frekans ile çok az değişen polar olmayan bir sıvıdır. Ancak yağ, aynı zamanda, yağın kalitesine göre değişen bir DC iletkenliğine de sahiptir. Sonuç olarak ölçülen kayıp faktörü frekans ile ters orantılıdır. Şekil 7.2'de düşük ve yüksek iletkenliğe sahip tipik bir yağ göstergesi gösterilmektedir.



Şekil 7.2: Düşük ve yüksek iletkenliğe sahip tipik bir yağ göstergesi[37].

7.2.2 Selülozik kağıdın dielektrik özellikleri

Yağ emdirilmiş selüloz (kağıt kablolarda kullanılan transformatör baskı kağıdı ve kraft kağıt) daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve hem kapasite hem de kayıpta frekans bağımlılığı ile karakterize edilir. Yaşlanma nem ürettiğinden, selülozun nem içeriği yaşlanma durumu göstergesi olarak kullanılır. Şekil 7.3'de kraft kağıdının 20 ° C'de kayıp faktörünü nasıl etkilediğine dair bir örnek çizilmiştir.



Şekil 7.3: Kraft kağıdının 20 ° C'de dağılma faktörünü nasıl etkilediğine dair bir örnek[37].

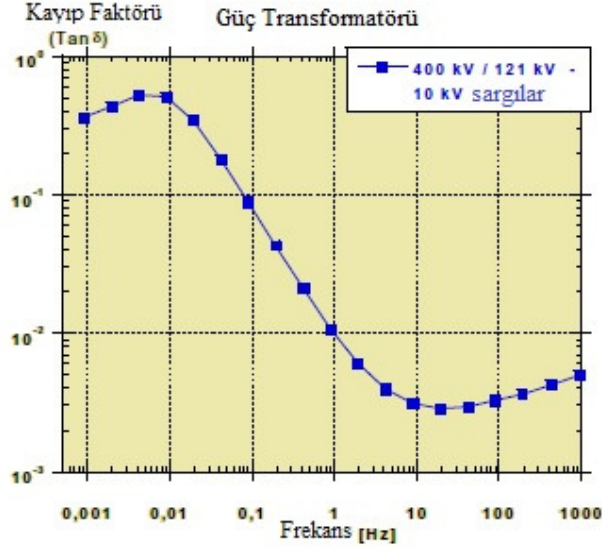
7.3 Güç Transformatörlerinde Yalıtım Teşhisi

Çoğu güç transformatörünün yalıtım sistemi, yağ ve selülozdan oluşur. Her iki malzeme de dielektrik özelliklerini transformatörün ömrü boyunca değiştirir. Yalnızca sabit frekansta ölçüm gerçekleşirse, farklı malzemelerin özellik değişiklikleri ayırt edilemez.

Ölçülen kayıp faktörü frekans karakteristiğinin analizi, incelenen yalıtımın daha eksiksiz bir şekilde teşhis edilmesine izin verir. Aşağıdaki grafik, bir otomatik güç transformatöründe primer ve sekonder tersiyer sargılar arasındaki yalıtım üzerindeki IDA 200 ile yapılan ölçümlerin sonucunu göstermektedir. Daha yüksek frekanslarda pressboard ve yağ hacmi dielektrik kaybını belirler, orta frekanslarda yağ iletkenliği baskın faktördür ve daha düşük frekans aralığında pressboard dielektrik kaybı baskındır.

Ölçüm sonuçlarının analizinden, IDA 200 MODS yazılımı kullanılarak % 1-1,5'lik bir nem içeriği çıkarılmıştır. Normalde, % 3,5-4'ün üzerindeki nem içeriğinde, yalıtım

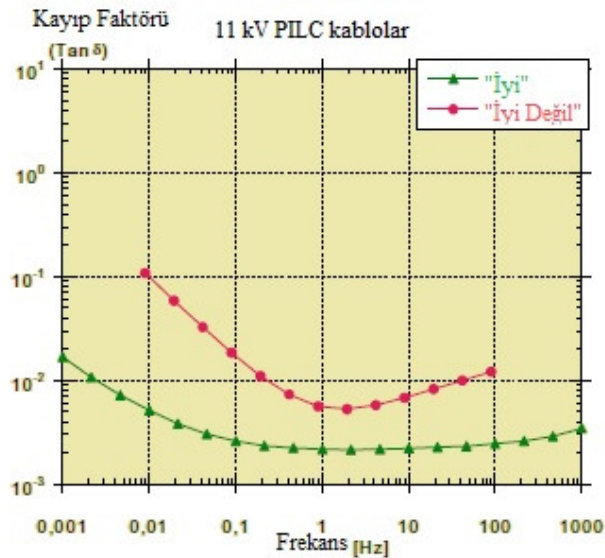
arızalarından kaçınmak için trafonun değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil 7.4'de bir güç transformatöründe primer ve sekonder tersiyer sargılar arasındaki yalıtım ölçüm sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.4: Bir güç transformatöründe primer ve sekonder tersiyer sargılar arasındaki yalıtım ölçüm sonuçları[37].

7.4 Selülozik Güç Kablosu Yalıtımının Teşhisi

Nem, selüloz cevabının karakteristik bir değişimini sağladığı için IDA 200, kağıt yalıtımlı güç kablolarındaki (PILC kabloları) ortalama nem içeriğinin değerlendirilmesi için uygundur. Şekil 7.5'de yeni bir kablo ve eski kablo ölçümlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

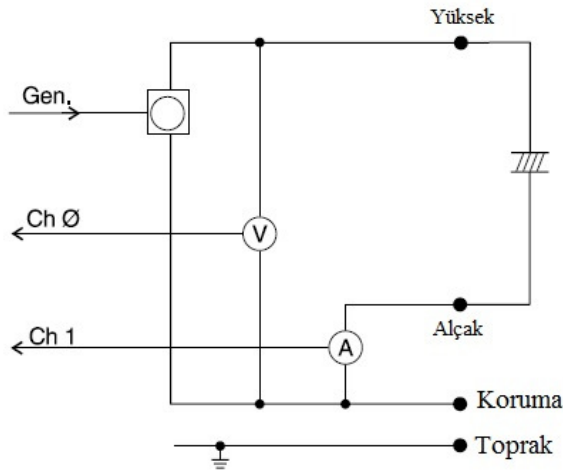


Şekil 7.5: Yeni bir kablo ve yaşlı kablo ölçümlerinden elde edilen sonuçlar[37].

7.5 Şartnameler

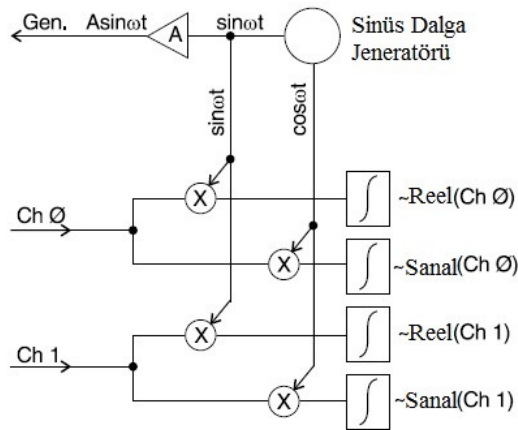
7.5.1 Teknik açıklama

Sistem, değişken gerilim ve frekanslı bir numunenin empedansını ölçer. Bir dijital sinyal işleme (DSP) birimi, istenen frekansta bir test sinyali üretir. Bu sinyal bir dahili amplifikatör tarafından amplifiye edilir ve daha sonra numuneye uygulanır. Gerilim ve akım bir gerilim bölücü ve bir ampermetre kullanılarak ölçülür. Şekil 7.6 'da IDA 200'ün şematik blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 7.6: IDA 200'ün şematik blok diyagramı[37].

Ölçüm girişi için, IDA 200, giriş (ölçüm) sinyallerini referans sinüs gerilimleriyle çarpan ve sonuçları bir dizi döngüde birleştiren DSP ünitesini kullanır. Bu yöntemi kullanarak, gürültü neredeyse tamamen filtrelenir. Böylece, IDA 200 düşük gerilim seviyelerinde yüksek verimlilikle çalışır. Şekil 7.7'de sinüs korelasyon tekniği prensibi gösterilmektedir.



Şekil 7.7: Sinüs korelasyon tekniği prensibi[37].

7.5.2 Genel

Açıklama: Taşınabilir, bilgisayarlı yalıtım tanılama sistemi

Tasarım: Enstrüman, yüksek gerilim trafoları ve endüstriyel ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Ölçüm: Değişken frekansta yalıtım malzemelerindeki kapasite ve dielektrik kayıpları

Uygulama: Önleyici bakım - elektriksel yalıtımın teşhis ölçümleri,

- Güç transformatörleri • Burçlar
- Cihaz trafoları • Kablolar

7.5.2.1 Ölçüm sinyali

Gerilim / akım: 0 - 10 V tepe / 0 - 50 mA tepe (düşük aralık)

Gerilim / akım: 0 - 200 V tepe / 0 - 50 mA tepe (yüksek aralık)

Frekans: 1000 Hz * - 0.0001 Hz

* Üst frekans akımı sınırlı

7.5.2.2 Ölçüm aralıkları

Kapasite: Aralık 10 pF - 100 mF

Yayımlı faktörü: Aralık 0 - 10

7.5.2.3 İnsan makine iletişimi

IDA 200, entegre bir PC ve tescilli IDA 200 içerir.

Windows® gömülü NT platformuna dayalı uygulama yazılımı.

Ekran: 16 cm (6,4 inç) TFT Renkli Monitör

Fare / Klavye: Standart aksesuar olarak dahil

Disket Sürücü: 1.44 MB

USB bağlantı noktası: Harici klavye için

Ethernet

Seri port: RS232

Paralel port

Analog video bağlantı noktası: SVGA

Şekil 7.8’de IDA 200 gösterilmiştir.



Şekil 7.8: IDA 200 gösterimi[37].

1-Ana anahtar / göstergesi

2-Ethernet arayüzü

3-USB girişi

4-Entegre PC için bilgisayar ekranı

5-İsteğe bağlı harici gerilim yükselticisini bağlamak için uç

6-Ölçüm durumu göstergesi

7-Teşhis edilecek numunenin bağlanması için uç (Gerilim çıkışı / ölçüm girişi)

8-Çıktı düğmeleri(Açık / Kapalı)

9-Floppy disk sürücüsü (1,44 MB)[37].



8. DENEY SONUÇLARI VE ÇİZİMLER

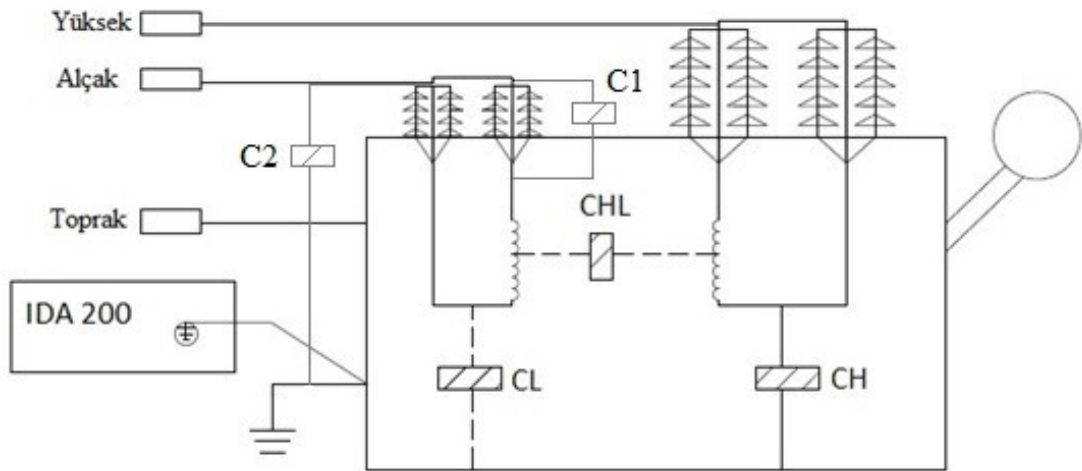
Bu çalışma model transformatör IDA 200 kullanılarak analiz edilmiştir. Model transformatör “Pancake model transformatör” olarak adlandırılır. Model transformatör sekiz tane bobin şeklinde kanallardan oluşmaktadır.

Bariyerler ve tutucuların yağa oranı, çizelge 8.1’de açıklandığı gibi % 15 ila % 100 arasında değişmiştir. Bu, farklı transformatörlerin yalıtımını simüle eder.

Çizelge 8.1: Pancake transformatörünün ara parçalarının yağ oranı.

Bağlantı	Yağ/Bariyer	Yağ/Tutucu
CH-B	83/17	85/15
DG-CH	72/28	72/28
E-DG	50/50	45/55
F-E	0/100	0/100

Dielektrik kayıp faktörü $\tan \delta$ ölçülürken, transformatör tankı ve sargıları doğal kapasite olarak değerlendirilir. Örneğimizde olduğu gibi iki sargılı transformatörde, sargılarla tank arasında ve sargılar arasında olmak üzere üç kondansatör vardır. Bu çalışmada kullanılan 25 MVA üç fazlı ve 110/20 kV'luk iki sargılı transformatör, Şekil 8.1’de gösterilmiştir.



Şekil 8.1: İki sargılı güç trafosunun kapasitelerinin gösterimi[38].

Burada;

CL= Alçak gerilim sargıları ile trafo tankı arasındaki kapasite değeri

CH= Yüksek gerilim sargıları ile trafo tankı arasındaki kapasite değeri

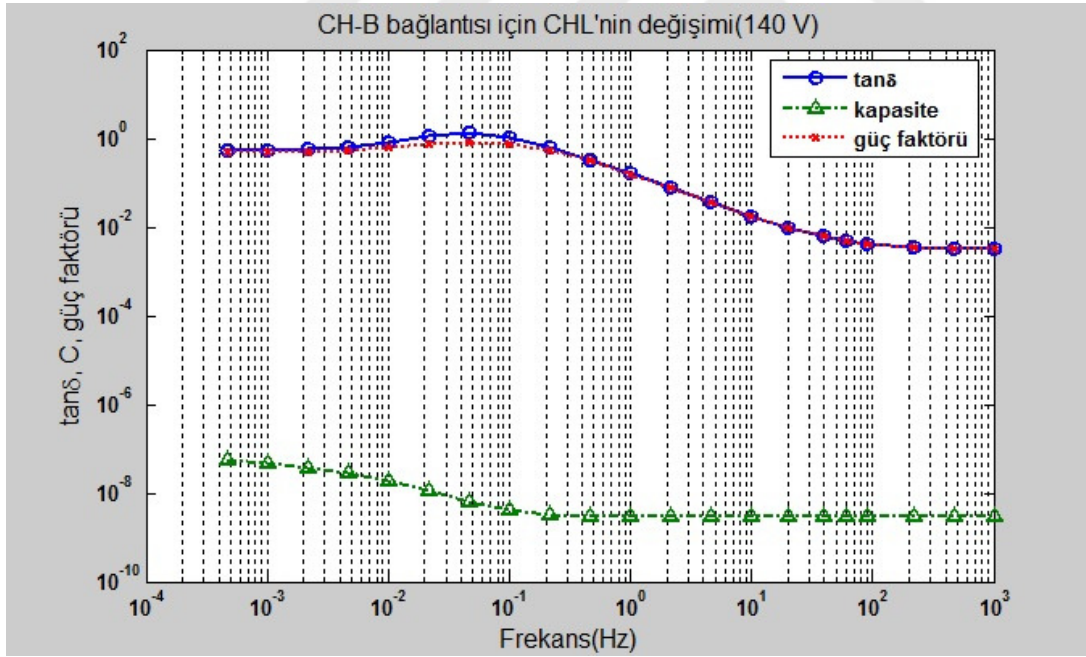
CHL=Trafo sargıları arası kapasite değeri

CHL+CH= Yüksek gerilim sargıları ile trafo tankı sargıları arasındaki toplam kapasite değeri

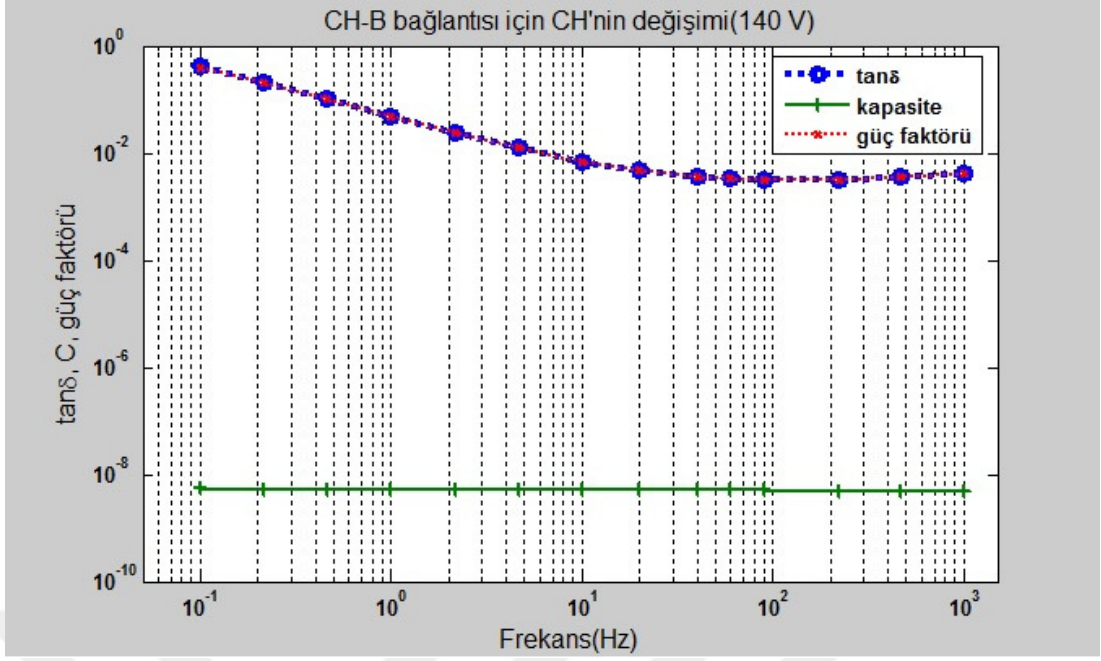
CH+CL= Yüksek gerilim ve alçak gerilim sargıları ile tank arasındaki toplam kapasite değeri

CHL+CL= Alçak gerilim sargıları ile trafo tankı sargıları arasındaki toplam kapasite değeri[38].

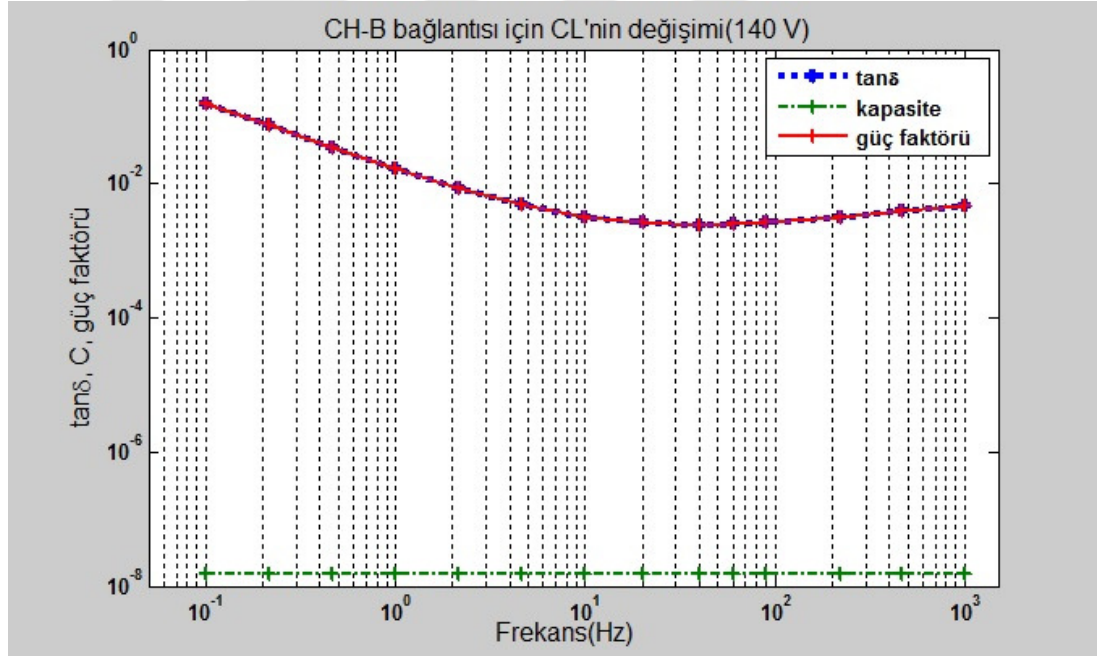
Aşağıdaki şekillerde, CHL, CH ve CL için pancake transformatörünün CH-B, DG-CH, E-DG ve F-E bağlantılarının güç faktörü, kayıp faktörü $\tan \delta$ ve kapasite eğrileri gösterilmiştir.



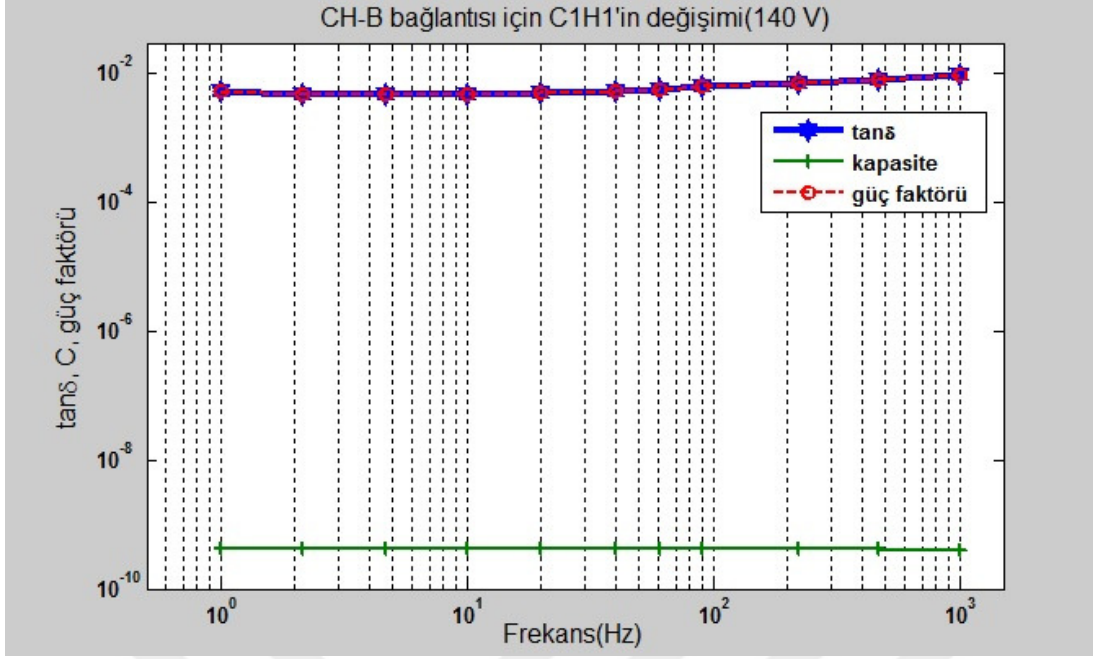
Şekil 8.2: CH-B bağlantısı için CHL'nin değişimi.



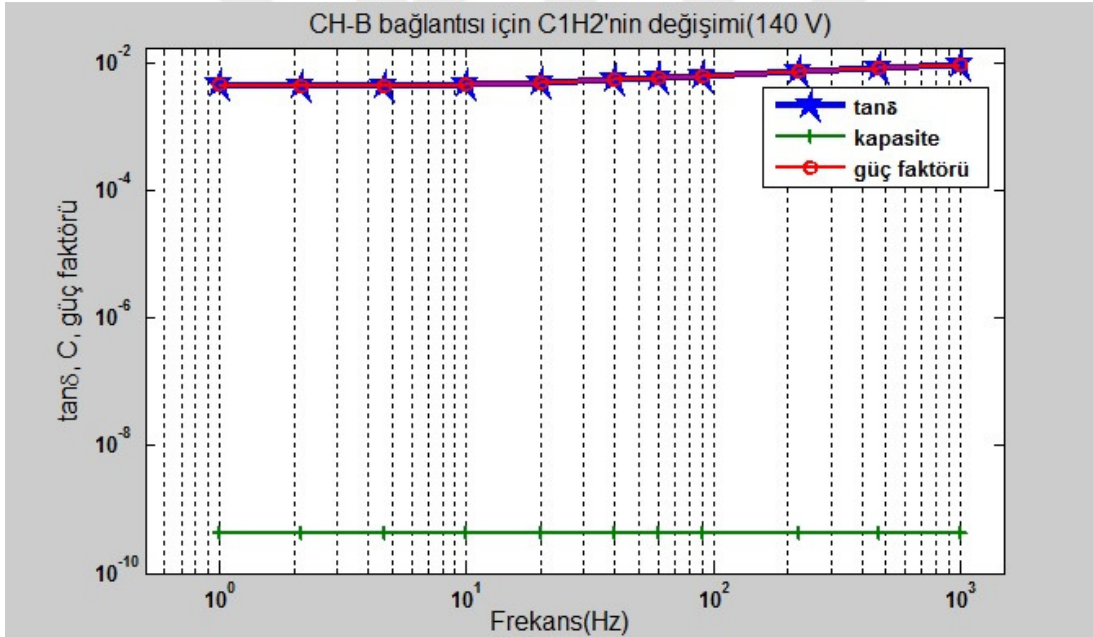
Şekil 8.3: CH-B bağlantısı için CH'nin değişimi.



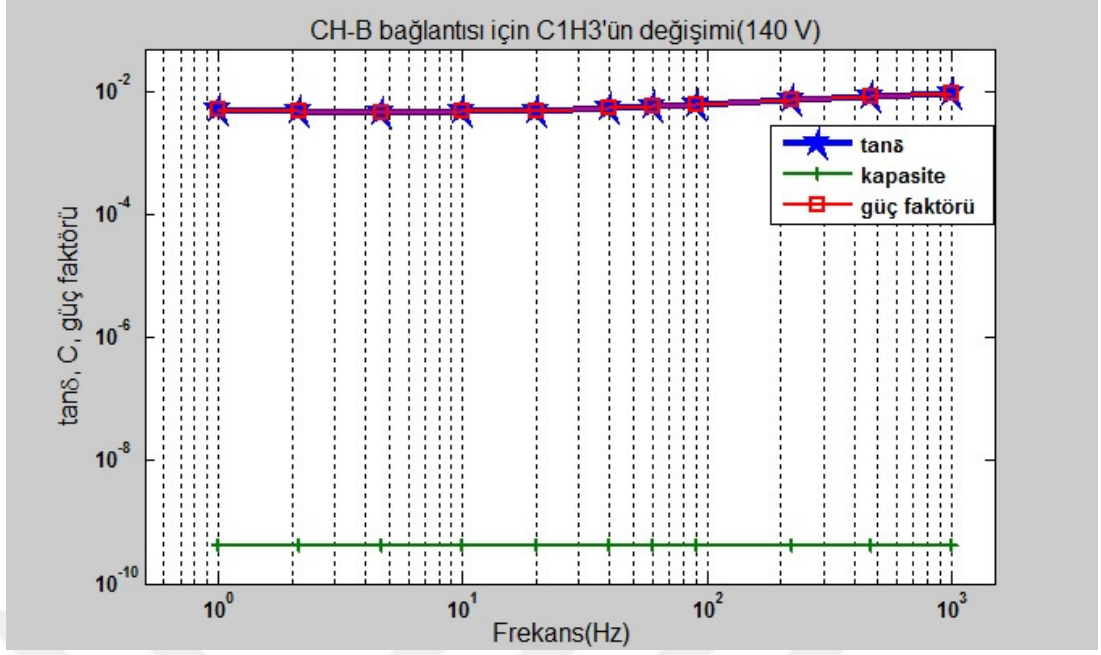
Şekil 8.4: CH-B bağlantısı için CL'nin değişimi.



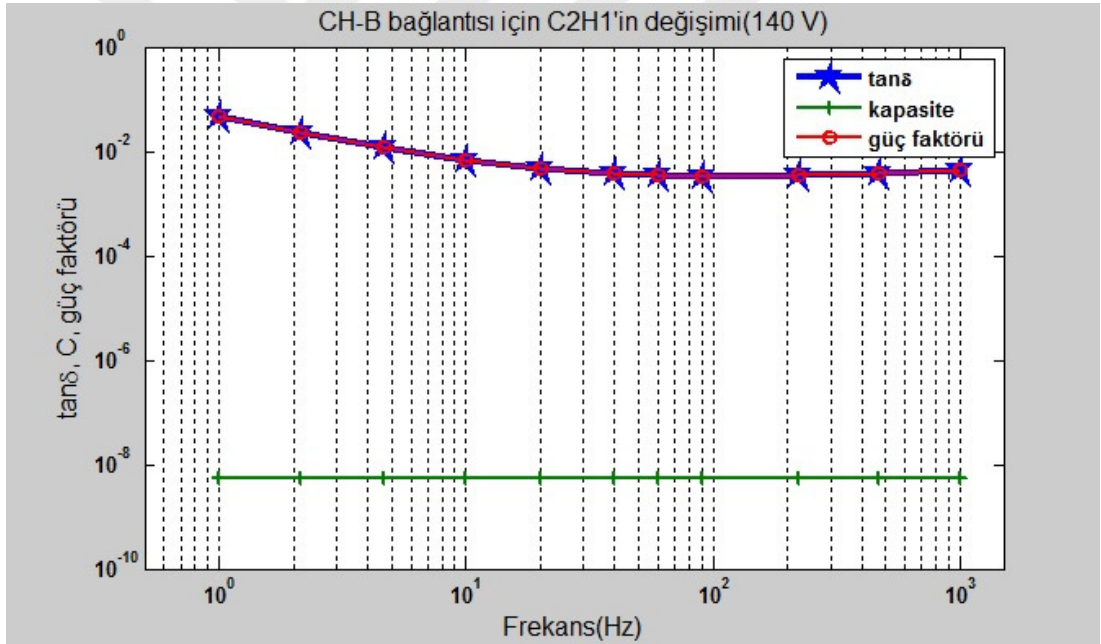
Şekil 8.5: CH-B bağlantısı için C1H1'in değişimi.



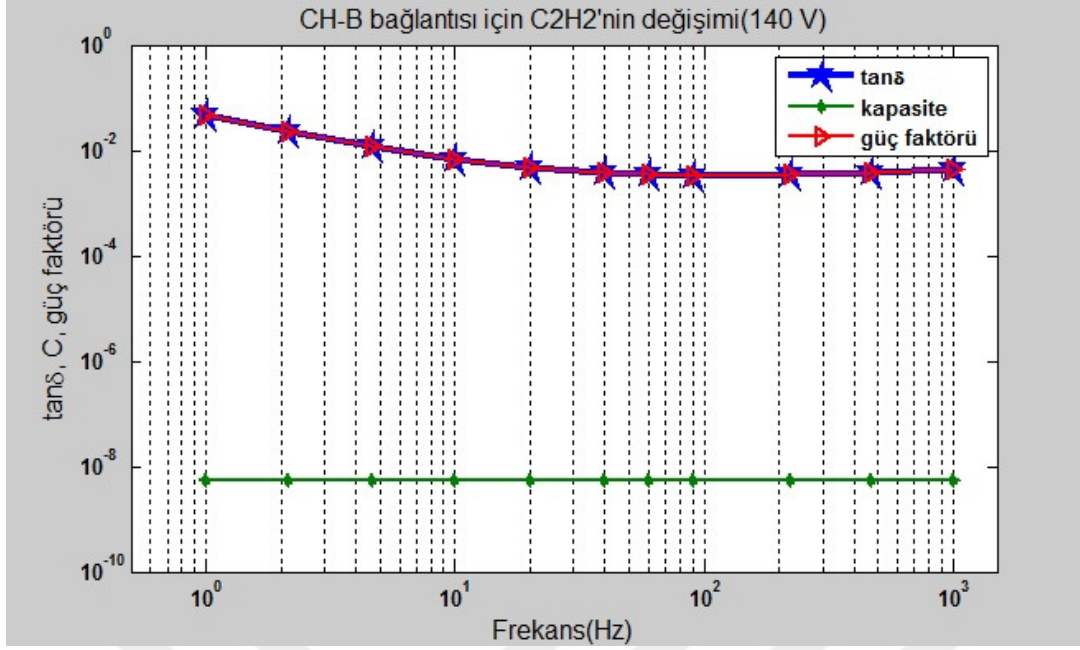
Şekil 8.6: CH-B bağlantısı için C1H2'nin değişimi.



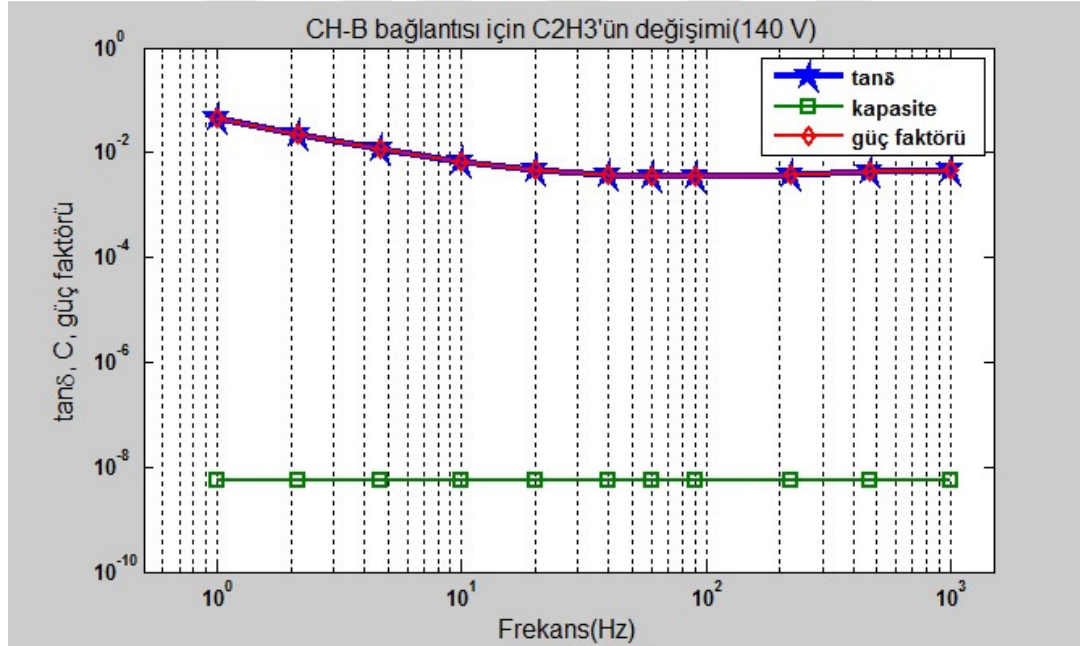
Şekil 8.7: CH-B bağlantısı için C1H3'ün değişimi.



Şekil 8.8: CH-B bağlantısı için C2H1'in değişimi.



Şekil 8.9: CH-B bağlantısı için C2H2'nin değişimi.



Şekil 8.10: CH-B bağlantısı için C2H3'ün değişimi.

Ölçüm sonuçlarına göre, pancake transformatörünün CH-B bağlantısı için kayıp faktörü, güç faktörü ve kapasitesi şekil 8.5'de gösterildiği gibi C1 varyasyonunda elde edilmiştir. C1 kapasite değeri, transformatörün ana yalıtımı olarak değerlendirilmektedir. Şekil 8.8'de CH-B bağlantısı için kayıp faktörü, güç faktörü ve kapasitesi C2 varyasyonunda elde edilmiştir. C2 kapasite değeri, trafo ile toprak arasındaki kapasite olarak değerlendirilmektedir. Şekil 8.2, 8.3 ve 8.4'den de görüldüğü gibi, kayıp faktörü ve güç faktörü değerleri düşük frekanslarda yüksektir.

Frekans değerleri arttıkça, kayıp faktörü ve güç faktörü de azalır. Şekil 8.3 ve 8.4'de kapasite değerleri değişmemiştir, ancak şekil 8.2'de düşük frekanslarda kapasite değerleri biraz daha yüksektir. CH, CL, CHL, C1 ve C2'nin kayıp faktörü ve kapasitesi, çizelge 8.2'de 60 Hz frekans için gösterilmiştir. CHL'nin kayıp faktörü ve güç faktörü, düşük frekans aralıkları için CL ve CH' den daha yüksektir. H1C1 kayıp faktörü H1C2'nin kayıp faktöründen daha yüksek olduğu görülmektedir. H1C2'nin kapasite değeri H1C1'in kapasite değerinden daha yüksektir.

Çizelge 8.2: 60 Hz frekansda model transformatörün CH-B bağlantılarının kayıp faktörü ve kapasite değerleri.

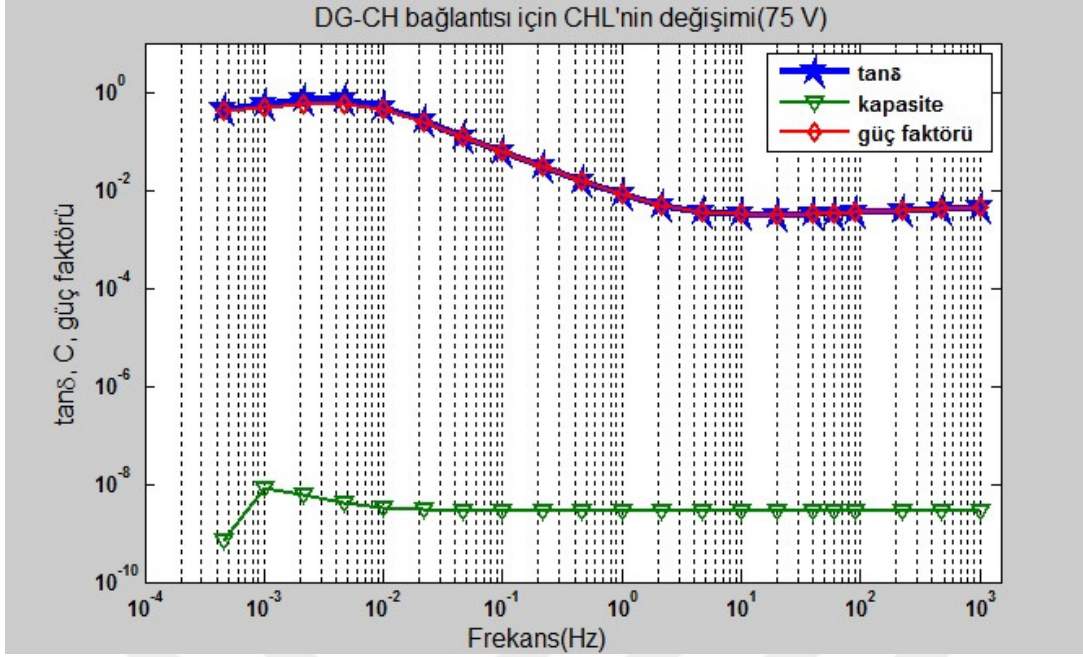
Sargı Yeri	Tan δ	Kapasite(pF)
CH	0.3428	4951
CHL	0.2589	6984
CL	0.248	1.51E+07
H1C1	0.5637	411.6
H2C1	0.5555	418.7
H3C1	0.5623	411.9
H1C2	0.3604	5388
H2C2	0.3604	5388
H3C2	0.3716	5441

Çizelge 8.3'de 100 V, 60 Hz frekansda CHL'nin farklı bağlantılarının tan δ , C,C',C'' ve güç faktörü değerleri gösterilmiştir.

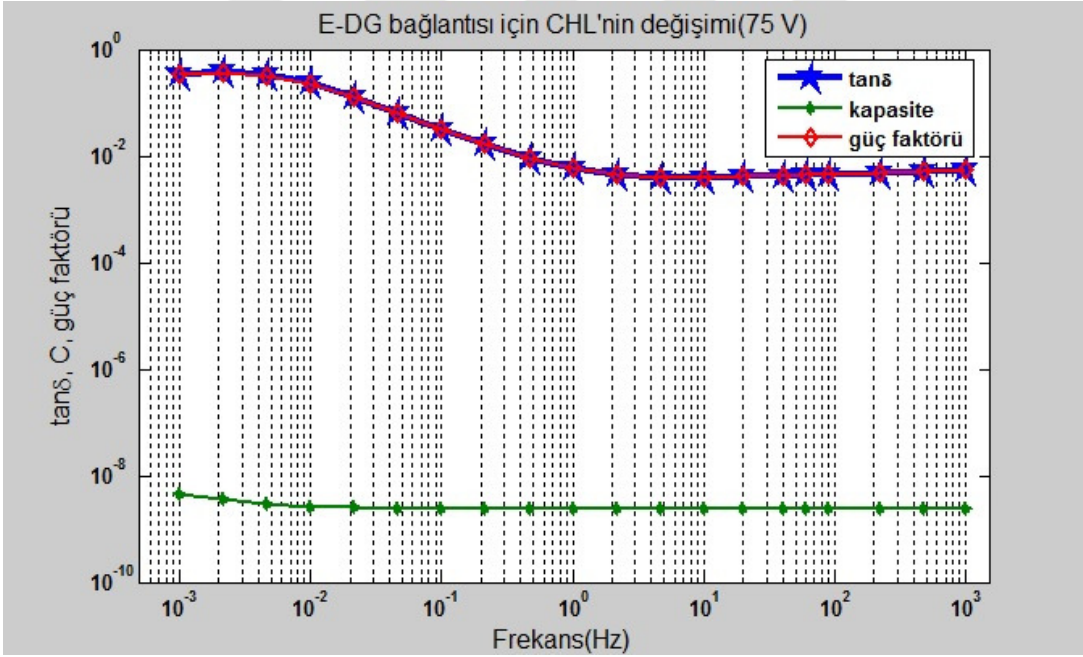
Çizelge 8.3: 100 V, 60 Hz frekans da CHL'nin farklı bağlantılarının kayıp faktörü, C,C',C'' ve güç faktörü değerleri.

Bağlantı şekli	Güç faktörü	Tan δ	Kapasite(F)	C'(F)	C''
DG-CH	0.0053475	0.0053476	2.8319E-9	2.8319E-9	1.5138E-11
E-DG	0.005547	0.0055471	2.4056E-9	2.4056E-9	1.3344E-11
F-E	0.0044074	0.0044075	4.8008E-9	4.8008E-9	2.1159E-11

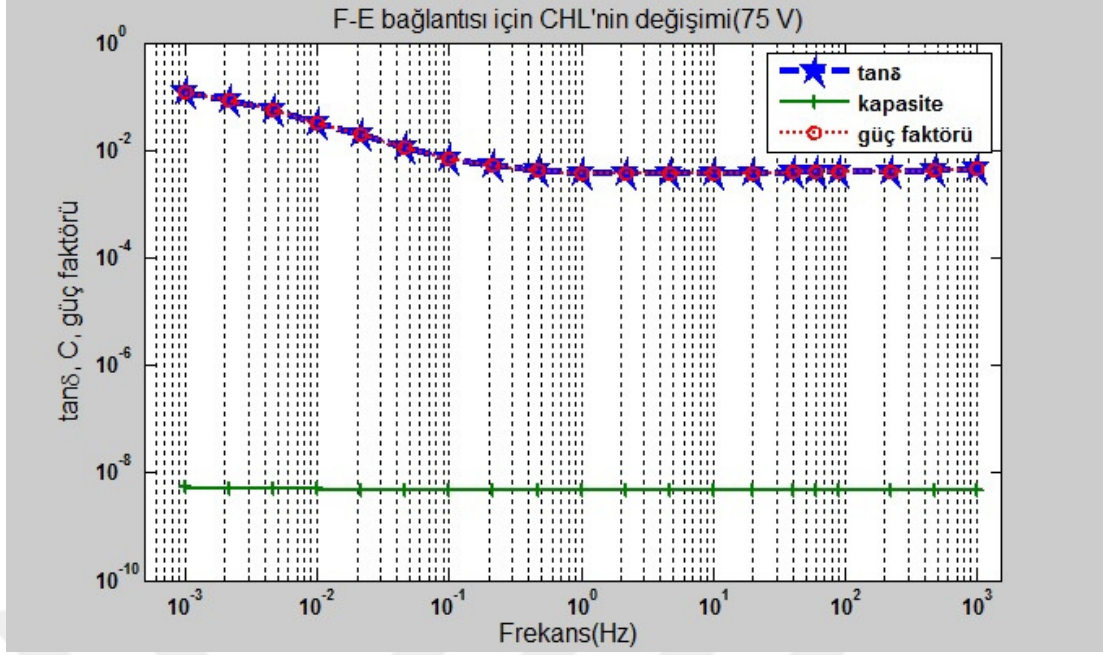
Model transformatörü, çizelge 8.1'de gösterildiği gibi farklı yağ oranına sahiptir. CH-B bağlantıları, en büyük yağ miktarına sahipken, F-E bağlantıları hiç yağ miktarına sahip değildir. Bununla birlikte, DG-CH ve E-DG bağlantıları ise çizelge 8.1 de görüldüğü gibi ara seviye yağ oranlarına sahiptir. Karşılaştırma amacıyla DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için ek analiz şekil 8.11, şekil 8.12 ve şekil 8.13'de görülmektedir.



Şekil 8.11: DG-CH bağlantısı için CHL'nin değişimi.



Şekil 8.12: E-DG bağlantısı için CHL'nin değişimi.



Şekil 8.13: F-E bağlantısı için CHL'nin değişimi.

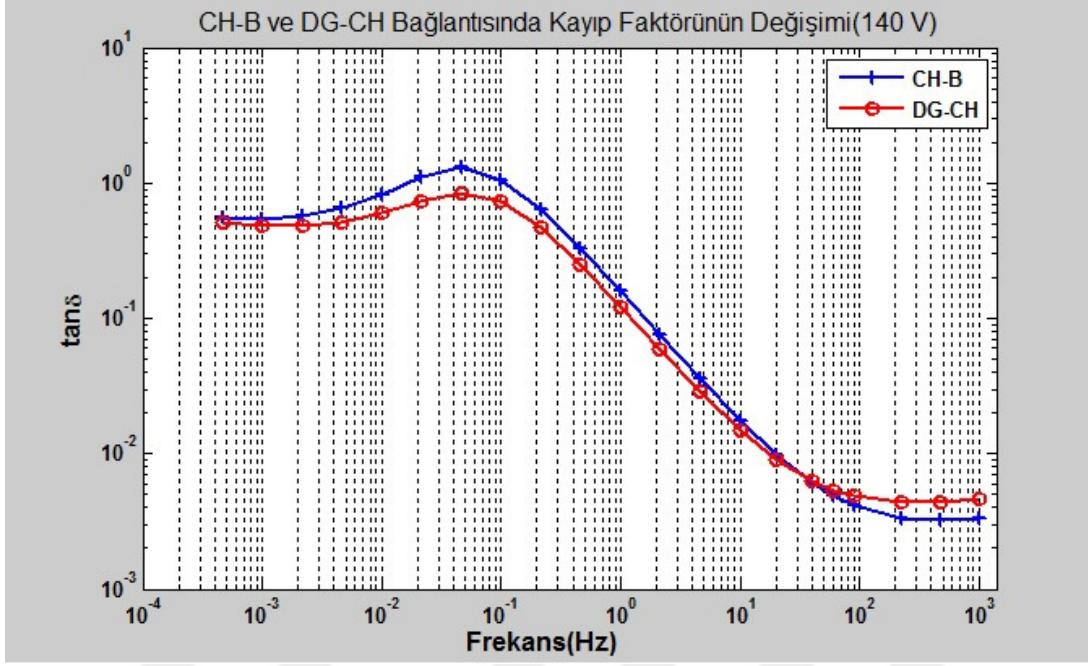
F-E bağlantılarının kayıp faktörü ve güç faktörü varyasyonları CH-B bağlantılarından daha küçüktür. Bu durum, yağ eksikliğinden dolayı daha az kayıp olduğu gerçeğiyle açıklanabilir.

Çizelge 8.4'de bağlantı şekillerinin 75V, 60Hz frekansda kapasite ve kayıp faktörü değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 8.4: 75 V, 60 Hz'de model transformatörün DG-CH, ED-G ve F-E bağlantılarının kayıp faktörü ve kapasite değerleri.

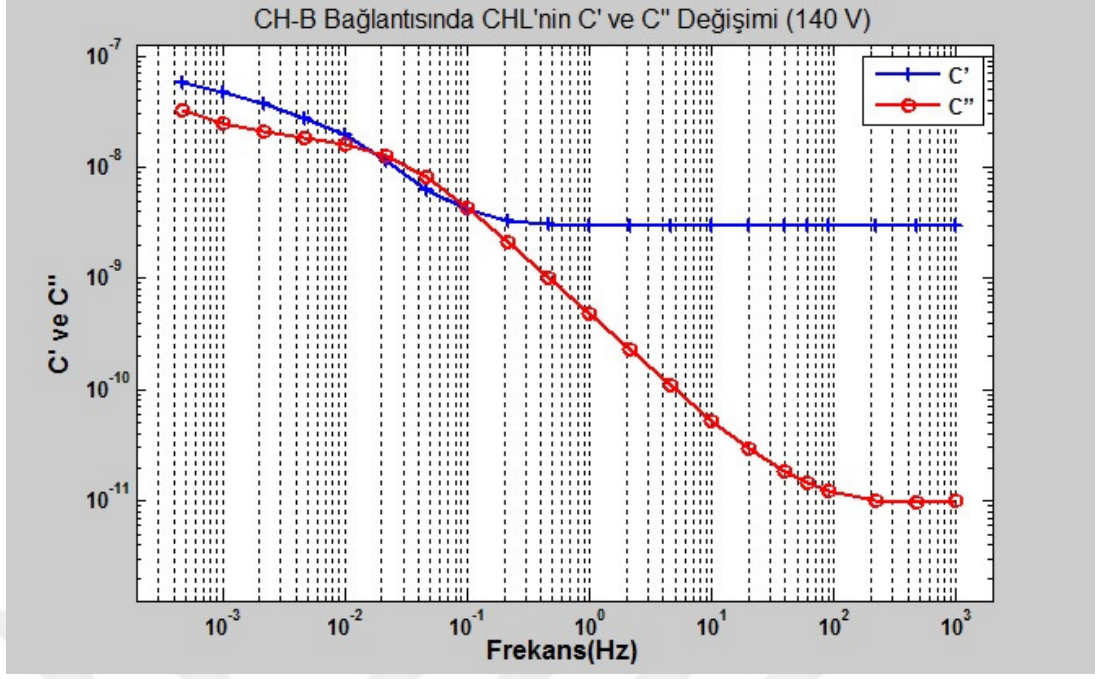
Bağlantı şekli	Sargı Yeri	Tan δ	Kapasite
DG-CH	CHL	0.0033837	2.8088E-9
E-DG	CHL	0.0044315	2.3753E-9
F-E	CHL	0.0039139	4.785E-9

Şekil 8.14'de yüksek frekansda CH-B'de kayıp faktörü daha düşük olmasına rağmen 10^{-3} -10 Hz aralığında daha yüksek konuma gelmiştir. Bu durum yağ oranının yüksek olmasıyla açıklanabilir. En düşük frekansda kayıp faktörleri eşit gözükmemektedir.

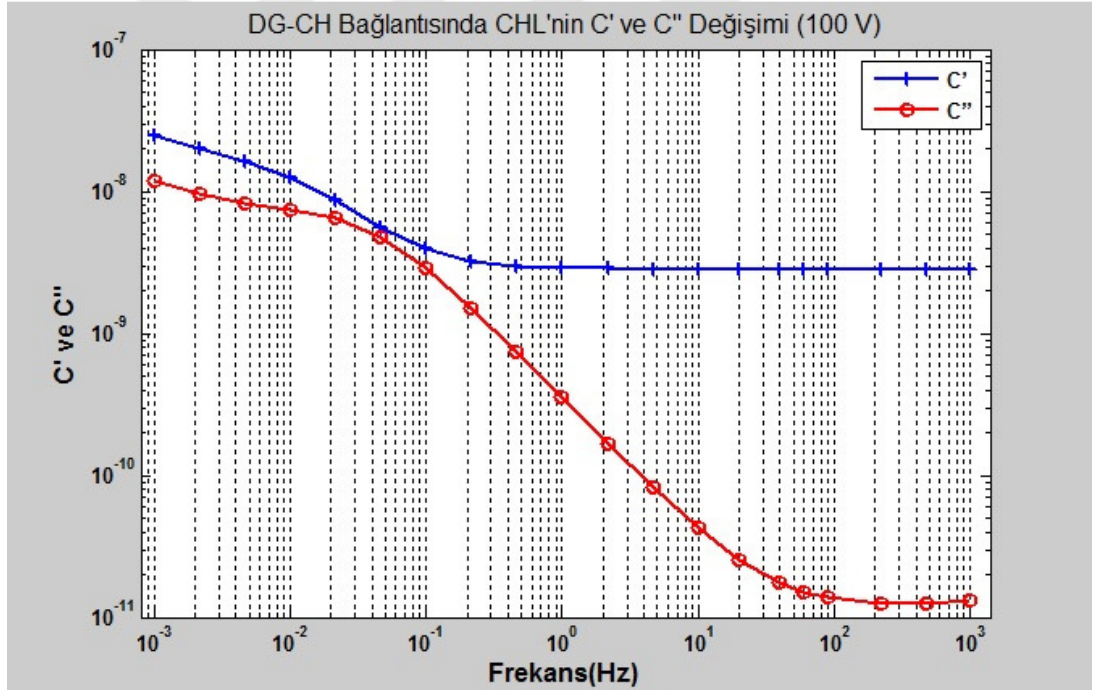


Şekil 8.14:CH-B ve DG-CH bağlantısı için CHL’de kayıp faktörünün değişimi(140 V).

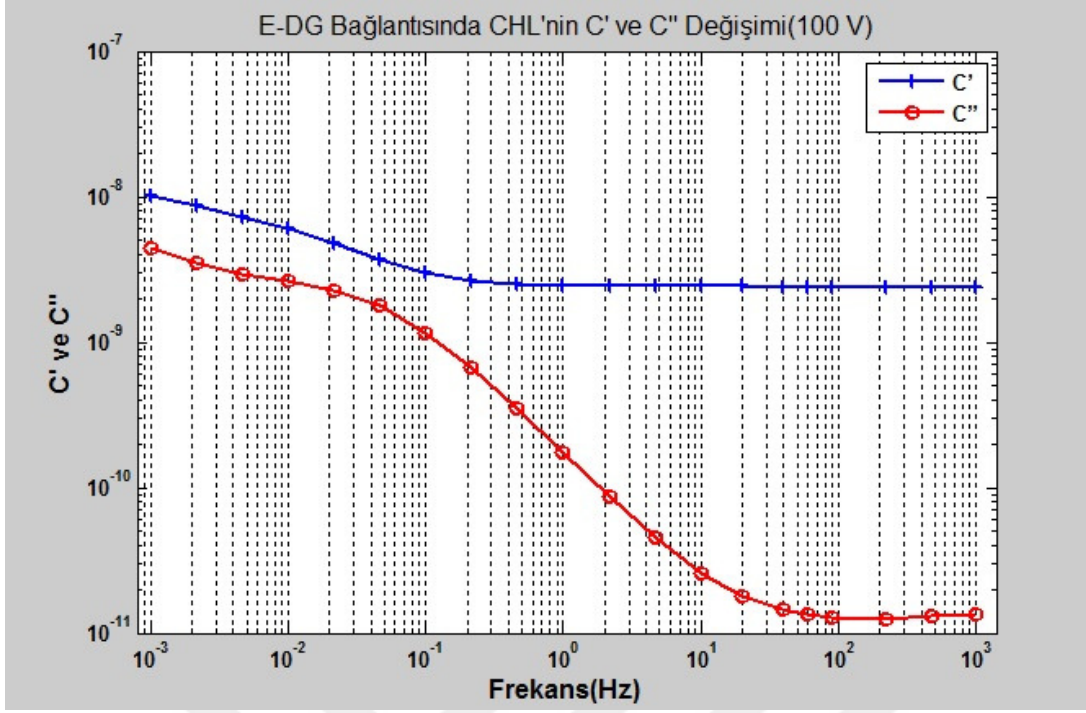
Şekil 8.15 ve 8.16, 8.17 ve 8.18’de CH-B, DG-CH, E-DG ve F-E bağlantılarında CH-B 140 V, DG-CH, E-DG ve F-E bağlantısında 100 V olmak üzere C’(reel) ve C’’(sanal) kapasite grafikleri gösterilmiştir. En yüksek frekansa her iki kapasite değeri de en düşük seviyede gözükmektedir. En düşük frekansa ise her iki kapasite değeri de en yüksek seviyede gözükmektedir. Uygulanan gerilimler farklı olmasına rağmen eğriler birbirine benzerlik göstermektedir. Grafiklere bakıldığında F-E eğrilerinin diğer üç duruma nazaran kayıp faktörlerinin daha az olduğu gözükmektedir. Bu durum F-E bağlantısının yağ içeriğinin az olmasıyla açıklanabilir.



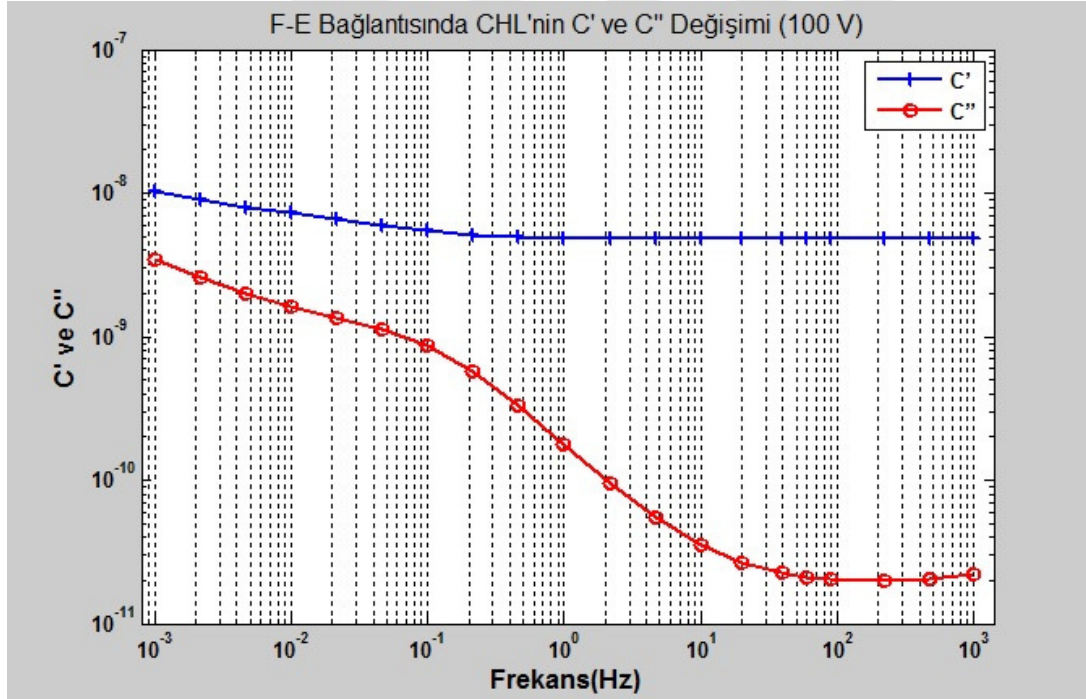
Şekil 8.15: CH-B bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (140 V).



Şekil 8.16: DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (100 V).

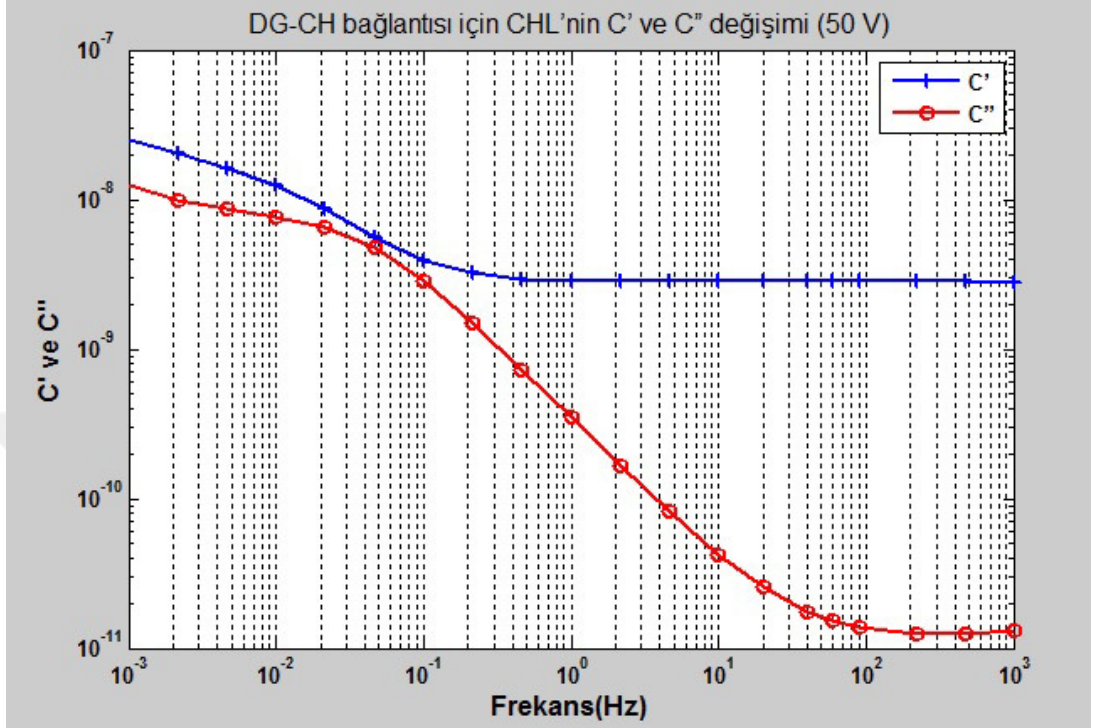


Şekil 8.17: E-DG bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (100 V).

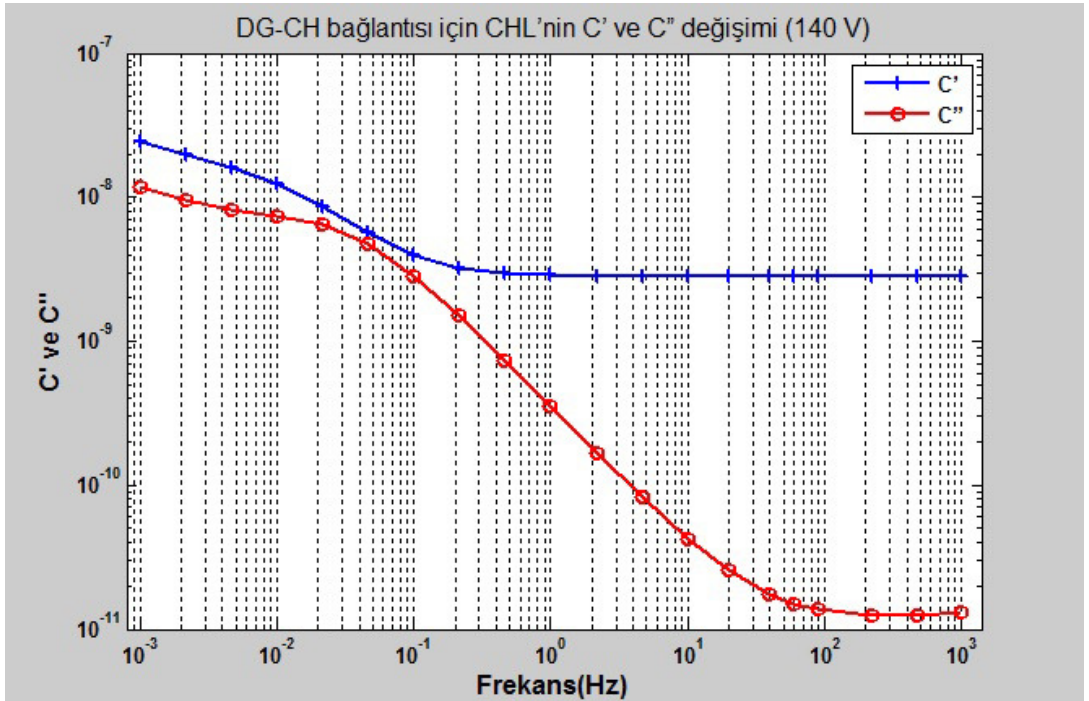


Şekil 8.18: F-E bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (100 V).

Şekil 8.19 ve 8.20’de DG-CH bağlantısı için sırasıyla 50 V ve 140 V’da C' ve C'' değişimi verilmiştir. Grafiklerin birbirlerine çok benzer oldukları gözükmektedir. Her ikisinde de en yüksek C' ve C'' değerleri en düşük frekansda gözükmektedir.

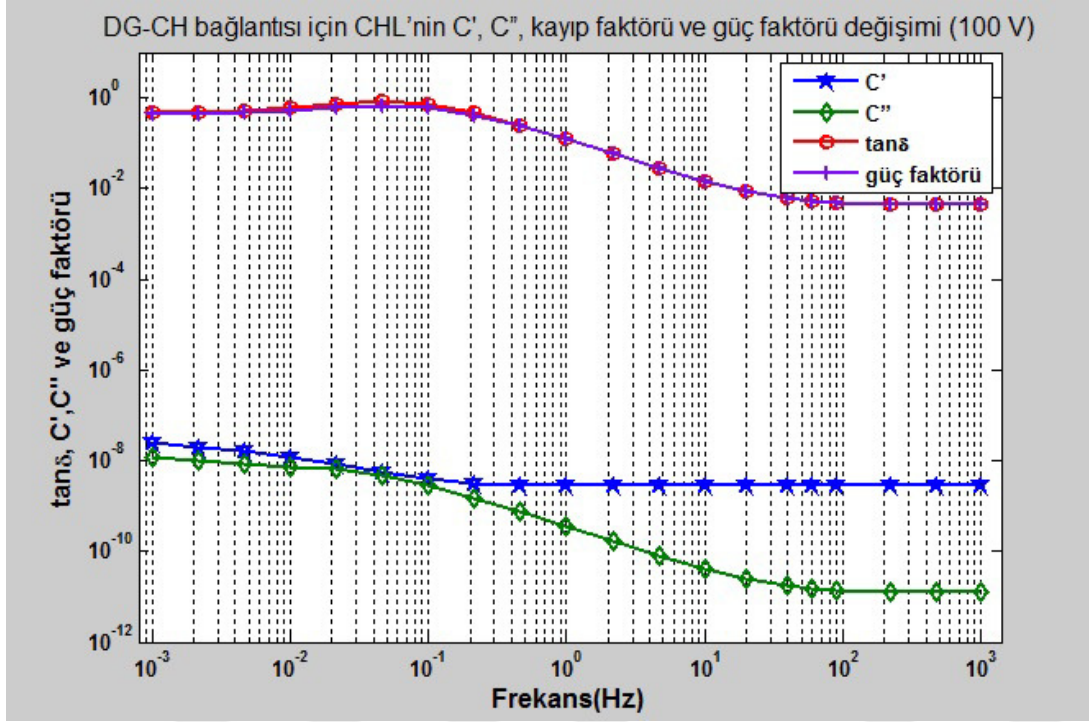


Şekil 8.19: DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (50 V).



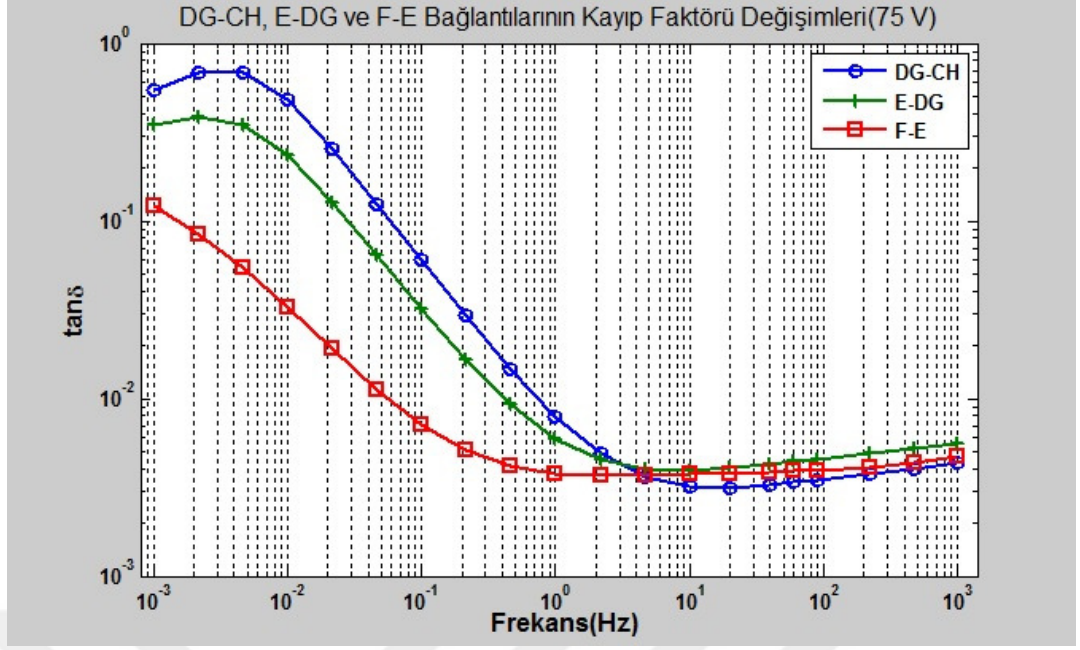
Şekil 8.20: DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' ve C'' değişimi (140 V).

Şekil 8.21’de DG-CH bağlantısı için 100 V’da CHL’nin C' , C'' , kayıp faktörü ve güç faktörü değişimi gösterilmiştir. $\tan \delta$ ve güç faktörü değerlerinin neredeyse tüm frekans boyunca tamamen benzer olduğu gözükmektedir. C' ve C'' değerleri en düşük frekansa maksimum, en yüksek frekansa minimumdur.

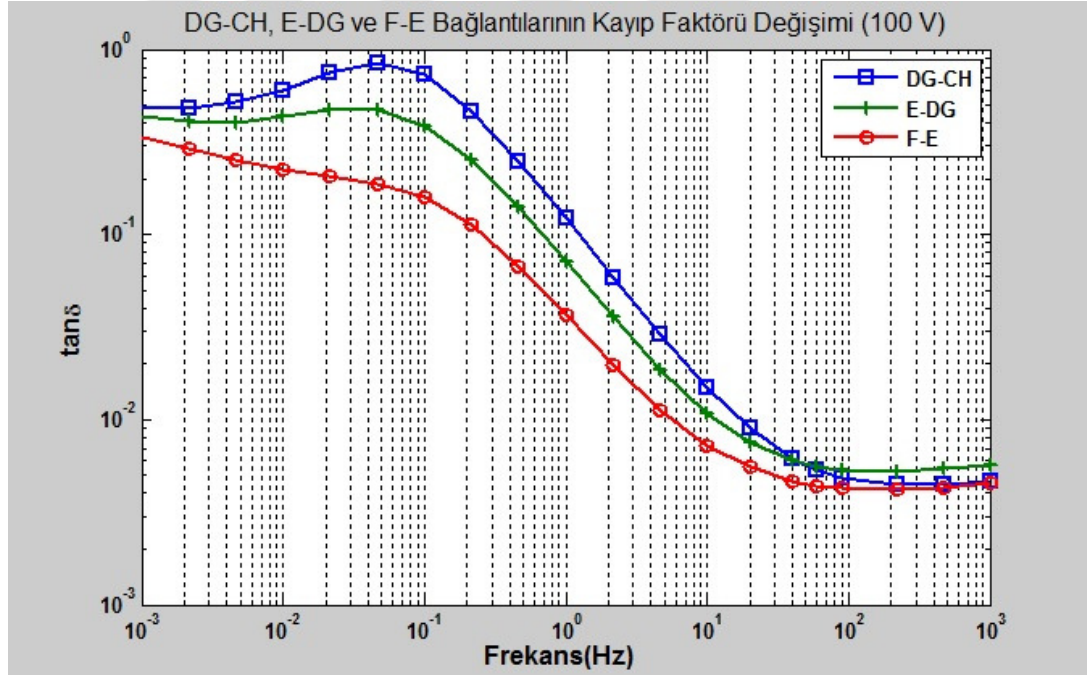


Şekil 8.21: DG-CH bağlantısı için CHL'nin C' , C'' , kayıp faktörü ve güç faktörü değişimi (100 V).

Şekil 8.22 ve 8.23'e bakıldığında her iki durumda da kayıp faktörü en az değerinin yüksek frekansa, en çok değerinin düşük frekansa olduğu gözükmektedir (bağlantı grupları ayrı ayrı değerlendirilmelidir). Yağ oranlarının kayıp faktörü değerlerini etkiledikleri açıkça gözükmektedir. Uygulanan gerilimler farklı olmasına rağmen eğrilerin birbirine benzer şekilde olması gözden kaçmamalıdır.



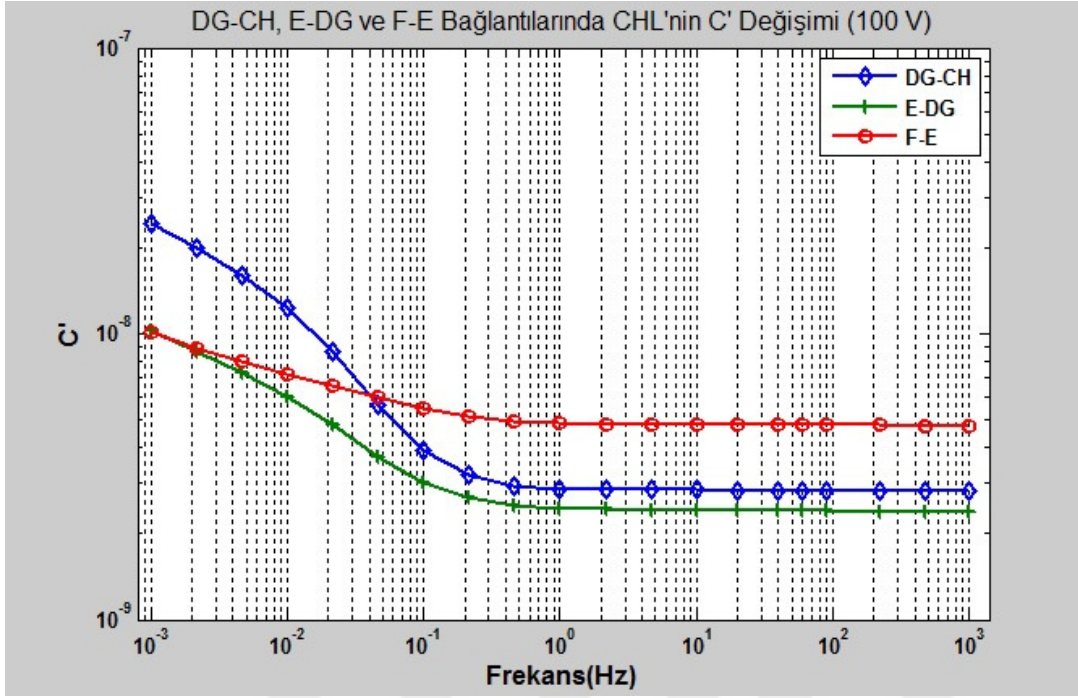
Şekil 8.22: DG-CH, ED-G ve F-E bağlantıları için CHL’de kayıp faktörünün değişimi(75 V).



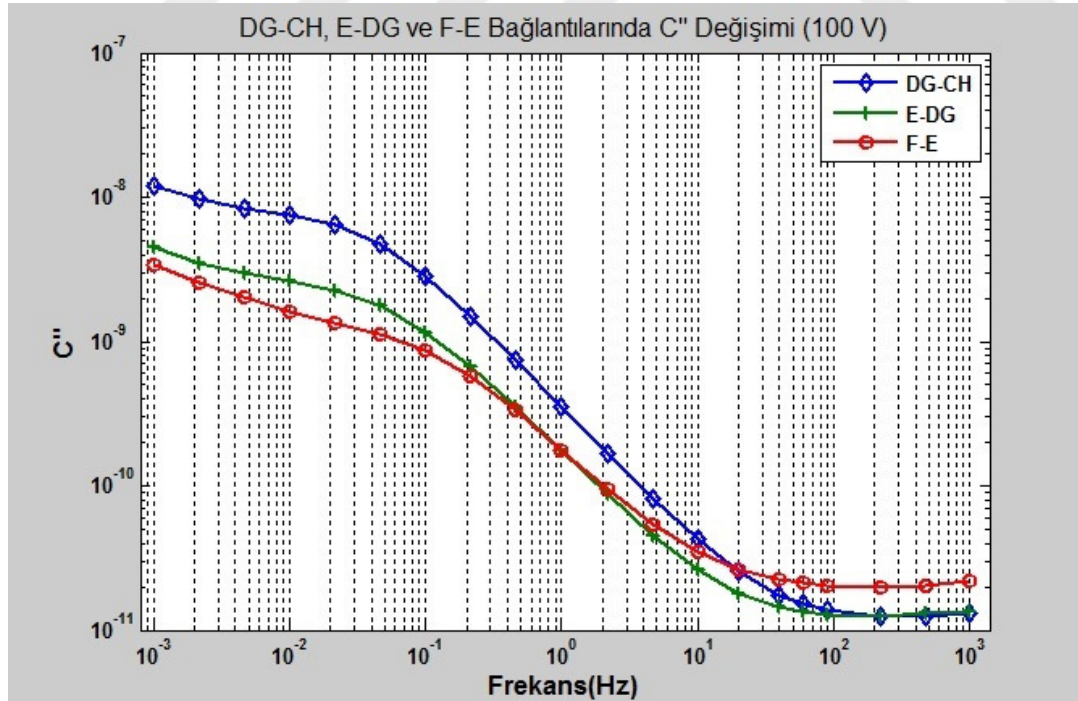
Şekil 8.23: DG-CH, ED-G ve F-E bağlantıları için CHL’de kayıp faktörünün değişimi(100 V).

Şekil 8.24 ve 8.25’de farklı bağlantı gruplarının reel(gerçek)kapasite C' ve imajiner(sanal) kapasite C'' eğrileri gösterilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi en düşük imajiner kapasite değeri en yüksek frekansda, en yüksek imajiner kapasite değeri ise en düşük frekansdadır. F-E bağlantısı en düşük, DG-CH bağlantısı ise en yüksek imajiner(sanal) kapasite değerine sahiptir Reel kapasite eğrileri belli frekansa kadar

eşittir. Frekans değeri daha da küçüldükçe reel kapasite değeri artmaktadır. E-DG ve F-E bağlantısının reel kapasite değerinin eşit, DG-CH bağlantısının reel kapasite değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8.24: DG-CH, ED-G ve F-E bağlantıları için CHL’de C’ değışımi(100 V).



Şekil 8.25: DG-CH, ED-G ve F-E bağlantıları için CHL’de C’’ değışımi(100 V).

8.1 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, model transformatörün CH-B tipi bağlantısı için CHL, CH, CL, C1H1, C1H2, C1H3, C2H1, C2H2 ve C2H3'ün dağılımı, kayıp faktörü ve kapasite değerleri verilmiştir. Ayrıca DG-CH, E-DG ve F-E bağlantıları için CH-L'nin dağılımı, kayıp faktörü ve kapasite değerleri de verilmiştir. Tüm bağlantı şekillerinde CHL ve CH-B bağlantısı için CHL, CH, CL, C1H1, C1H2, C1H3, C2H1, C2H2 ve C2H3'ün kayıp faktörü ve güç faktörü eğrilerinde yüksek frekans aralığında birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur. Ancak, düşük frekanslardaki bu değerler biraz daha farklılık göstermektedir. Dolayısıyla düşük frekansda kayıp faktörü, güç faktörü ve kapasite değerleri bizim için daha belirleyicidir. CH-B modunda 0.1 Hz'lik bir frekans için CHL'nin kayıp faktörü, CH'ninkinden yaklaşık 2.5 kat daha büyüktür ve CL'ninkinden yaklaşık 7 kat daha büyüktür. 60 Hz frekansında, CHL'nin kayıp faktörü CH'ninkinden yaklaşık 1.5 kat daha yüksek ve CL'ninkinden yaklaşık 2 kat daha yüksektir. 1000 Hz frekansda, oranlar oldukça değişkendir. CH-L de 0.1 Hz frekans için DG-CH bağlantısının kayıp faktörü, E-DG bağlantısının kayıp faktörünün yaklaşık 2 katı iken, F-E bağlantısının kayıp faktörünün yaklaşık 9 katıdır. 60 Hz de ise kayıp faktörü değerleri birbirlerine çok yakın değerler olmakla birlikte en büyük E-DG bağlantısında, en küçük ise DG-CH bağlantısında olduğu görülmektedir. Kayıp faktörü 0.05 Hz frekansda en yüksek değerine sahip iken, bundan daha düşük frekanslarda daha küçük değerlerdedir. CL ve CH'nin kayıp faktörü birbirine yakınken, CHL'nin kayıp faktörü CL ve CH'den yaklaşık 1.5 kat daha küçüktür. 0.1 Hz'de DG-CH bağlantısının kayıp faktörü E-DG bağlantısının kayıp faktörünün yaklaşık 2 katı, F-E bağlantısının kayıp faktörünün ise yaklaşık 5 katı büyüklüğündedir.(bu yağ oranının F-E'de en az, DG-CH da en çok olmasıyla açıklanabilir.) Reel (gerçek) kapasiteler birbirlerine yakın değerler olmalarına rağmen DG-CH bağlantısının reel(gerçek) kapasite değeri en az, F-E bağlantısının reel (gerçek)kapasite değeri ise en çoktur. İmajiner(sanal) kapasitelerde ise DG-CH bağlantısının en yüksek, F-E bağlantısının en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. 60 Hz'de değerler birbirlerine çok yakın olmakla birlikte en yüksek kayıp faktörü değeri E-DG, en düşük kayıp faktörü değeri F-E bağlantısında görülmüştür. En yüksek reel(gerçek) kapasite değeri F-E bağlantısında, en düşük DG-CH bağlantısında görülmüştür. En yüksek imajiner(sanal) kapasite değeri DG-CH bağlantısında, en düşük ise F-E bağlantısında görülmektedir. 1000 Hz'de DG-CH ve

F-E bağlantılarının kayıp faktörleri neredeyse eşit, E-DG bağlantısının kayıp faktörünün diğer iki bağlantıdan yaklaşık $\frac{1}{4}$ oranında fazla olduğu görülmektedir. En yüksek reel(gerçek) kapasite değeri F-E bağlantısında, en düşük DG-CH bağlantısında görülmüştür. En yüksek imajiner(sanal) kapasite değeri F-E bağlantısında görülürken, en düşük değer ise DG-CH bağlantısında görülmektedir.

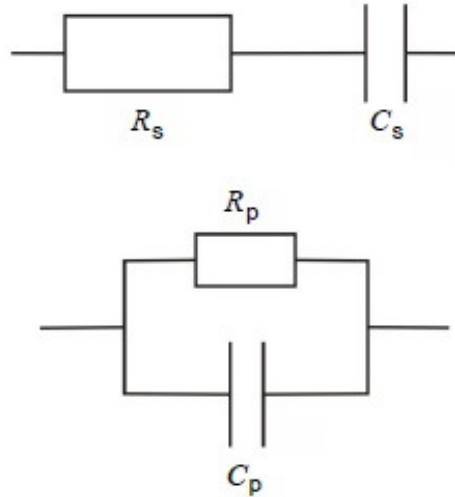
Günümüzde düşük frekanslarda iletim ve üretim, kayıpların düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Özellikle, diyagnostik testler 0.1 Hz gibi düşük frekanslarda yapıldığı için, düşük frekanslı deneylerin daha detaylı bir analizi gereklidir. Kapasite ve kayıp faktörü değişiklikleri bize hata tipi hakkında bilgi verir. Örneğin, kısa devre dönüşleri ve mıknatıslanmanın değiştirilmesi düşük frekans cevabında görülürken, orta frekans tepkisi, çember bükülmesine ve transformatörlerde eksenel hareket hatalarına duyarlıdır. Yüksek frekans cevabı sargıların özelliklerine ve topraklama sorunlarına hassastır. Bu nedenle, frekansa göre kapasite ve dağılım analizi, transformatörlerde arıza tespitinde çok önemlidir.

Frekans Alanı Spektroskopisi (FDS) tanı teknikleri, transformatörün şeklinden bağımsız olması ve diğer yalıtım ölçüm yöntemlerinden (PDC, RVM) daha az gürültülü olmasının yanı sıra, yüksek ve düşük gerilim arasındaki ölçümlerde dış faktörlerden en az etkilenen ölçüm yöntemi olması ile yağ-kağıt yalıtımının genel yaşlanma durumunu ve nem içeriğini göstermesi nedeniyle en avantajlı yalıtım durumu belirleme test yöntemi olduğu açıktır. Ancak dielektrik kayıp faktörü, cihazların normal çalışması ile güçlü elektromanyetik bozulma gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Gelecekte bu avantajların yanında son söylenen olumsuz durumun ortadan kaldırılmasıyla daha etkili bir yalıtım teşhis yöntemi geliştirilebilir.

9. IEC 60250

Tan δ , aynı zamanda kayıp tanjantı olarak ya da kayıp faktörü olarak da adlandırılır, yalıtım malzemelerinin kalitesi için temel bir parametredir. Kapasite ve kayıp açısı ölçümü, 100 yıldan uzun bir süredir sektörde iyi bilinen klasik bir yöntemdir. Kayıp faktörü ($\tan \delta$), elektrot tasarımı, malzeme karakteristikleri, çevre sorunları, nem, sıcaklık, uygulanan gerilim ve frekanslara, ölçüm cihazının doğruluğuna ve ölçülen numuneye bağlıdır. Frekans aralığı, test hücresi ve elektrot tasarımına, örneklerin boyutuna ve bağlantı kablolarına bağlıdır. Bu standartta, uygulanan frekanslar için parametreler, 1 Hz'den çok daha küçük frekanslardan 10 MHz'ye kadar olan frekans aralığında sınırlıdır. Ancak, ölçüm aletleri daha geniş bir frekans aralığı sağlayabilir. Kullanılabilir ve uygun frekans aralığı test kurulumu ile sınırlanır.

Dielektrik kayıp faktörü, seri veya paralel bağlantıda dirençli bir ideal kapasite kullanılarak eşdeğer devre şemasıyla da ifade edilebilir. Şekil 9.1'de eşdeğer devre diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 9.1: Eşdeğer devre diyagramları[41].

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (9.1)$$

ve

$$\frac{R_P}{R_S} = 1 + \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (9.2)$$

R_s ve R_p , $\tan \delta$ ile doğrudan ilişkili değildir fakat yalıtım malzemesinin yüzey direnci ve hacminden etkilenmektedir. Bu nedenle, $\tan \delta$ böyle dirençli malzemelerin özelliklerinden etkilenebilir.

9.1 Güç Kaynağı (Gerilim)

Güç kaynağı, dengeli bir sinüzoidal gerilim sağlayacaktır. Ölçüm süresi boyunca, tedarik edilen gerilimin ölçülen değeri $\pm\% 5$ içinde muhafaza edilmelidir.

Gerilim dalga şekli, $\% 2$ 'den daha az olan pozitif ve negatif tepe değerlerinin büyüklüğü arasındaki farkla birlikte sinüzoidal bir şekilde olmalıdır. Sinüzoidal şeklin sapması $\% \pm 5$ içinde olacaktır.

Not: Kısmi deşarj, belirli bir başlangıç gerilimi aşıldığında hatalı ölçümlere yol açabilir. Havada, 340 V'nin altında kısmi deşarj meydana gelmez.

9.2 Ölçüm Yöntemlerinin Seçimi

Dielektrik ve kayıp faktörünü ölçme yöntemleri üç gruba ayrılır:

- Sıfır yöntemi
- Empedans analiz metodu
- Dijital faz kayması yöntemi

9.2.1 Sıfır yöntemi

Geçirgenlik ve kayıp faktörünün ölçümleri için, yer değiştirme teknikleri kullanılabilir. Transformator köprüsü, herhangi bir ek bileşen veya işlem olmadan bir koruyucu elektrodun kullanılmasına izin verir. Bu iyi bir avantajdır, diğer ağırlarla karşılaştırıldığında dezavantajı yoktur.

9.2.2 Empedans analiz metodu

Piyasada satılan birçok enstrüman vardır (empedans analizörleri veya LCR metre). Bu aletler, empedansın ölçülen oranının sabit frekansta veya bir frekans aralığında tarama ile numunenin empedansını belirler. Çoğu cihaz, verilen bir frekans için seri veya paralel eşdeğer bir devre kullanarak empedansı bir kayıp kapasite (C , $\tan \delta$) olarak

ifade etmeyi sağlar. Empedans analizörlerinin hassaslığı cihazların kalitesine, ölçülen empedansın ve frekansın büyüklüğüne bağlıdır.

9.2.3 Dijital faz kayması yöntemi

Ölçüm prensibi, standart kondansatör ve test nesnesi yolu boyunca akımların hassas bir şekilde kaydedilmesine dayanır ve referans fazı kaydırma işareti olarak gerilim aracılığıyla yapılır. Dielektrik kayıp faktörü, bu akımlar arasındaki faz kaymasının ölçülmesiyle hesaplanır. Genlik ve zaman hassasiyeti ile her iki gerilim yolunda sinüzoidal dalga akımının ve gerilimin ölçümü, aynı anda yüksek hassasiyetli analogdan dijital dönüşüme kadar sağlanır. Akım ve gerilim sinüzoidal dalgasındaki harmonikler ve harici gürültü, zaman veya frekans alanında (Hızlı Fourier Transformasyonu-FFT) dijital filtreleme ile bastırılabilir. Kayıp faktörü $\tan \delta$ ve kapasite C, dijital akım ölçümünden çıkarılan faz kayması ve genlik bilgisine dayanılarak hesaplanır.

A / D dönüştürücüsünün, test sonuçlarının $\tan \delta \leq 1,1-4$ (1.1 ile 4 arasında) ulaşması için çözünürlük 16 bitten büyük olmalıdır (≥ 16).

Gerilim alanına yerleştirilen ölçüm cihazlarının, güvenlik nedenlerinden dolayı, operatörün kontrol ünitesinden (örneğin fiber optiklerden) ayrılması tavsiye edilir.

9.3 Malzemeye Uygulanan Elektrotlarla Ölçüm Ayarı

İzolasyon malzemeleri için elektrotlar, numune yüzeyi ile yakın temasa izin veren ve numunenin elektrot direnci veya numunenin kirlenmesi nedeniyle kayda değer bir hata getirmeyen, kolayca uygulanabilen bir malzemedan yapılmalıdır. Elektrot malzemesi test şartları altında korozyona dayanıklı olmalıdır. Elektrotlar, verilen şekil ve boyutlardaki uygun destek plakaları ile kullanılmalıdır. Önemli bir hata olup olmadığını görmek için iki farklı elektrot malzemesi kullanılması avantajlı olabilir.

Not: Elektrot boyutlarının ölçümünün doğruluğu, beklenen test sonucunun doğruluğu ile doğrudan ilgilidir.

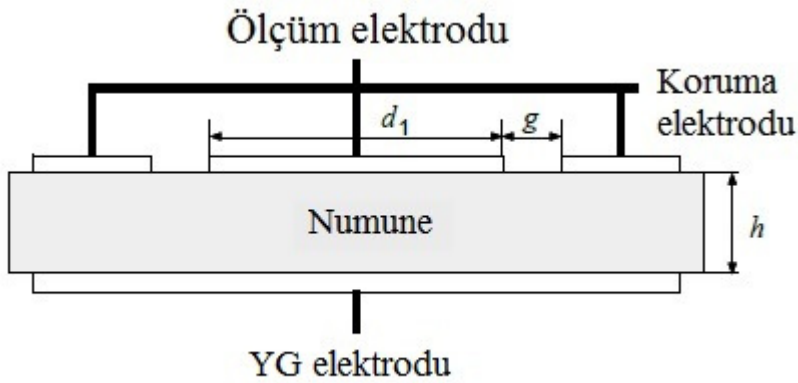
Tesisat elektrodunun numuneye uyguladığı mekanik kuvvet, basınca duyarlı test örneği için yaklaşık 1 Pascal olmalıdır. Mekanik elektrot kuvveti test örneğini fazla büyütmemelidir.

9.4 Topraklama

Ölçüm devresinin yalıtımı, test edilen malzemenin özelliklerine benzer özelliklere sahip malzemelerden oluşur. Numunenin ölçümündeki hatalar aşağıdakilerden kaynaklanabilir:

- Ölçülen kapasiteyi etkileyen elektrik alanının kenar etkileri
- Dielektrik kayıp faktörünü etkileyebilecek yüzey direnci,

Özellikle düşük frekanslarda koruma tekniğinin kullanılmasıyla ölçüm sonucunda tatmin edici bir düzeltme elde edilir. Koruma(topraklama) iletkenleri, birbirine bağlanır, koruma sistemini oluşturur ve ölçüm terminalleri ile üç terminalli bir ağ oluşturur. Geçirgenlik ve dielektrik kayıp faktörünün ölçümü için kullanılan korumalı elektrotlar için temel bağlantılar Şekil 9.2'da gösterilmiştir.



Şekil 9.2: Koruma elektrotunun numunede gösterimi[41].

9.5 Test Numunesi İmalatı

Test numunesi, geometrik olarak basit bir şekle sahip olmalıdır (paralel ölçüm alanlarına sahip plaka, silindir vb.)[41].

9.6 Doğruluk Aralığı

Özel önlemler olmadan numunedeki iki elektrottan büyük olanı kullanıldığında $\tan \delta \pm 0,00003$ 'lük daha düşük bir ölçülebilir sınır ile $\pm \% 10$ doğruluk payı ile ölçülebilir. Ancak kayıp tanjantı yaklaşık $0.02 \tan \delta \pm 0.000 005$ hata payı içinde ölçülebilir.

Dielektrik sabiti ϵ yaklaşık olarak $\pm 0.0015 (\epsilon-1)$ elektrot boyutunda bir hassasiyetle ölçülebilir. Bu, büyük oranda numunenin kalınlığının ölçülmesindeki zorluktan

kaynaklanan belirsizliktir. Bu yöntemin tamamen başarısız olduğu bir sınır yoktur, ancak $\varepsilon > 10$ ise belirsizlik kabul edilemez hale gelebilir.

Daha küçük elektrotlar kullanıldığında ölçüm hassasiyeti, elektrot sisteminin mekanik sertliğine bağlıdır ve yeterince sert yapı ile daha büyük elektrotlar için belirtilen hassasiyete yaklaşabilir.

9.7 Numunenin Sıcaklığı ve Test Frekansı

Bir yalıtkan malzemenin kayıp faktörü $\tan \delta$ ve geçirgenliği, frekans ve sıcaklıkla önemli ölçüde değişebileceğinden, ölçülen değerler, yalnızca, test için benimsenen yakın bir sıcaklık ve dar bir frekans bandı üzerindeki performansı göstermek için alınabilir. Numune ve elektrot sistemi, ölçüm yapıldığında çevreleriyle termal denge içinde olmalıdır.

9.8 Köprü Bağlantı Aparatı

Yukarıda $\tan \delta$ ile ilgili verilen sınırlardan daha yakın limitler için duyarlılık $f \times 10^{-16}$ S olmalıdır. Bu hassasiyet için ve 100 kHz'in üzerindeki frekanslarda kullanım için, aparatın topraklanmasıyla ilgili çok dikkatli olunmalıdır. Topraklanması amaçlanan her nokta için ayrı tel kullanılıp tek bir noktaya bağlanmalıdır ve bu bağlantılar kopyalanmamalıdır. Esnek kabloların hareketlerinin, ölçümü etkilemediğini göstermedikçe hareket etmelerine izin verilmemelidir. Üst ve alt elektrotlara olan bağlantılar mümkün olduğunca küçük bir ilmek oluşturmalıdır, ancak üst elektrota olan bağlantı hareket özgürlüğünü etkilememelidir.

9.9 Hesaplama

$$\tan \delta = \frac{\Delta G}{f} \cdot \frac{t_a^2}{t_s - t_x} \cdot \frac{2}{A} \cdot 9 \cdot 10^{12} \quad (9.3)$$

$$\Delta G = \frac{(G_1 + G_2)}{2} - G_0 \quad (9.4)$$

Ya da numune düz ve sadece biri dengedeyseniz denklem 8.5'deki gibi olur.

$$\Delta G = G_1 - G_0 \quad (9.5)$$

$$t_x = t_1 - t_a \quad (9.6)$$

F= frekans (Hz), t_a = elektrotların ilk ayrılma mesafesi(mm), t_s = Numunenin çalışma bölgesinin ortalama kalınlığı(mm), A=Elektrotun çalışma alanı(mm²), G_0 =Denge durumunda köprü bağlantısının iletkenliği(siemens), G_1, G_2 =Numunenin denge durumundaki iletkenliği (siemens), t_1 = numune ile elektrotların ayrılma mesafesi(mm)
Aynı elektrot sistemi ve aynı frekansta olan bir dizi örnek üzerinde yapılan ölçümler için, bu miktarların çoğu sabittir ve tan delta formülü şu şekilde yazılabilir.

$$\tan \delta = \text{sabit} \cdot \frac{\Delta G}{t_s - t_x} \quad (9.7)$$

Eğer numuneler aynı malzemeden yapılmışsa ve benzer kalınlıklardaysa $t_s - t_x$ 'e(mm) de bir sabit sayı atanabilir.

9.10 Köprü Aparatı

Tan δ ölçümü için daha düşük frekanslarda büyük hassasiyete ihtiyaç varsa, 100 V'a kadar bir gerilim uygulamak gerekebilir[42].

9.11 Doğruluk ve Aralık

0.03 sırasındaki güç faktörlerini gerçek değerlerinin 0.0003'inde ve 0.0002 sırasındaki güç faktörlerini ise gerçek değerlerin 0.00005'inde ölçmek mümkündür. Güç faktörü aralığı normal olarak 0.0001 ila 0.1'dir, ancak 0.1'in üzerine de çıkabilir. Toleransı 1'den 5'e kadar söylersek tolerans gerçek değerinin $\pm\% 2$ 'sine kadar ölçülebilir.

9.12 Test Numunesinin Sıcaklığı ve Test Frekansı

Bir dielektrikin güç faktörü ve geçirgenliği, frekans ve sıcaklık ile önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle ölçümlerin yapıldığı frekans ve sıcaklık test sonuçlarını etkileyecektir.

9.13 Yalıtkan Kalınlıkları

9.13.1 Örnekler kullanılarak kalıplanmış malzemeler ve sac malzemeler için test prosedürü 50-54 mm çapta(yalıtkanın çapı)

Voltmetre, giriş gerilimi sıfır olduğunda sıfırı gösterecek şekilde ayarlanmalıdır.

$$\tan \delta = \frac{\Delta C_i - \Delta C_0}{2(C_s - C_e)\sqrt{q-1}} \quad (9.8)$$

Dielektrik sabiti

$$K = \frac{144d}{D_1^2} (C_s - C_e) \quad (9.9)$$

d = Numunenin milimetre cinsinden kalınlığı, D_1 = Numune kondansatörünün dairesel plakalarının milimetre cinsinden çapı, C_i = Numunenin, M_1 'in plakaları arasında merkezi olarak yerleştirilip ölçülen kapasite(μ F), C_s = Numune rezonans durumuna gelene kadar M_1 'in plaka aralıkları azaltılıp ölçülen kapasite(μ F), ΔC_0 = M_2 Kapasitesinin değişimi, M_2 = Numunenin artan kapasitesi(μ F)

9.13.2 Kalıp malzemesi ve tabaka malzemesi için prosedür (örnekler için) 50 mm'den az çapta(yalıtkanın kalınlığı)

$$\tan \delta = \frac{\Delta C_i - \Delta C_0}{2C'_s\sqrt{q-1}} \quad (9.10)$$

Burada;

$$C'_s = C_s - C_i + \frac{D^2}{144d_1} \quad (9.11)$$

Ve dielektrik sabiti

$$K = \frac{144dC'_s}{D^2} \quad (9.12)$$

$$C_s - C_e (= C'_s) \quad (9.13)$$

D = Test numunesinin milimetre cinsinden çapı, d = Test numunesinin milimetre cinsinden kalınlığı, d_1 = Numune plakalar arasında olduğunda milimetre cinsinden numune kondansatör plakalarının ayrılma mesafesi, C_i = Numunenin M_1 'in plakaları arasında merkezi olarak yerleştirilip ölçülen kapasite(μ F), C_s = Numune rezonans durumuna gelene kadar M_1 'in plaka aralıkları azaltıldıktan sonra ölçülen kapasite(μ F), $q = \left(\frac{V_r}{V}\right)^2$ oranı q olarak adlandırılır. Burada galvanometre sapması ile gösterilen V gerilimi, V_r ise rezonans gerilimidir.

Elektrotların direnci yüksek frekanslarda kayda değer hale gelir ve numune düz değilse ve düzgün kalınlıkta değilse güç faktöründe sahte bir artışa neden olur. Bunun fark

edilebileceği frekans, numunenin yüzey düzlüğüne bağlıdır, ancak etki 10 MHz kadar düşük frekanslarda gözlemlenmiştir. Bu etkinin varlığından şüphe edilirse ve her durumda 50 MHz ve üzeri frekanslarda, örneklerden çıkarılmış elektrotlar ile ek kapasite ve güç faktörü ölçümleri yapılacaktır.

Elektrotlarda kayda değer direnç olduğunda, elektrotlarla ölçülen güç faktörü, gerçek güç faktöründen daha büyük olacaktır. Bu nedenle, tüm şüpheli durumlarda elektrotlar olmadan ek ölçümler yapılmalıdır.

9.14 Sıvı Yalıtım Malzemelerinin Ölçülmesi

Sıvıların ölçüm prosedürü, katı maddelerinkine benzer ve aşağıdaki gibidir:

- a) İlgili bobinler osilatör ve ölçüm devresine bağlanmalıdır.
- b) Plakalar arasında sıvı bulunmadığında, numune kondansatörü M_1 , 0,2 mm'lik bir plaka ayırımı veren şekilde ayarlanacaktır ve aşama aşama mikrometre kondansatörü M_2 menzilin merkezinde ayarlanmalıdır.
- c) Osilatör maksimum galvanometre sapması ile gösterildiği gibi ölçüm devresi rezonans frekansına ayarlanmalıdır. Osilatör kadranı frekansın gerekli aralıkta olup olmadığını öğrenmek için kontrol edilmelidir. Eğer gerekli aralıkta değilse, ölçüm devresi bobini değiştirilmelidir.
- d) c 'de açıklandığı gibi doğru rezonans frekansı elde edilemiyorsa, osilatör istenen frekansa ayarlanmalı ve bir yardımcı kondansatör bağlanmalıdır. Bu yardımcı kondansatörün ölçüm devresinin osilatör frekansına rezonans etmemesi için özen gösterilmelidir.
- e) Voltmetre giriş gerilimi sıfır olduğunda sıfır değerinin okunmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.
- f) Numune kondansatörünün (M_1) ölçek okumasına dikkat edilmelidir. Bu ölçek okumasına karşılık gelen kapasite (C_s) kalibrasyon grafiğinden veya tablodan elde edilecektir.
- g) Ölçüm devresi mikrometre kondansatörü M_2 ile aşama aşama tekrar rezonansa ayarlanmalıdır.

h) Numune kondansatörünün üst plaka tertibatı, yatak plakasından sökülerek çıkarılmalıdır. Yeterli sıvı, kabın tabanını doldurmak için alt elektrot içine dökülür. Üst plaka tertibatı değiştirilmelidir.

j) Üst elektrot, ölçüm devresi tekrar rezonansa girinceye kadar mikrometre vasıtasıyla ayarlanmalı ve gerekirse tam ölçekli sapma sağlamak için giriş gerilimi ayarlanmalıdır.

k) Numune kondansatörü M_1 'in ölçek okuması not edilmelidir ve bu ölçek okumasına karşılık gelen kapasite (C_1) kalibrasyon grafiğinden veya tablodan elde edilecektir.

l) Maksimum sapmanın $1/q$ olması istenmektedir. Bu multimetrenin sapmasını artıracaktır. Bu sapmanın azaltılması için kapasitenin artırılması gerekecektir. Bu iki durum not edilecektir. Bu iki kapasite arasındaki fark ΔC_i 'dir. (numune ile artan kapasitenin mikro Farad cinsinden değişimi-)

m) Sıvıya ait güç faktörü, $\tan \delta$ ve geçirgenlik K , aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

$$\tan \delta = \frac{\Delta C_i - \Delta C_0}{2C_s \sqrt{q-1}} \quad (9.14)$$

$$K = \frac{C_s}{C_1} \quad (9.15)$$

ΔC_i = Numune içindeki kapasite değişimi(μF), ΔC_0 = Numune dışındaki kapasite değişimi(μF), C_s = Aralarında numune olmayan plakaların ayrılması için gereken kapasite(μF), C_1 = Elektrotlar ile kaybı az olan numunenin kapasitesi, $q = \left(\frac{V_r}{V}\right)^2$ oranı q olarak adlandırılır. Burada galvanometre sapması ile gösterilen V gerilimi, V_r ise rezonans gerilimidir.

Güç faktörü ve geçirgenlik için olan ifadeler sadece, C_1 değeri 20 ila 60 μF arasında olduğunda kullanılabilir.

9.14.1 B aparatı

Test devresi rezonans koşulundan geçerken frekans değişmesi meydana gelirse, değişiklik $1/10000$ kısımdan daha az olmalıdır. Frekans değişimi 10.000'de 1'den büyükse, farklı bir frekansta güç faktörü ölçümü yapılmalıdır. Rezonanstan geçerken frekans değişimi hala 10000'de 1'den fazlaysa, osilatör devresi bileşenleri kontrol edilmelidir.

9.14.2 C aparatı

M_1 ve M_2 , ölçümlerin doğruluğunun bağlı olduğu standart kondansatörlerdir[43].



KAYNAKLAR

- [1] **Y. Hadjadj, I. Fofana, F. Meghnefi and H. Ezzaidi.** (2011). Assessing Oil Paper Insulation Conditions by Poles computed from Frequency Domain Spectroscopy. *2011 IEEE International Conference on Dielectric Liquids*, doi: 10.1109/ICDL.2011.6015418.
- [2] **J. H. Yew, M. K. Pradhan, and T. K. Saha.** (2008). Effects of Moisture and Temperature on the Frequency Domain Spectroscopy Analysis of Power Transformer Insulation. *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE*. doi: 10.1109/PES.2008.4596244.
- [3] **Betie A, Meghnefi F, Fofana I, Yéo Z.** (2012). On the Impacts of Ageing and Moisture on Dielectric Response of Oil Impregnated Paper Insulation Systems. *In Proceedings of the IEEE Annual Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Montreal, Canada, 14–17 October 2012*; pp. 219–222.
- [4] **I. Fofana, H. Hemmatjou, F. Meghnefi, M. Farzaneh, A. Setayeshmehr, H. Borsi and E. Gockenbach.** (2009). Low Temperature and Moisture Effects on Oil-Paper Insulation Dielectric Response in Frequency Domain. *IEEE Electrical Insulation Conference EIC*, doi: 10.1016/j.epr.2009.08.008.
- [5] **Shiqiang WANG, Jianlin WEI, Shuangsoo YANG, Ming DONG, Guanjun ZHANG.** (2009). Temperature and Thermal Aging Effects on the Frequency Domain Spectroscopy Measurement of Oil-Paper Insulation. *Proceedings of the 9th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*. July 19-23,2009, Harbin, China. Doi: 978-1-4244-4368-0/09.
- [6] **T. K. Saha, P. Purkait, F. Müller.** (2004). An Attempt to Correlate Time & Frequency Domain Polarisation Measurements for the Insulation

Diagnosis of Power Transformer. *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*. doi: 10.1109/PES.2004.1373188.

- [7] **C. Ekanayake, T. K. Saha, H. Ma, D. Allan.** (2010). Application of Polarization Based Measurement Techniques for Diagnosis of Field Transformers. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010 USA*. doi: 978-1-4244-8357-0/10.
- [8] **I. Fofana, H. Hemmatjou, F. Meghnefi, M. Farzaneh, A. Setayeshmehr, H. Borsi and E. Gockenbach.** (2010). On the Frequency Domain Dielectric Response of Oil-paper Insulation at Low Temperatures. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 17, No. 3; June 2010*. pp.799-807 doi: 10.1109/TDEI.2010.5492253.
- [9] **Wenhuan Wang, Youwei Liu, Jiangang Bi, Yuan Xu, Yanpeng Gong and Yanguo Deng.** (2012). Effect Factors Analysis of Frequency Domain Spectroscopy Test. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. doi: 10.1109/APPEEC.2012.6307328.
- [10] **A.A. Shayegani, H. Borsi, E. Gockenbach and H. Mohseni.** (2005). Application of Low Frequency Dielectric Spectroscopy to Estimate Condition of Mineral Oil. *IEEE International Conference on Dielectric Liquids, 2005*. pp. 285-288. doi: 10.1109/ICDL.2005.1490082.
- [11] **Url-1** <<https://www.electricaleasy.com/2014/03/electrical-transformer-basic.html>>, erişim tarihi 29.10.2018.
- [12] **Url-2** <<http://microcontrollerslab.com/main-transformer-parts/>>, erişim tarihi 29.10.2018.
- [13] **Url-3** <<https://owlcation.com/stem/Parts-of-a-power-transformer>>, erişim tarihi 29.10.2018.
- [14] **Url-4** <<https://electrical-engineering-portal.com/power-transformer-construction-windings>>, erişim tarihi 22.10.2018.
- [15] **Url-5** <<https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/transformer-construction.html>>, erişim tarihi 11.10.2018.
- [16] **E. Onal.** (2012). A Study for Examining Dissipation Factors of Various Insulations and Test Transformers in the Wide Range of Frequency.

Electronics and Electrical Engineering. Kaunas: Technologija, 2012.
No. 5(121). pp. 27–32.

- [17] **Onur Kaya, T. Cetin Akinci, Emel Onal.** (2018). Calculation of dielectric dissipation factor at variable frequencies of model transformer. *Journal Of The Technical University – Sofia Plovdiv Branch, Bulgaria fundamental Sciences and Applications Volume 24, 2018.* Pp 55-59. ISSN 1310 – 8271.
- [18] **Url-6** <<https://www.indiamart.com/proddetail/1000-kva-power-transformer-16454549697.html>>, erişim tarihi 22.10.2018.
- [19] **Milli Eğitim Bakanlığı.** (2012). Elektrik Elektronik Teknolojisi Koruma Röleleri 2 523EO0170 Ankara.
- [20] **Url-7** <<http://electrical-engineering-portal.com/differential-protection-transformers-machines-busbars-lines-feeders>>, erişim tarihi 20.03.2018.
- [21] **Url-8** <<https://circuitglobe.com/differential-protection-of-a-transformer.html>>, erişim tarihi 20.03.2018.
- [22] **Url-9** <<http://bilgiferim.com/diferansiyel-asiri-akim-koruma-rolesi/>>, erişim tarihi 21.03.2018.
- [23] **Url-10** <<http://www.elektrikforum.com/vb/showthread.php?1505-G%FC%E7Trafosunun-Zati-Korumalar%FD>>, erişim tarihi 21.03.2018.
- [24] **J H Yew, T K Saha, A J Thomas.** (2006). Impact of Temperature on the Frequency Domain Dielectric Spectroscopy for the Diagnosis of Power Transformer Insulation. *IEEE Power Engineering Society General Meeting.* Doi: 10.1109/PES.2006.1709037.
- [25] **Tapan Kumar Saha, Zheng Tong Yao.** (2003). Experience With Return Voltage Measurements For Assessing Insulation Conditions İn Service-Aged Transformers. *2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting.* Doi: 10.1109/PES.2003.1271006.
- [26] **M.G.M. Megens, A. Rama and R. Ross Kema.** (1998). Return Voltage Measurements On Paper İnsulation Of Windings And Cables. *ICSD'98. Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on*

Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics. Doi: 10.1109/ICSD.1998.709235.

- [27] **Tapan K. Saha**. (2003). Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Pp 903-917. Doi: 10.1109/TDEI.2003.1237337.
- [28] **A. Krivda, R. Neimanis, S.M. Gubanski**. (1997). Assessment Of Insulation Condition Of 130 Kv Oil-Paper Current Transformers Using Return Voltage Measurements and An Expert System. *IEEE 1997 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. Pp 210-213. DOI: 10.1109/CEIDP.1997.634596.
- [29] **Belén García, Baudilio Valecillos, Juan Carlos Burgos**. (2005). Determination of Water Content in Transformer Solid Insulation by Frequency Domain Spectroscopy. *Proc. of the 5th WSEAS/IASME Int. Conf. on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines*. Pp 18-23.
- [30] **Walter S. Zaengl**. (2003). Applications of Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain for HV Power Equipment. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. Pp 9-22.
- [31] **Omar Hassanl, Hossein Borsil, Emst Gockenbach, E.M. Aboelzahab, M. I. Gilany**. (2004). Diagnostic of insulation condition of oil impregnated paper insulation system with return voltage measurements. *2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. Pp 153-156. Doi: 10.1109/CEIDP.2003.1254817.
- [32] **I. Fofana, H. Hemmatjou and F. Meghnefi**. (2011). Effect of Thermal Transient on the Polarization and Depolarization Current Measurements. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Pp 513-520. Doi: 10.1109/TDEI.2011.5739457.
- [33] **S. Sulaiman, A. Mohd Ariffin, D. T. Kien**. (2013). Simulation modeling of polarization and depolarization current analysis for underground cable insulation. *2013 IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*. Pp 358-361. Doi: 10.1109/PEOCO.2013.6564572.

- [34] **N.A.M. Jamaii, M.A.M. Piah and N.A. Muhamad.** (2011). Comparative Study on Conductivity Using Polarization and Depolarization Current (PDC) Test for HV Insulation. *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*. Pp 1-6. Doi: 10.1109/ICEEI.2011.6021667.
- [35] **T. K. Saha and P. Purkait.** (2004). Investigation of Polarization and Depolarization Current Measurements for the Assessment of Oil-paper Insulation of Aged Transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Pp 144-154. Doi: 10.1109/TDEI.2004.1266329.
- [36] **Omar Hassanl, A. A. Shyegani, Hossein Borsi, Emst Gockenbach, E. M. Abu-Elzahab, M. I. Gilany.** (2004). Detection of Oil-Pressboard Insulation Aging with Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain Measurements. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Solid Dielectrics*. Pp 665-668. Doi: 10.1109/ICSD.2004.1350518.
- [37] **GE Energy Services.** (2000). Insulation Diagnostics System IDA 200.
- [38] **Nihat PAMUK.** (2014). Güç Trafolarında Arıza Tespitine Yönelik Gelişmiş Tanı Testleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. Pp 25-35.
- [39] **N. Wang, F. C. Lu and H. M. Li.** (2004). Analytical Processing of On-line Monitored Dissipation Factor Based on Morphological Filter. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Pp 840-846. Doi: 10.1109/TDEI.2004.1349789.
- [40] **Guoqiang Xia ,Guangning Wu , Bo Gao, Haojie Yin and Feibao Yang.** (2017). A New Method for Evaluating Moisture Content and Aging Degree of Transformer Oil-Paper Insulation Based on Frequency Domain Spectroscopy. *Journal Energies*. Doi: 10.3390/en10081195.
- [41] **BS EN IEC 62631-2-1.** (2018). Dielectric and resistive properties of solid insulating materials. *International Electrotechnical Commission*.
- [42] **BS 4542.** (1970). Determination of Loss tangent and permittivity of electrical insulating materials in sheet form (Lynch method).

[43] **BS 2067.** (1953). Determination of Power-factor and permittivity of insulating materials (Hartshorn & ward method).

[44] **Url-11** <https://www.researchgate.net/post/Negative_tan_delta>, erişim tarihi 11.11.2018.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Onur Kaya
Doğum Tarihi ve Yeri : 31.03.1991
E-posta : onur.kaya08@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

YAYINLAR

- **Onur Kaya, T. Cetin Akıncı, Emel Onal.** (2018). Calculation of dielectric dissipation factor at variable frequencies of model transformer. *Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications”* Vol. 24, 2018. P 55-59