

ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMALARIN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÖLÇÜLMESİ

100889

100889

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Timuçin BÜYÜKAKTAŞ

504960326011

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ocak 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Şubat 2000

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ

Kale, 29.2.2000

Diğer Jüri Üyeleri

: Doç. Dr. Kevork MARDİKYAN

Mard, 29.02/2000

Yrd. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU

Hasbi, 01/03/2000

ŞUBAT 2000

ÖNSÖZ

Kısmi boşalmalar, elektrik sistemlerinin, özellikle doğru ve alternatif gerilimde enerji iletiminde kullanılan yalıtkanların ömrüne etki eden en önemli olaylardan biridir. Kısmi boşalmaların belirlenmesi, yerinin bulunması, ölçülmesi ve değerlendirilmesi için pekçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yüksek işlem gücü ve sağladığı diğer kolaylıklar ile çağımızın vazgeçilmez aracı olan bilgisayarlar her alanda olduğu gibi bu çalışmalarda da yerini almaya başlamıştır.

Bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan ve çalışmalarım sırasında beni yönlendiren çok değerli hocam sayın Doç Dr. Özcan Kalenderli'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmam için beni her zaman teşvik eden ve yanımda olan annem başta olmak üzere, tüm aileme teşekkür ederim.

OCAK 2000

Timuçin BÜYÜKAKTAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. KISMİ BOŞALMALARIN TANIMI VE OLUŞUMLARI	3
2.1. Kısmi Boşalmaların Tanımı	3
2.1.1. İç Kısmi Boşalmalar	3
2.1.1.1. Gaz İle Dolu Boşluklar	4
2.1.1.2. Yağ İle Dolu Boşluklar	6
2.1.2. Yüzeysel Boşalmalar	6
2.1.2.1. Hava Ortamında Yüzeysel Boşalmalar	6
2.1.2.2. Yağ İçinde Yüzeysel Boşalmalar	7
2.1.2.3. SF ₆ Gazında Yüzeysel Boşalmalar	7
2.1.3. Korona Boşalmaları	8
2.1.4. Dallı Kısmi Boşalmalar (Ağaçlanma)	9
2.2. Kısmi Boşalmaların Oluşumu	10
3. KISMİ BOŞALMA BÜYÜKLÜKLERİ	13
3.1. Temel Büyüklükler	13
3.2. Türetilmiş Büyüklükler	16
3.2.1. Zamana Göre Türetilmiş Büyüklükler	16
3.2.2. Faz Açısına Göre Türetilmiş Büyüklükler	17
3.3. İstatistiksel Büyüklükler	21
4. ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ	26
4.1. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesindeki Amaçlar	26
4.2. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesindeki Genel Koşullar	27
4.2.1. Deney Parçasının Koşullanması	27
4.2.2. Deney Gerilimi İçin Koşullar	27
4.3. Kısmi Boşalma İle İlgili Gerilim ve Yeğlilik Değerlerinin Bulunması	28
4.3.1. Boşalmasız Güvenilir Gerilim Değerinin Bulunması	28
4.3.2. Kısmi Boşalma, Başlama ve Sönme Gerilimlerinin Saptanması	28
4.3.3. Kısmi Boşalma Yeğliliğinin Ölçülmesi	29
4.4. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesinde Kullanılan Yöntemler	29
4.4.1. Elektriksel Olmayan Yöntemler	29
4.4.2. Elektriksel Yöntemler	30

4.4.2.1. Deney Devreleri	30
4.4.2.2. Dolaysız Ölçme Yöntemleri	32
4.4.2.3. Dolaylı Ölçme Yöntemleri	34
4.5. Kısmi Boşalma Ölçü Devrelerinin Ayarı	36
4.5.1. Geniş Bandlı (pC) Ölçü Devrelerinin Ayarı	36
4.5.1.1. Dolaylı (İndirekt) Ayar	37
4.5.1.2. Dolaysız (Direkt) Ayar	38
4.5.1.3. Gerilim İle Ayar	38
4.6. Bir Boşluğun Eşdeğer Devresinde Akan Yük ve Görünen Yük	39
4.7. Kısmi Boşalma Verilerinin Değerlendirilmesi	41
4.7.1. Zamana Göre Analiz	42
4.7.2. Faz Açısına Göre Analiz	43
5. KISMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜNDE BOZUCU ETKENLER VE ÖNLEMLER	45
5.1. Kısmi Boşalma Ölçülmesindeki Bozucu Etkenler	45
5.2. Bozucu Etkenlere Karşı Alınması Gereken Önlemler	46
5.3. Bozucuların Sayısal Yollarla Yok Edilmesi	47
5.3.1. Maksimum Kısmi Boşalma Genliğine Göre Yok Etme	48
5.3.2. Tolerans Band Yöntemi, Çapraz Korelasyon Analizi ve Korelasyon Faktörü Analizi	48
5.3.2.1. Tolerans Band Yöntemi	48
5.3.2.2. Korelasyon Faktörü Analizi	49
5.3.2.3. Çapraz Korelasyon Analizi	50
5.4. Çift Empedans Yöntemi	53
6. KISMİ BOŞALMA ANALİZ SİSTEMİ	56
6.1. Kısmi Boşalma Analiz Sistemi'nin Bölümleri	57
6.1.1. Genel Komut Menüleri	58
6.1.1.1. "Dosya" Menüsü	58
6.1.1.2. "Osiloskop" Menüsü	60
6.1.1.3. "Ölçme" Menüsü	64
6.1.1.4. "Hakkında" Menüsü	67
6.1.2. Araç Çubuğu	67
6.1.3. Grafik ve Görüntü Bölümü	68
6.1.4. Büyüklükler Bölümü	69
6.1.5. Ayarlar Bölümü	70
6.2. Kısmi Boşalma Analiz Sitemi Program Yapısı	70
6.2.1. Veri Alma İşlemi	70
6.2.2. Kısmi Boşalma Büyüklüklerinin Hesaplanması	72
6.2.2.1. Kısmi Boşalma Yükünün Hesaplanması	72
6.2.2.2. Diğer Büyüklüklerin Hesaplanması	73
6.2.2.3. İstatistiksel Büyüklüklerin Hesaplanması	75
7. KISMİ BOŞALMA DENEYLERİ	77
7.1. Deney Devresi	77
7.2. Devrede ve Ölçmede Kullanılan Elemanlar	78
7.3. Ölçme ve Sonuçlar	81

8. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	87



KISALTMALAR

KB	: Kısmi Boşalma
PD	: Partial Discharges (Kısmi Boşalma)
KBAS	: Kısmi Boşalma Analiz Sistemi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
BSI	: İngiliz Standartları Enstitüsü
IEC	: International Electrotechnical Commission
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
RIV	: Radyo Parazit Gerilimi (Radio Interference Voltage)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
KKA	: Çapraz Korelasyon Analizi
SYK	: Sivri Uç-Yarıküre Elektrot Sistemi



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Kısmi boşalma büyüklükleri.....	25
Tablo 5.1. Kısmi boşalmalarda bozucuların yok edilmesi..... için gerçekleştirilen bazı deneyler için ölçüm değerleri	52
Tablo 7.1. RS 232 seri veri kablosu bağlantı uçları.....	80
Tablo 7.2. Ölçme sonuçları.....	81
Tablo 7.3. Standartlarda belirtilen tipik çalışma koşulları.....	82



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Yalıtıkanda bulunabilecek boşluk örnekleri.....	3
Şekil 2.2 : Yalıtkanlar içinde karşılaşılan boşluk örnekleri.....	4
Şekil 2.3 : Paschen eğrisi.....	5
Şekil 2.4 : Değiştirilmiş Paschen eğrisi.....	5
Şekil 2.5 : Paralel düzlemsel elektrot sistemi.....	6
Şekil 2.6 : Çeşitli elektrot sistemleri için boşalma örnekleri.....	7
Şekil 2.7 : Korona boşalmaları.....	8
Şekil 2.8 : Dallı kısmi boşalma.....	9
Şekil 2.9 : Kısmi boşalma için abc devreleri.....	10
Şekil 2.10 : Kısmi boşalmaların oluşumu.....	11
Şekil 3.1 : Faz penceresi.....	17
Şekil 3.2 : Faz açısına göre hesaplanan fonksiyonların oluşturulması.....	19
Şekil 3.3 : $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonlarının zamana göre değişimi.....	20
Şekil 4.1 : Deney cismi ile ölçü empedansının paralel bağlı olduğu ölçme devresi	32
Şekil 4.2 : Deney cismi ile ölçü empedansının seri bağlı olduğu ölçme devresi	33
Şekil 4.3 : Köprü yöntemi ile ölçme devresi.....	34
Şekil 4.4 : Kayıp ölçme yöntemleri için ölçme devresi.....	35
Şekil 4.5 : Geniş bandlı ölçü aletlerinin kalibrasyonu.....	36
Şekil 4.6 : Eşdeğer devre.....	39
Şekil 5.1 : Kısmi boşalma ölçümünde bazı bozucu işaret örnekleri.....	45
Şekil 5.2 : Tolerans bandın oluşturulması.....	49
Şekil 5.3 : Tolerans band ve ölçülen işaretler.....	51
Şekil 5.4 : Ölçülen işaretlerin çapraz korelasyon analizi.....	52
Şekil 5.5 : Bozucuların çift ölçme empedansı ile belirlenmesi.....	53
Şekil 5.6 : Çift empedans ile ölçmede çift örnek kullanımı.....	54
Şekil 5.7 : Çift ölçme empedansı yönteminde dış bozucular.....	55
Şekil 5.8 : Çift ölçme empedansı yönteminde radyo işaretleri.....	55
Şekil 6.1 : Kısmi boşalma analiz programı ara yüzü.....	57
Şekil 6.2 : Genel komut menüleri.....	58
Şekil 6.3 : “Dosya” menüsü.....	58
Şekil 6.4 : Dosya Aç” ve “Veri Kaydet” arayüzleri.....	59
Şekil 6.5 : “Osiloskop” menüsü.....	60
Şekil 6.6 : “Veri Sayısı” menüsü.....	60
Şekil 6.7 : “Kanal” seçim menüsü.....	61
Şekil 6.8 : “Görüntü Al” komutunun kullanılması.....	62
Şekil 6.9 : “Ayarlar” bölümü yokken ana arayüz.....	62
Şekil 6.10 : “Bağlantı Ayarı” menüsü.....	63

Şekil 6.11	: “Bağlantı Noktası Arama” menüsü.....	64
Şekil 6.12	: “Ölçme” menüsü.....	64
Şekil 6.13	: “Temel Büyüklükler” göstergesi.....	65
Şekil 6.14	: “Türetilmiş Büyüklükler” göstergesi.....	65
Şekil 6.15	: “İstatistiksel Büyüklükler” göstergesi.....	66
Şekil 6.16	: “Gerilim Büyüklükleri” göstergesi.....	66
Şekil 6.17	: “Hakkında” menüsü arayüzü.....	67
Şekil 6.18	: Araç çubuğu	67
Şekil 6.19	: Kısmi boşalma verilerinin grafik gösterimi.....	68
Şekil 6.20	: Temel büyüklükler ve türetilmiş büyüklüklerin görünümü.....	69
Şekil 6.21	: Ayarlar bölümü.....	70
Şekil 7.1	: Kısmi boşalma ölçme deney devresi.....	77
Şekil 7.2	: Kısmi boşalma ölçme devresi.....	78
Şekil 7.3	: Kısmi boşalma ölçme düzeni.....	79
Şekil 7.4	: Kısmi boşalma ölçümünde kullanılan elemanlar.....	79



SEMBOL LİSTESİ

ϵ	: Dielektrik sabiti.
ϵ_r	: Bağlı dielektrik sabiti.
V_a, U_a	: Yalıtıkana uygulanan gerilim
U_i	: Kısmi boşalma anında yalıtıkana uygulanan gerilim.
V_c	: Boşluğun uçlarındaki gerilim
U_+, U_-, U_{inc}	: Kısmi boşalma başlangıç gerilimleri
V_+, V_-, U_t	: Kısmi boşalma sönme gerilimleri
i_q	: Kısmi boşalma akımı
q	: Boşalma genliği (pC); görünen yük
q_{ort}	: Ortalama boşalma genliği
q_{max}	: Maksimum boşalma genliği
ϕ_i	: Kısmi boşalma açısı
P_i	: Kısmi boşalma gücü
W	: Kısmi Boşalma Enerjisi
W_{ort}	: Ortalama kısmi boşalma enerjisi
W_{max}	: Maksimum kısmi boşalma enerjisi
W_s	: Toplam boşalma enerjisi
N_q	: Kısmi boşalma darbe sayısı
Q_s	: Toplam boşalma genliği
$H_{qs}(\phi)$	: Kısmi boşalma genlik dağılım fonksiyonu
$H_n(\phi)$	: Kısmi boşalma darbe sayısı dağılım fonksiyonu
$H_{qn}(\phi)$	: Ortalama genlik dağılım fonksiyonu
$H_{qm}(\phi)$	: Maksimum kısmi boşalma genliği dağılım fonksiyonu
μ	: Fonksiyonun ortalama değeri
σ^2	: Fonksiyonun varyansı
S_k	: Çarpıklık katsayısı
K_u	: Basıklık katsayısı
Q	: Boşalma simetrisizliği
Φ	: Faz simetrisizliği
cc, ccf	: Çapraz korelasyon katsayısı
mcc	: Modifiye edilmiş çapraz korelasyon katsayısı
Pe	: Tepe değeri sayısı
C_a	: Deney cismi
C_k	: Kuplaj kondansatörü
Z_m	: Ölçü empedansı
C_{ay}	: Ayar kapasitesi
q_{ay}	: Ayar yükü
cn	: Kovaryans

ELEKTRİKSEL KİSMİ BOŞALMALARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

İki elektrot arasında bulunan bir yalıtkanın yalnızca bir bölümünde olan ve elektrotları köprülemeyen yerel elektriksel boşalmalara kısmi boşalmalar denir. Kısmi boşalmalar enerji sistemlerinde kullanılan yalıtkanların ömrüne etki eden en önemli olaylardan biridir.

Elektriksel kısmi boşalma deneyleri kısmi boşalma varlığının belirlenmesi, ölçülmesi, yerinin bulunması ve zarar ya da tehlikelerinin anlaşılmasının sağlayan yüksek gerilim deneyleridir.

Bu tez çalışmasında kısmi boşalmalar hakkında genel bir bilgi verilmiş, daha sonra kısmi boşalmaların oluşumu, ilgili büyüklükleri ve ölçülmesi anlatılmıştır.

Kısmi boşalma ölçümünde kullanılan ve elektriksel veya elektriksel olmayan bir çok yöntem vardır. Bu ölçmeler, geliştirilmiş değişik bir çok analog ve dijital ölçme sistemi ile yapılmaktadır.

Bu tezde yeni bir dijital ölçme sistemi oluşturmak amacıyla kısmi boşalma büyüklüklerini ölçmek ve hesaplamak için MS Visual Basic 5.0 görsel programlama dilinde, çalışmada KBAS (Kısmi Boşalma Analiz Sistemi) adı verilen bir program yazılmıştır. Elektriksel ölçme devresinden HP54600B marka osiloskoba alınan veriler RS232 seri veri kablosu ve HP ara birim kartı üzerinden bilgisayara aktarılarak, bu program yardımı ile kısmi boşalma büyüklükleri bulunabilmektedir.

Geliştirilen program ile osiloskobun istenilen kanalından, istenilen sayıda veriyi, bilgisayarın istenilen bağlantı noktası yardımı ile alıp işlemek mümkündür. Ayrıca bilgisayarların olanaklarından yararlanarak bu veriler saklanabilmekte ve yazdırılabilmektedir.

Programın çalışmasını sınamak için, ölçme düzeneği olarak, kısmi boşalma ölçümüne tabi tutulacak yalıtkan ile ölçme empedansının seri olarak bağlandığı direkt ölçme devresi tercih edilmiş ve kısmi boşalma kaynağı olarak ta sivri ucu 0.1 mm yarıçaplı bir sivri uç-yarıküre elektrot sistemi kullanılmıştır. Bu sistemle yapılan yüksek gerilim deneylerinde kısmi boşalma büyüklükleri ölçülmüş, kaydedilmiş ve standartlardaki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak kullanımı kolay, doğruluğu yüksek, hızlı ve bilgisayar destekli bir kısmi boşalma ölçme sistemi geliştirilmiş ve gelecek çalışmalara altyapı sağlanmıştır.

COMPUTER AIDED MEASUREMENT OF ELECTRICAL DISCHARGES

SUMMARY

Electrical discharges that do not completely bridge the electrodes are called partial discharges. Partial discharges are one of the most effective factors that effects the lifetime of the insulation materials that are used in energy systems.

Electrical partial discharge tests are high voltage tests, that help to detection, measurement, location, harm and dangers of partial discharges.

In this thesis, a general overview of partial discharges has been introduced; its evolution, parameters and measurement has been discussed.

There are many electrical and non-electrical methods to measure partial discharges. These measurements can be done through various analog or digital measurement systems.

In this thesis, a program called PDAS (Partial Discharge Analysis System) has been developed by using MS Visual Basic 5.0. This program obtained a new system to measure the magnitudes of partial discharges digitally. The way the magnitudes are measured is as follows: Data has been transferred from an electrical measurement circuit to the HP54600B type oscilloscope, then through RS232 serial cable and from an HP interface card to the computer. Finally, the program (PDAS) measured the partial discharge parameters.

With the help of the developed program, it is possible to transfer as much amount of data from any channel of an oscilloscope through any serial port of the computer. Then the data can be analyzed. Of course, the computer is the best device to save and print the data, too.

To test the program developed; a direct measurement circuit has been preferred, which the measurement impedance is connected with the test object serially. A point-hemisphere electrode system with a radius of 0.1 mm has been used as the source of partial discharge. The high voltage experiments that have been conducted measured the magnitudes of partial discharges. Their values has been saved and later on compared with standards.

As a result, an easy-operated, fast and reliable measurement system for partial discharges has been developed; that produces highly consistent and accurate results, too.

1.GİRİŞ

İki elektrot arasında bulunan bir yalıtkanın yalnızca bir bölümünde olan ve elektrotları köprülemeyen yerel elektriksel boşalmalara kısmi boşalmalar denir. Elektrotlardan birisi veya her ikisi ile boşalmalar arasında katı, sıvı veya gaz şeklinde yalıtkanlar bulunur. Kısmi boşalmalar, yalıtkanların ömrüne etki eden en önemli olaylardan biridir.

İkinci Dünya Savaşından sonra, yeni yalıtkanlar tasarlanıp üretildi. Bunlar polietilen, dökme malzemeler, mesela dökme reçine gibi malzemelerdi. Bu malzemelerin üretim safhalarında içlerinde boşluk kalması kaçınılmaz bir olaydı. Bu boşluklardan herhangi biri daha önce kullanılan kağıt yalıtımındaki onlarca ince boşluğa eş düzeydeydi. Günümüzdeki modern tekniklere rağmen üretim aşamasındaki bu boşluklar hala kaçınılmazdır ve bu boşluklar kısmi boşalmalara neden olabilirler.

Kısmi boşalmalar kaçınılmazdır bu yüzden çalışmalar daha çok yalıtkanların kısmi boşalma düzeyini en aza indirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Kısmi boşalma düzeyi ne kadar düşükse, kısmi boşalmaların yalıtkanın ömrünü azaltıcı etkisi o kadar az olur.

Bir yalıtkanda meydana gelen kısmi boşalmaların düzeyini belirlemek için kısmi boşalma ölçmeleri yapılmaktadır. Kısmi boşalma ölçmeleri kısmi boşalma varlığının belirlenmesi, ölçülmesi, yerinin bulunması ve zarar ya da tehlikelerinin anlaşılmasını sağlayan yüksek gerilim deneyleridir. Günümüzde $10 \times 100 \mu\text{m}$ boyutlarındaki boşluklar bile deneylerle belirlenebilmektedir. Kısmi boşalma deneyleri, kısmi boşalma büyüklükleri çok küçük olduğu için çok hassas deneylerdir. Bu deneylerde kısmi boşalma işaretinin, bozucu işaretlerden ayrılması çok önemlidir. Bunun için ölçme devresi ve çevre ile ilgili alınabilecek önlemlerin yanısıra, kısmi boşalma işaretinin sayısal yöntemlerle bozuculardan ayrılabilmesi için de çeşitli yaklaşımlar ve yöntemler mevcuttur.

Standart yöntemlerle kısmi boşalma ölçümleri sınırlı sayıda bilgi vermektedir. Günümüzde her alanda olduğu gibi, ölçmede de bilgisayar sistemlerinin kullanımı

artmıştır. Bilgisayar destekli yapılan ölçmelerde kısmi boşalma verisinin incelenmesi ile çok daha fazla büyüklüğe kolayca ulaşılabilir. Bilgisayar destekli ölçmenin en büyük avantajlarından biri, deneyi yapan kişiye çok fazla iş bırakmamasıdır. Böylece deneyi yapan kişinin çok fazla bilgili olmasına gerek kalmaz.

Bu çalışmada Bölüm 2’de kısmi boşalmalar hakkında bilgi verilmiş, kısmi boşalma türleri ve bunların oluşumları anlatılmıştır. Bölüm 3’de ise kısmi boşalma büyüklükleri hakkında bilgi verilmiş, bunların önemi ve nasıl hesaplandıkları anlatılmıştır. Bölüm 4’te ise kısmi boşalma ölçümü ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bölümde kısmi boşalma ölçmesinde uygulanabilecek yöntemler ve dikkat edilmesi gereken hususlar ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bölüm 5’te ise kısmi boşalma ölçümünde çok dikkat edilmesi gereken bozucular ve bunlara karşı alınabilecek önlemler ve çeşitli sayısal yöntemler anlatılmıştır. Bölüm 6’da ise kısmi boşalmaların ölçülmesi amacı ile geliştirilen KBAS programı tanıtılmıştır. KBAS programının kullanımı anlatılmış ve büyüklükleri nasıl hesapladığı hakkında bilgiler vermiştir. Bölüm 7’de ise yapılan kısmi boşalma deneyleri anlatılmış ve KBAS ile bulunan sonuçlar verilmiştir.

2. KISMİ BOŞALMALARIN TANIMI VE OLUŞUMLARI

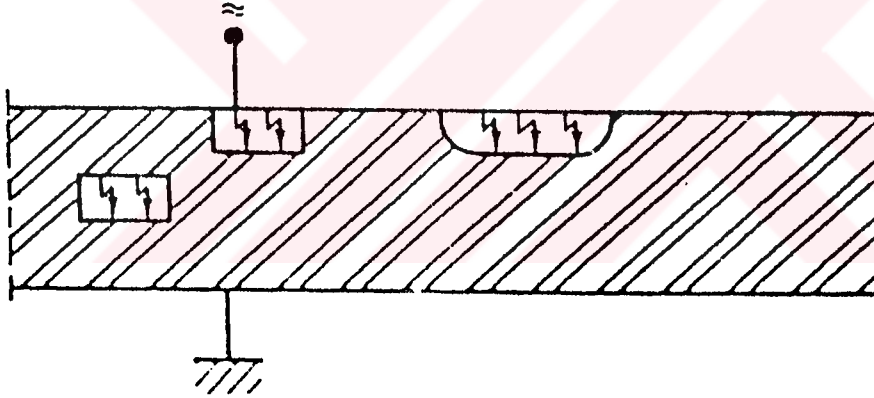
2.1. Kısmi Boşalmaların Tanımı

İki elektrot arasında bulunan bir yalıtkanın yalnızca bir bölümünde olan ve elektrotları köprülemeyen yerel elektriksel boşalmalara kısmi boşalma denir.

Kısmi boşalmalar genel olarak dörde ayrılır [1,2].

2.1.1. İç Kısmi Boşalmalar

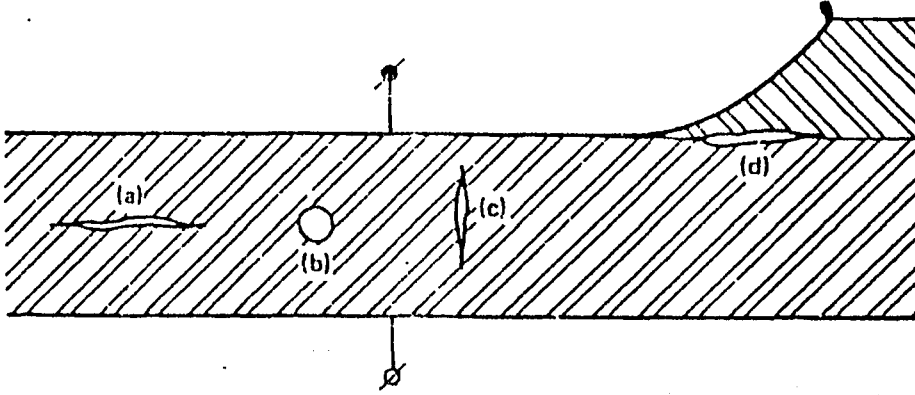
Yalıtım Sistemlerinde, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi çoğu zaman yalıtkanın içinde veya elektrotlarla sınır yüzeyinde bazı boşluklar bulunur.



Şekil 2.1. Yalıtıkta bulunabilecek boşluk örnekleri

Bu boşluklar, genellikle delinme dayanımı katı yalıtkanınkinden daha düşük olan gaz (hava) veya sıvı yalıtkanla doludur. Ayrıca bu dolgu maddelerinin dielektrik katsayıları yani delinme dayanımı katı yalıtkanınkinden daha düşüktür. Dolayısı ile boşluktaki elektrik alanı katı yalıtıkandaki alandan büyük olur. Sonuç olarak yalıtkanın normal zorlanması altında boşluğun uçlarındaki gerilim boşluğun delinme gerilimini aşabilir ve yalıtkanın bazı bölgeleri daha fazla zorlanma altında kalabilir. Bunun sonucu olarak ta yalıtkan delinebilir.

Malzeme içindeki boşluklar çeşitli şekillerde oluşabilir. Şekil 2.2’de en çok rastlanan boşluk tipleri gösterilmiştir. Boşluklar bazen boyuna veya enine yarıklar olarak ta karşımıza çıkabilir.



Şekil 2.2. Yalıtkanlar içinde karşılaşılan boşluk örnekleri

Katı yalıtkanın içinde bulunan boşluklar gaz veya sıvı ile dolu olabilirler. Fakat uygulamada en çok karşılaşılan boşluklar gaz ile dolu olan boşluklardır. Yağ ile dolu olan boşluklar kısmi boşalmanın etkisi ile gaz ile dolabilir ve gaz dolu olarak kısmi boşalmalara devam edebilirler.

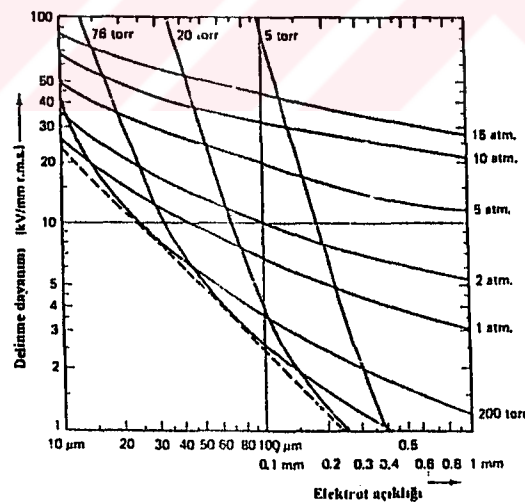
2.1.1.1. Gaz ile Dolu Olan Boşluklar

Yalıtkanların içinde üretim aşamasında boşluklar oluşur. Şekil 2.2 de oluşabilecek çeşitli boşluk tipleri gösterilmiştir. Eğer boşluk Şekil 2.2.a’daki gibi elektrik alanına paralel ise boşluktaki zorlanma, yalıtkindaki zorlanmanın ϵ katıdır. Eğer boşluk Şekil 2.2.b’deki gibi küresel bir yapıya sahip ise boşluktaki zorlanma yalıtkindaki zorlanmanın $3\epsilon / (1+2\epsilon)$ katıdır. Eğer boşluk Şekil 2.2.c’deki gibi elektrik alanına paralel ise, zorlanması yalıtkindakine eşittir. Bu tür boşluklarda kısmi boşalmadan sonra önemli alan şiddetlerine ulaşıldığı için dikkat edilmesi gereken, en tehlikeli boşluk türüdür. Şekil 2.2.d’deki gibi bir boşluk yalıtkanı delinme bakımından zorluyorsa, zorlanması yine yalıtkanınkine eşittir ve bir önceki tür gibi dikkat edilmesi gerekir.

Boşlukların delinme dayanımı, boşluğun boyutlarına, içindeki gazın cinsine ve basıncına bağlıdır.

The graph shows the relationship between Kilovolts r.m.s. and pressure. The y-axis is logarithmic, ranging from 0.1 to 10. The x-axis has two scales: Torr (mm) from 1 to 10³ and Atm. (mm) from 0.1 to 10. A curve is plotted, showing a minimum at 760 Torr (10⁻¹ Atm).

Şekil 2.3. Paschen eğrisi



Şekil 2.4. Değiştirilmiş Paschen eğrisi

En önemli eğri, ortam basıncı olan 1 atm'e karşılık gelen eğridir. Bir örnek olarak polietilen içinde 0,1 mm yüksekliğinde bir boşluk ele alalım. Polietilen için $\epsilon_r = 2,2$ 'dir. Uzun süreli işletmede bu boşluklarda 1 atmosfer basınçlı hava olması beklenir. Şekil 2.4'e göre delinme dayanımı 6,8 kV/mm'dir. Dielektrikteki zorlanma

$6,8/2,2 = 3$ kV/mm'dir. Bu değer ise genel olarak polietilen yalıtkana uygulanan 3,5-7 kV/mm'lik zorlanmadan, tehlike arz etmeyecek kadar küçüktür.

2.1.1.2. Yağ ile Dolu Olan Boşluklar

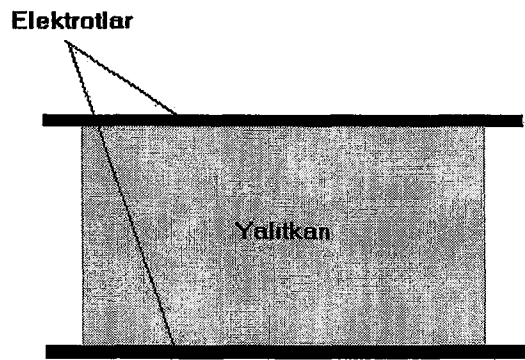
Bu tür boşluklar daha çok transformatör sargıları ve kablolarda kullanılan yağlı kağıt yalıtımlarda oluşur. Yine gaz ile dolu olan boşluklardaki gibi zorlanmalar hesaplanabilir. Eğer düz ve elektrik alanına dik bir boşluk var ise zorlanması katı yalıtkan içindeki zorlanmanın ϵ_2/ϵ_1 katıdır. Burada ϵ_2 katı yalıtkanın dielektrik katsayısı, ϵ_1 yağın dielektrik katsayısıdır. Eğer küre şeklinde bir boşluk var ise oran $3\epsilon_2/(\epsilon_1+2\epsilon_2)$ 'dir. Eğer elektrik alanına paralel ve düz bir boşluk varsa bu oran 1'dir.

Şekillendirilmiş plastikte veya dökme reçinede üretim aşamasında yabancı parçacıklar bulunabilir. Bu yabancı maddeler yalıtkanın içinde farklı dielektrik katsayılı bölgeler oluşturur. Gerilimin yükselmesi ile bu bölgeler delinir ve gaz oluşur. Oluşan gazda ise boşalma devam eder.

2.1.2. Yüzeysel boşalmalar

Katı ve sıvı yalıtkan maddelerle, gaz yalıtkan maddeler veya katı yalıtkan maddelerle sıvı yalıtkan maddeler arasında sınır yüzeyde görülen boşalmaya yüzeysel boşalma denir.

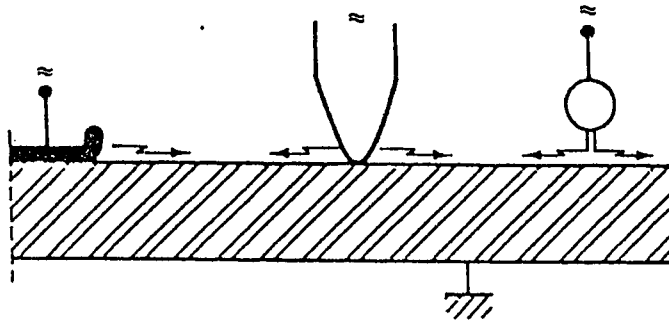
2.1.2.1. Hava Ortamında Yüzeysel Boşalmalar



Şekil 2.5 Paralel düzlemsel elektrot sistemi

Şekil 2.5'teki paralel düzlemsel elektrot sisteminde katı yalıtkan madde ile havanın sınır yüzeyini alan çizgilerine paralel kabul edersek, başka bir deyişle elektrik alanı düzgün kabul edilirse, elektrotlara bir gerilim uygulandığında, hava ve katı yalıtkan

madde içindeki elektrik alanı her noktada aynı değerde ve sınır yüzeye teğet olur. Dolayısıyla delinme sistemin en zayıf noktasında meydana gelir. Katı yalıtkan maddelerin delinme dayanımları havanınkinden çok daha büyük olduğundan boşalma genel olarak hava aralığında meydana gelir. Katı yalıtkan maddelerin delinme dayanımları havanınkinden çok daha büyük olduğundan boşalma genel olarak hava aralığında meydana gelir. Şekil 2.6.'da değişik elektrot şekilleri için boşalmalar gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çeşitli elektrot sistemleri için boşalma örnekleri

Çok keskin köşelerde kısmi boşalma başlangıç gerilimi %20 ila %50 arasında azalma gösterebilir. Ayrıca havanın nemi, sis, kir ve tozlar başlangıç gerilimini düşürebilir.

2.1.2.2. Yağ İçinde Yüzeysel Boşalmalar

Eğer elektrotlar yağ içinde ise sanki hava ortamındaymış gibi hesap yapılabilir. Yağın karbonlaşması veya nem alması delinme gerilimini oldukça düşürür.

2.1.2.3. SF₆ Gazında Yüzeysel Boşalmalar

SF₆ gazında kısmi boşalma genelde yüksek gerilim tarafında olduğu gibi, elektrotlar arası açıklıkta da olabilir. SF₆ gazlı yalıtım sistemleri küçük yabancı parçacıklara karşı çok duyarlıdır. Brockman yaptığı araştırmada üç değişkenin boşalmaya etkisini göstermiştir [1].

Bunlar;

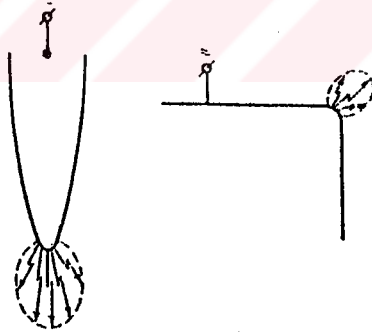
- Yüzeyin pürüzlülüğü: 100 μm ye kadar olan pürüzler delinme gerilimini düşürebilirler.

b) Değişken yarıiletken tabakalar: Brockman yalıtım yüzeyini yarı iletken ile kaplamış ve yüzey direncini değiştirmiştir. Temiz bir yüzeyde ($5 \cdot 10^{12} \Omega$) 3 bar basınçta SF_6 gazında, delinme gerilimi olan 295 kV'a kadar bir boşalma gözükmez. Fakat aynı basınçta $2 \cdot 10^{11} \Omega$ direncinde boşalmaların 140 kV'ta başladığı görülür. Bu da boşalma geriliminde yaklaşık %50'lik bir azalma demektir. Bu yüzden gaz ile yalıtılan sistemlerde bazen bir insanın parmak izinin bile önemi vardır.

c) Yüzeydeki yabancı parçacıklar: Yabancı parçacıklar dielektrik sabitlerine ve şekillerine göre boşalma gerilimine etki ederler. Sivri köşeli parçacıklara dikkat edilmesi gerekir. Gaz ortamına kolayca girebilen bu parçacıklar, boşalma için gerekli gerilim değerini çok aşağılara çekebilirler. Brockman ayrıca tam küresel parçacıkların atlama gerilimini düşürdüklerini fakat bu gerilime kadar herhangi bir kısmi boşalma oluşturmadıklarını gözlemiştir.

2.1.3. Korona Boşalmaları

Eğrilik yarıçapı küçük elektrotlarda veya sivri uçlarda görülen, tam olmayan ve kendi kendini besleyen boşalmaya “Korona Boşalması” denir. Bu gibi elektrotlar arası açıklığı elektrotların eğrilik yarıçapına göre büyük bir açıklıkta, elektrotlar yakınında düzgün olmayan bir alan ve diğer kısımlarda düzgün bir alan hüküm sürer.



Şekil 2.7. Korona boşalmaları

Gerilim yavaş yavaş artırılırsa elektrotlar yakınındaki alan o kadar yükselirki, çarpma suretiyle iyonizasyon başlar. Böylece elektrotları kuşatan ince bir tabakada, tam olmayan bir boşalma için gerekli koşullar sağlanmış olur. Dolayısı ile elektrotların çevresi korona boşalması adı verilen veya kısaca korona denilen ışıklı bir taç ile kuşatılır.

Elektrot yüzeyinin durumu, koronadan önceki başlangıç aşaması için önemli bir rol oynar. Elektrot yüzeyindeki kirler ve pürüzler kararlı bir karaktere sahip olmamakla beraber zayıf ve yer yer meydana gelen ön boşalmaların kaynağını oluştururlar.

Korona düşük gerilimlerde de oluşabilir. Korona gerilimin değil alan şiddetinin bir fonksiyonudur.

Korona genelde yüksek gerilim tarafında meydana gelmesine rağmen, toprak potansiyeli tarafındaki sivri uçlarda veya elektrotlar arasında bir yerde de oluşabilir.

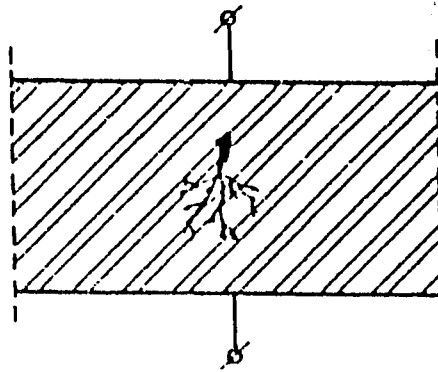
SF₆ gazı kullanılan sistemlerde korona olayı aktif ve zehirli gazlar oluşturabilir. Bu yüzden SF₆ gazının kullanıldığı sistemlerde sivri uçların yuvarlatılmasına özen gösterilmelidir.

Ayrıca korona boşalması azot oksit meydana getirir. Bu gazın nemli havanın etkisi ile asit oluşturması, yalıtıkana zarar verebilir.

Negatif korona boşalması, yani bir katodun korona boşalması, herhangi bir doğrultuda hareket eden bir gazın temizlenmesinde, yani gazda mevcut yabancı parçacıkların tutulmasında veya ayrılmasında önemli bir rol oynar.

2.1.4. Dalı Kısmi Boşalmalar

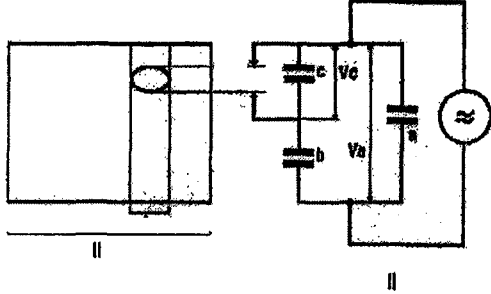
Dalı boşalmalar, iç kısmi boşalmaların bir çeşididir. Yalıtıkandaki bir hata sonucu oluşurlar. Kısmi boşalma oluşumunun ilerleyen aşamalarında, bir gövde ve daha geniş kollar oluşur. Bu boşluklarda göz ardı edilemeyecek boşalmalar meydana gelir. Bu tür boşalmalar çok kararsızdır, çünkü ağaç bir anda büyüyebilir.



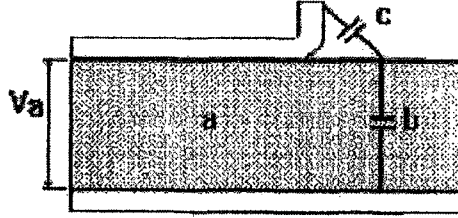
Şekil 2.8. Dalı kısmi boşalma

2.2. Kısmi Boşalmaların Oluşumu

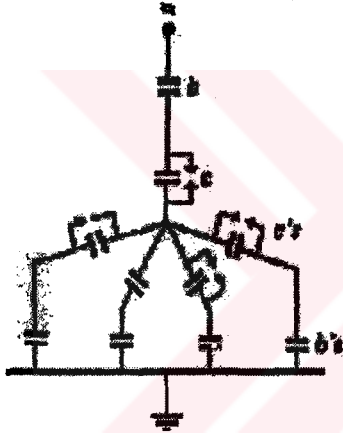
Kısmi boşalmaların davranışı, iyi bilinen a-b-c devresi ile açıklanabilir. Aşağıda 4 boşalma türü için a-b-c devreleri gösterilmiştir.



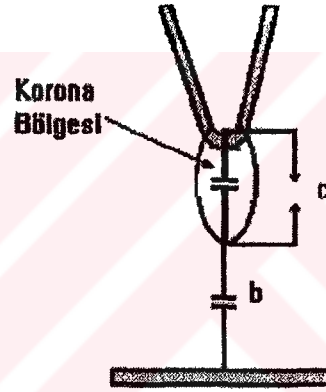
a- İç kısmi boşalma



b- Yüzeysel boşalma



c- Dalı kısmi boşalmalar



d-Korona Boşalmaları

Şekil 2.9. Kısmi boşalmalar için abc devreleri

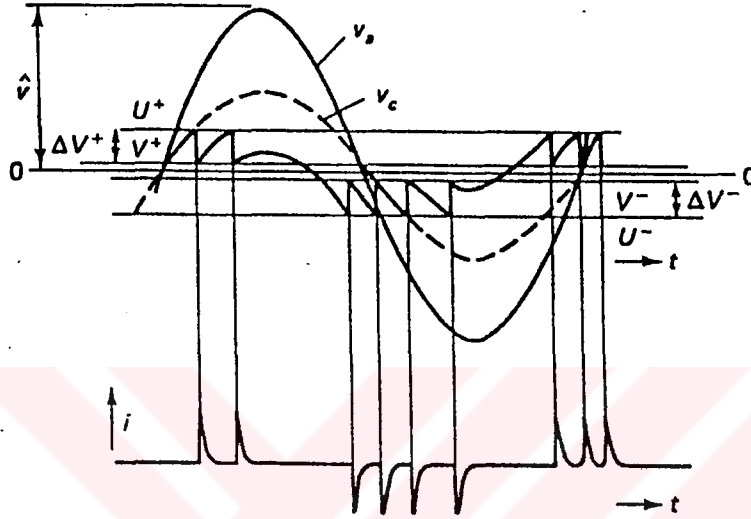
İç kısmi boşalmalarda boşluğun kapasitesi, bir atlama yolu ile paralel bağlanmış bir c kapasitesi ile gösterilir. Boşlukla seri olan kısım ise bir b kapasitesi ile gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere hatalı kısım I, sağlam kısım ise II ile gösterilmiştir.

Aynı eşdeğer devre, yüzeysel boşalmalar içinde kullanılır. Kısmi boşalmanın meydana geldiği yüzey kısmının kapasitesi c ile, buna seri olan kısmın kapasitesi b ile sağlam kısmın kapasitesi ise yine a ile gösterilir.

Dalı ve korona kısmi boşalmalarının a-b-c devreleri de Şekil 2.9'da görülmektedir.

İç, yüzeysel ve dallı kısmi boşalmaların oluşumu şu şekilde olur: Bu devreler alternatif gerilim ile beslenirse, c kapasitif olarak dolar ve üzerindeki gerilim boşluğu temsil eden aralığın delinme gerilimine ulaşınca, bu yol üzerinden boşalır. Daha sonra c tekrar dolar ve boşalır. Bu olay bu şekilde tekrarlanarak sürer.

Kısmi boşalmanın başladığı gerilime başlangıç gerilimi, ortadan kalktığı gerilime de sönme gerilimi denir.



Şekil 2.10. Kısmi boşalmaların oluşumu

Şekilde bir kısmi boşalmanın oluşumu gösterilmiştir. Yalıtkanın uçlarındaki gerilim V_a ve boşluğun uçlarındaki gerilim V_c olmak üzere, (U^+, U^-) başlangıç gerilimleri, (V^+, V^-) ise sönme gerilimleridir. V_c gerilimi U^+ değerine ulaşınca bir kısmi boşalma oluşur ve gerilim genelde 100 voltun altında olan V^+ değerine düşer. Bu olay 10^{-7} saniye gibi kısa bir sürede meydana gelir. Kısmi boşalma söndükten sonra boşluğun uçlarındaki gerilim yine yükselmeye başlar. Bu gerilim bir önceki boşalmada boşluğun uçlarında kalan artık gerilim ile uygulanan gerilimin toplamı şeklindedir. İki gerilim birbirini destekler. Bu olay V_a ve V_c geriliminin azaldığı ve iki alanın toplamının U^+ değerine ulaştığı ana kadar defalarca meydana gelir. Negatif yarı periyotta V_c gerilimi U^- gerilimine ulaşınca pozitif periyottaki olaylar tekrarlanır.

Meydana gelen kısmi boşalmalar yalıtkan üzerinde akım darbeleri meydana getirir. Bu darbelerin değeri kısmi boşalmanın başladığı anda maksimum olup, bir sonraki boşalmaya kadar azalır.

İç kısmi, yüzeysel ve dallı boşalmaların davranışları a-b-c devresi ile açıklanabilir. Korona boşalması da aynı şekilde gösterilebilmesine rağmen, tekrarlama olayı değişiklik gösterir. Atlama yolu olarak gösterilen c, uzay yükü ile sınırlandırılmıştır. Bu yükler milisaniyeler mertebesinde kaybolurlar ve korona boşalmasının tekrarlama sıklığını belirlerler.

Korona pozitif ve negatif olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki boşalmanın oluşumu birbirinden farklı olduğu halde her iki kutbiyette de (diğer bütün koşullar aynı olmak üzere) aşağı yukarı aynı alan şiddetinde meydana gelir.



3. KISMİ BOŞALMA BÜYÜKLÜKLERİ

Kısmi boşalmaların ne olduğu ve nasıl oluştuğu bir önceki bölümde anlatılmıştı . Bu bölümde ise kısmi boşalmaların tanımlanmasına yardımcı olan büyüklükler incelenecektir [3-6].

Kısmi boşalma büyüklükleri 3 ana bölümde incelenebilir.

3.1. Temel Büyüklükler

Bu büyüklükler gerilimin bir periyodu üzerinde tanımlanan büyüklüklerdir. Uygulamada bu büyüklüklerin belirlenebilmesi için deney geriliminin ve darbe işaretinin kaydedilmesi gerekir.

Kısmi boşalmalar iki bağımsız büyüklükle temsil edilebilir.

a) Kısmi boşalma zamanı

Kısmi boşalma işaretinin deney gerilimi eksenindeki izdüşümüdür.

b) Görünen yük

Kısmi boşalma akımı $i_q(t)$ nedeniyle kısmi boşalmalı nesnenin (örneğin deney cisminin) uçları arasında yer değiştiren yük miktarına görünen yük denir. Görünen yük;

$$q_i = b.\Delta V \quad (3.1)$$

b boşluklu kısmın kapasitesi, ΔV ise boşluklu kısımda meydana gelen gerilim düşümüdür. Görünen yük, kısmi boşalma yerindeki, doğrudan ölçülmesi mümkün olmayan, yüke eşit değildir. Görünen yükün birimi picocoulomb'dur.

Kısmi boşalmanın olduğu anın U_a gerilim eksenine karşılık geldiği açıya faz açısı ϕ_i denir. Uygulanan gerilim U_a 'nın kısmi boşalma anlarındaki anlık değerleri U_i değerleri olarak incelenecektir.

Yukarıda açıklanan üç büyüklük, görünen yük q_i , başlangıç gerilimi U_i ve bu gerilimin olduğu andaki faz açısı ϕ_i kısmi boşalmayı anlatmak için yeterli üç büyüklüktür.

Bundan sonra anlatılacak tüm büyüklükler bu üç büyüklük yardımı ile tanımlanacaktır.

Kısmi boşalma nedeni ile çekilen güç, görünen yük ile boşalma başlangıç gerilimi U_i 'nin çarpımına eşittir.

$$P_i = q_i \cdot U_i \quad (3.2)$$

Kısmi boşalma darbeleri, q_i ve U_i 'nin polaritesine göre negatif veya pozitif olabilir. Bu da gücün kısmi boşalma yerinde harcanabileceği gibi kaynağa verilebileceğini de göstermektedir. Polaritesi ne olursa olsun her boşalma darbesi yalıtıkana zarar verecektir. Eğer kaynaktan çekilen ve kaynağa verilen güç bir süre için cebirsel olarak toplanırsa, kaynaktan çekilen net enerjinin kısmi boşalma yerinde harcanan enerjiye eşit olması ile bu enerji bulunabilir.

Yalıtkanın bozulmasına yol açan enerji kısmi boşalmanın harcadığı enerjidir. Bu enerji şöyle formüle edilebilir;

$$W = 0,7 \cdot q_i \cdot U_i \quad (3.3)$$

Burada q_i görünen yük, U_i kısmi boşalma başlangıç gerilimidir. U_i efektif değer olarak hesaba katılır.

Eğer kısmi boşalma değerlendirmesi bir periyot için yapılırsa negatif ve pozitif yarım periyotlar için entegre edilmiş büyüklükler bulunabilir.

Kısmi boşalmanın oluşmaya başladığı gerilime U_i başlangıç gerilimi, kısmi boşalmanın sona erdiği gerilime ise U_t sönme gerilimi denir.

Yarım periyot boyunca q_i ve p_i değerlerinin incelenmesi ile şu entegre büyüklükler hesaplanabilir.

- 1) Kısmi boşalma darbe sayısı, N_q
- 2) Ortalama boşalma genliği, q_{ort}
- 3) Maksimum kısmi boşalma genliği, q_{max}
- 4) Ortalama kısmi boşalma enerjisi, W_{ort}
- 5) Maksimum kısmi boşalma enerjisi, W_{max}
- 6) Entegre edilmiş boşalma genliği, Q_s
- 7) Entegre edilmiş kısmi boşalma enerjisi, W_s

Üç temel büyüklüğün kullanılmasındaki en önemli amaç gerilimin bir periyodu içinde kısmi boşalmanın tanımlanmasına gerek duyulmasıdır. Bu büyüklükler kısmi boşalma ile ilgili şu büyüklüklerin bulunmasında yardımcı olurlar.

Kısmi boşalma genliği q_i kısmi boşalma yerinin büyüklüğü ile orantılıdır. Aynı zamanda yalıtıkana zarar veren kısmi boşalma enerjisinin ölçümünde de önemli rol oynar.

Faz açısı φ_i ise elektrik alanı ile birlikte değerlendirilirse kısmi boşalma başlangıç koşulları hakkında bilgi verir.

Kısmi boşalma darbe sayısı ise uygulanan gerilim ve başlangıç gerilimi ile bağlantılıdır. Kısmi boşalmanın yalıtıkana verdiği zarar sadece genliği ile değil aynı zamanda darbe sayısı ile de orantılıdır.

3.2. Türetilmiş Büyüklükler

Temel büyüklüklerin gerilimin bir periyodunda ölçülebildiğini biliyoruz. Türetilmiş büyüklükler ise temel büyüklüklerin gerilimin birden fazla periyodu için, örneğin 100 den fazla periyodunda incelenmesi ile elde edilen büyüklüklerdir. Bu büyüklükler zamanın bir fonksiyonu olarak incelenebileceği gibi faz açısının bir fonksiyonu olarak ta incelenebilirler.

Zamanın bir fonksiyonu olarak incelenen türetilmiş büyüklükler temel büyüklüklerin zamanla değişimini verirler.

3.2.1. Zamana Göre Türetilmiş Büyüklükler.

Bu tür büyüklükler ölçme süresi T_t boyunca negatif ve/veya pozitif yarı periyot boyunca incelenen büyüklüklerdir.

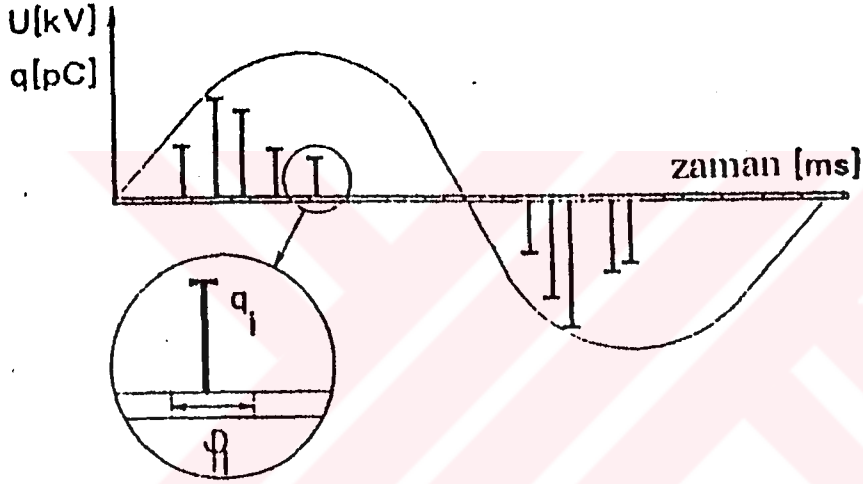
Bu büyüklükler

- Maksimum kısmi boşalma genliği $q_{\max}(t)$
- Ortalama kısmi boşalma genliği $q_{\text{ort}}(t)$
- Entegre edilmiş kısmi boşalma genliği $Q_s(t)$
- Maksimum kısmi boşalma enerjisi $W_{\max}(t)$
- Ortalama kısmi boşalma enerjisi $W_{\text{ort}}(t)$
- Entegre edilmiş kısmi boşalma enerjisi $W_s(t)$
- Kısmi boşalma başlangıç gerilimi $U_i(t)$
- Kısmi boşalma sönme gerilimi $U_t(t)$
- Kısmi boşalma darbe sayısı $N_q(t)$

3.2.2. Faz Açısına Göre Türetilmiş Büyüklükler

Bu büyüklükler, ölçme süresi T_t boyunca elde edilen büyüklüklerin $H(q)$ ve $H(p)$ dağılım fonksiyonlarına çevrilmesi ile elde edilir. Bu sayede p_i ve q_i ye bağlı olan bazı fonksiyonlar elde edilebilir. Bu fonksiyonlar zamana bağlı olan fonksiyonlara göre daha fazla bilgi verirler.

Faz açısına bağlı olan büyüklükler kısmi boşalma oluşumunun faz açısına göre değişimini verirler. Gerilim işareti faz bölümlerine ayrılır. Eğer değerlendirme gerilimin birden fazla periyodu için yapılırsa, her faz penceresi için aşağıdaki dört büyüklük elde edilebilir.



Şekil 3.1. Faz penceresi

Şekilde 3.1’de faz penceresi kavramı gösterilmektedir.

- 1) Kısmi boşalma miktarı. Bir faz penceresi içerisindeki kısmi boşalmaların genlikleri toplamıdır.

$$q_s = \sum q_i \quad (3.4)$$

- 2) Bir faz penceresi içerisinde meydana gelen darbe sayısı

$$n = \sum i \quad (3.5)$$

3) Bir faz penceresi içindeki kısmi boşalmaların ortalama genliği (ortalama darbe genliği)

$$q_n = \frac{q_s}{n} \quad (3.6)$$

4) Bir faz penceresi içindeki maksimum kısmi boşalma darbesi genliği (maksimum darbe genliği)

$$q_m = \text{maksimum}(q_i) \quad (3.7)$$

Bu dört büyüklüğün bütün faz açısı eksenini boyunca incelenmesi ile aşağıdaki faz açısının fonksiyonu olan dört dağılım fonksiyonu elde edilebilir.

Kısmi boşalma genliği dağılım fonksiyonu $H_{qs}(\varphi)$. Bu fonksiyon her bir faz penceresi içindeki toplam kısmi boşalma genliğinin faz açısına göre değişimini verir.

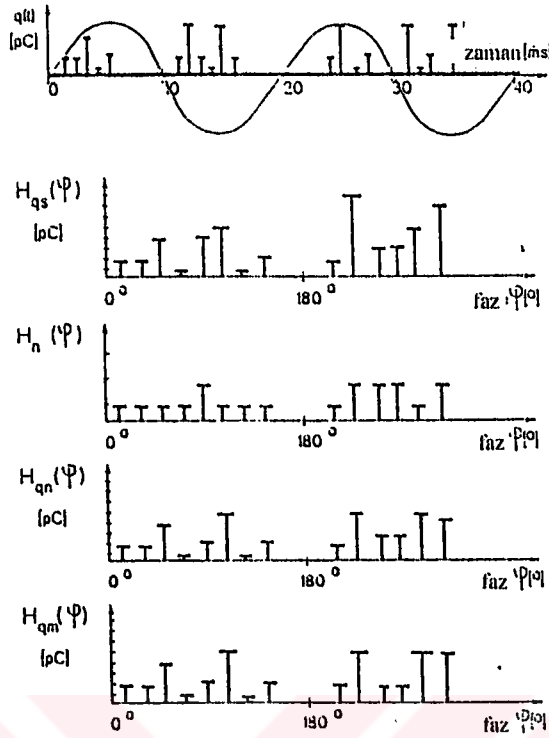
Kısmi boşalma darbe sayısı dağılım fonksiyonu $H_n(\varphi)$. Bu fonksiyon her bir faz penceresi içindeki toplam darbe sayısının faz açısına göre dağılımını verir.

Ortalama genlik dağılım fonksiyonu $H_{qn}(\varphi)$. Bu fonksiyon her pencere içindeki ortalama kısmi boşalma genliklerinin faz açısına göre dağılımını verir. $H_{qn}(\varphi)$ fonksiyonu her faz içerisindeki toplam boşalma genliğinin toplam kısmi boşalma sayısına bölümü ile çıkarılır.

Maksimum kısmi boşalma genliği dağılım fonksiyonu $H_{qm}(\varphi)$. Bu fonksiyon her pencere içindeki maksimum kısmi boşalma genliğinin faz açısına göre dağılımını verir.

Şekil 3.2’de bu fonksiyonlar ve hesaplanmaları anlatılmaktadır.

Bütün bu türetilmiş büyüklükler zamanın fonksiyonu olarak ta çıkarılabilir. Zamana bağlı fonksiyonlar $q_{\max}(t)$, $N_q(t)$ ve $U_i(t)$ yalıtkanın durumu hakkında yararlı bilgiler verebilir. Bu tür ölçmeler genelde rutin deneylerde kullanılır.



Şekil 3.2. Faz açısına göre hesaplanan fonksiyonların oluşturulması

Kısmi boşalmaların genliğinde ve geçici davranışlarında değişimler gözlenebilir. Bu kısmi boşalmaya ait istatistiksel verilerin değişimi ile kısmi boşalma yerindeki değişimlerden kaynaklanır. Görünen yüke ve kısmi boşalma enerjisine ait işaretlerin dağılım fonksiyonları $H(q)$ ve $H(p)$ incelenerek kısmi boşalmanın oluşmasına neden olan sebep bulunabilir. $H(q)$ dağılımı yalıtım sisteminin boşalma davranışının parmak izi olarak görülebilir ve kısmi boşalma kaynağı ile bağlantılıdır.

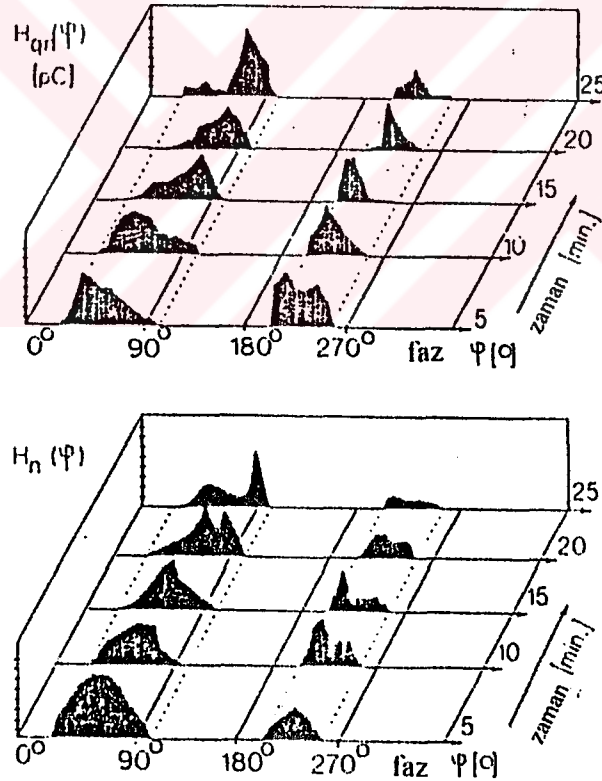
Kısmi boşalmalar yalıtkanın ömrünü enerji akışı ile etkilerler. Bu enerji görünen yük ile kontak geriliminin çarpımıdır. Yani yalıtkanın ömrünü sadece akan yük değil aynı zamanda kontak gerilimi etkiler. Kontak gerilimi ise faz açısı ϕ_i ye bağlı sinüs şeklinde bir işarettir. Bu yüzden kısmi boşalmaların verdiği hasarı daha iyi inceleyebilmek için faz açısı ϕ_i ye bağlı büyüklükleri seçmek daha uygun olacaktır. Bunun için kısmi boşalma genliği ile tekrarlama sıklığının ϕ_i açısı ile kombine edilmesi gerekir. Bugüne kadar bu tür gözlemler özel ölçüm devreleri ile gerçekleştiriliyordu ve kullanımı çok sınırlıdır.

Bugüne kadar bir çok kişi, $H_n(\varphi)$ darbe sayısı dağılımının ve $H_{qn}(\varphi)$ ortalama darbe genliği dağılımının zamana göre değişiminin kısmi boşalmalardaki değişimi incelemek için çok yararlı olduğunu belirtmişlerdir.

$H_n(\varphi)$ dağılım fonksiyonunun zamana göre değişimi, kısmi boşalmaların şiddetinin faz açısına bağlı olarak değişimi hakkında yararlı bilgiler verir. Bu da kısmi boşalmaların kaynaklarını ve zamanla değişimlerini bulmamıza yardımcı olur.

$H_{qn}(\varphi)$ fonksiyonu ise kısmi boşalmaların ve bozucu işaretlerin istatistiksel karakteristiklerinin farklı olması nedeniyle, bozucu işaretlerin tanınmasını ve elenmesini sağlar.

Her kısmi boşalma kaynağı geometrisi, yalıtkan içindeki yeri, dielektrik özellikleri ve uygulanan gerilime göre bazı özel işaretlere sahiptir. Faz açısına bağlı büyüklüklerin incelenmesi ile bu özel farklar ortaya çıkarılabilir



Şekil 3.3. $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonlarının zamana göre değişimi

3.3. İstatistiksel Büyüklükler

Bu bölümde, ikinci gruptaki türetilmiş büyüklüklerden bazılarının analizi için kullanılan istatistiksel büyüklükler tanıtılacaktır. $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonları kısmi boşalmaya sahip yalıtkanlar hakkında çok önemli bilgiler verirler. Fakat bu fonksiyonların incelenmesi çok kolay değildir. Bilgisayar destekli analiz ile bu fonksiyonların incelenmesi kolaylaşmıştır. 1978 yılında $H_{qn}(\varphi)$ fonksiyonun dağılım profilini inceleyebilmek için, dağılım fonksiyonlarının keskinliği (çarpıklığı) (skewness) deneysel olarak ortaya konulmuştur [2].

$H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonlarının incelenebilmesi için birden fazla istatistiksel parametre kullanılmıştır ve bunlar istatistiksel işleçler olarak adlandırılacaklardır.

$f(x)$ ayrık zaman fonksiyonu olmak üzere:

$$f(x) = P(X = x_i) = p_i \quad (3.8)$$

P olasılık, x_i ayrık değer ve p_i x_i için olasılık değeridir. Bir dağılım fonksiyonu için μ_k momenti

$$\mu_k = \sum (x_i - a)^k \cdot p_i \quad (3.9)$$

- Birinci moment: μ - dağılım fonksiyonunun ortalama değeri ($k=1$, $a=0$)

$$\mu = \sum x_i \cdot p_i \quad (3.10)$$

- İkinci moment: σ^2 - dağılım fonksiyonunun varyansı ($k=2$, $a=\mu$)

$$\sigma^2 = \sum (x_i - \mu)^2 \cdot p_i \quad (3.11)$$

- Üçüncü moment: Çarpıklık (skewness) S_k - dağılım fonksiyonunun normal dağılım fonksiyona göre asimetrisini gösterir. ($k = 3$, $a = \mu$)

$$S_k = \frac{\sum (x_i - \mu)^3 \cdot p_i}{\sigma^3} \quad (3.12)$$

- Dördüncü moment: Basıklık (kurtosis) K_u dağılım fonksiyonunun normal dağılım fonksiyonuna göre yatıklığını gösterir. ($k = 4$, $a = \mu$)

$$K_u = \frac{\sum (x_i - \mu).p_i}{\sigma^4} - 3 \quad (3.13)$$

Üçüncü ve dördüncü momentler dağılımın şekli ile yakından bağlantılıdır. Bunun için bu iki büyüklük $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonlarını karakterize etmek için kullanılabilir.

S_k dağılımın çarpıklığını gösterir. Eğer dağılım simetrik ise S_k değeri sıfırdır. Eğer fonksiyon sağa doğru yatıksa S_k negatif, sola doğru yatıksa pozitifdir (Şekil 2.7).

Kurtosis K_u değeri ise bir fonksiyonun basıklığını (sivriliğini veya keskinliğini) gösterir. K_u değeri normal bir dağılım için sıfır değerini alır. Normalden daha keskin bir fonksiyon için K_u pozitif, daha düz bir fonksiyon için ise negatif değer alır.

Bilindiği gibi kısmi boşalmalar gerilimin iki periyodunda farklı özellikler gösterebilir. Bunun için $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonları iki dağılım fonksiyonu olarak incelenir. Pozitif yarı periyot için $H_{qn}(\varphi)^+$ ve $H_n(\varphi)^+$, negatif yarı periyot için ise $H_{qn}(\varphi)^-$ ve $H_n(\varphi)^-$ fonksiyonları incelenir. Buna göre her fonksiyon aynı zamanda iki S_k (S_{k+} ve S_{k-}) ve iki K_u (K_{u+} ve K_{u-}) değerine sahiptir. $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ fonksiyonları aynı zamanda kendi ortalama değerleri, k.b. başlangıç faz açısı ve darbe sayısı gibi büyüklüklere sahiptirler. Bununla beraber bu değerlerin hesaba katıldığı başka istatistiksel parametreler tanımlanabilir. Negatif ve pozitif yarı periyotta $H_{qn}(\varphi)$ ve $H_n(\varphi)$ dağılım fonksiyonlarının farklılıklarını ölçmek için aşağıdaki işlemler tanımlanmıştır.

- Boşalma simetrisizliği Q her iki yarı periyottaki ortalama kısmi boşalma genliğinin birbirine oranıdır.

$$Q = \frac{Q_s^- / N_q^-}{Q_s^+ / N_q^+} \quad (3.14)$$

Burada $Q_{s\pm}$ negatif veya pozitif yarı periyottaki toplam kısmi boşalma genliğini görünen yük olarak ifade eder N_q sayısı ise ilgili olduğu periyottaki toplam kısmi boşalma sayısıdır.

Burada $Q_{\pm}$ negatif veya pozitif yarı periyottaki toplam kısmi boşalma genliğini görünen yük olarak ifade eder N_q sayısı ise ilgili olduğu periyottaki toplam kısmi boşalma sayısıdır.

- Faz asimetrisi Φ kısmi boşalma başlangıç açısı φ 'nin negatif yarı periyottaki değerinin pozitif yarı periyottaki değerine oranıdır

$$\Phi = \frac{\varphi_{inc}^-}{\varphi_{inc}^+} \quad (3.15)$$

- Çapraz korelasyon katsayısı cc , $H_{qn+}(\varphi)$ ve $H_{qn-}(\varphi)$ şekillerinin birbirlerine olan benzerliğini gösterir. Çapraz korelasyon katsayısının formülü şöyledir.

$$cc = \frac{\sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i / n}{\sqrt{[x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n] \cdot [y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n]}} \quad (3.16)$$

Bu formülde x_i değeri pozitif yarı periyottaki faz penceresi içindeki ortalama kısmi boşalma genliğidir, y_i ise bu pencereye karşılık gelen negatif yarı periyottaki faz penceresi içindeki ortalama kısmi boşalma genliğidir. n sayısı ise her yarı periyotta tanımlanan faz penceresi sayısını ifade eder.

Eğer iki şekil birbirine tamamen simetrik ise cc sayısı 1 değerini alır. Eğer şekiller tamamen asimetrik ise cc 0 değerini alır. Fakat bu değer bize dağılımın yüksekliği hakkında bir bilgi vermez. Bunun için faz simetrisi Q veya faz asimetrisi Φ hesaba katılmalıdır. Genlik asimetrisi ve faz asimetrisi öyle ayarlanabilir ki tamamen simetrik olan bir fonksiyonda 1 değerini alırken, simetrik olmayan fonksiyonlarda birden küçük bir değer alabilirler. Çeşitli asimetri faktörleri daha öncekilerin çarpımı ile elde edilebilir. Bunun için modifiye edilmiş bir çapraz korelasyon katsayısı kullanılmıştır

- Modifiye edilmiş çapraz korelasyon katsayısı, mcc . Negatif ve pozitif yarı periyottaki kısmi boşalma işaretleri arasındaki benzerliği ölçmek için tanımlanan modifiye kros korelasyon faktörü, Q , Φ ve cc değerlerinin çarpımı olarak tanımlanır.

$$mcc = \Phi \cdot Q \cdot cc \quad (3.17)$$

Φ değeri hesaba katılmayıp 1 olarak kabul edilecektir.

- Tepe değeri sayısı P_e . Bu büyüklük bir tepe değerine sahip bir fonksiyon ile birden fazla tepe değerine sahip bir fonksiyonu ayırt edebilmek için kullanılır.

$$P_e = \sum \text{peak}(x_i) \quad (3.18)$$

Maksimum(x_i)'i nin bir değerini alabilmesi için $H_{qn}(\varphi)$ veya $H_n(\varphi)$ 'nin x_i faz penceresinde bir yerel maksimum değerine sahip olması gerekmektedir.

Bir faz penceresi içindeki yerel maksimum değeri şöyle tanımlanır.

Eğer aşağıdaki koşullar sağlanıyor ise,

$$\frac{d_{y_i-1}}{d_{x_i-1}} > 0 \quad (3.19)$$

ve

$$\frac{d_{y_i+1}}{d_{x_i+1}} < 0 \quad (3.20)$$

Her kısmi boşalma büyüklüğü kısmi boşalma hakkında kısmi bilgiler verir, büyüklüklerin birkaçının bir arada incelenmesi kısmi boşalma hakkında daha tanımlayıcı bilgiler verebilir.

Yıllar boyunca çeşitli kısmi boşalma büyüklükleri ortaya konmuştur. Bu büyüklükler üç bölümde incelenebilir. Aşağıdaki tablo bu büyüklükleri toplu halde göstermektedir [1-6].

Tablo 3.1. Kısmi boşalma büyüklükleri

Temel Büyüklükler	Bir işaret için	Gerilimin bir yarı periyodu için
	q_i görünen yük ϕ_i başlangıç açısı U_i başlangıç gerilimi W_i kısmi boşalma nedeniyle çekilen enerji ΔW_i kısmi boşalmaya neden olan kısımda Harcanan enerji	N_q kısmi boşalma darbe sayısı Q_s entegre edilmiş boşalma büyüklüğü W_s entegre enerji değeri U_{inc} başlangıç gerilimi U_{ext} sönme gerilimi q_{mean} görünen yükün ortalama değeri q_{max} görünen yükün maksimum değeri W_{mean} boşalma enerjisinin ortalama değeri W_{max} boşalma enerjisinin maksimum değeri
Türetilmiş Büyüklükler	Zamanın fonksiyonu olarak	Faz açısının fonksiyonu olarak
	N_q kısmi boşalma sayısı Q_s entegre boşalma büyüklüğü W_s entegre enerji büyüklüğü U_{inc} başlama gerilimi U_{ext} sönme gerilimi q_{mean} görünen yükün ortalama değeri q_{max} görünen yükün maksimum değeri W_{mean} boşalma enerjisinin ortalama değeri W_{max} boşalma enerjisinin maksimum değeri $H(q)$ boşalma genlik dağılım fonksiyonu $H(p)$ boşalma enerjisi dağılım fonksiyonu	$H_{qs}(\phi)$ Genlik dağılım fonksiyonu $H_n(\phi)$ darbe sayısı dağılım fonksiyonu $H_{qn}(\phi)$ ortalama genlik dağılım fonksiyonu $H_{qn}(\phi)$ max darbe genlik dağılım fonksiyonu
İstatistiksel İşlemler	S_k asimetri katsayısı K_u kurtosis keskinlik katsayısı Q kısmi boşalma asimetri katsayısı Φ faz asimetri katsayısı ρ kros korelasyon katsayısı ρ_{cc} modifiye edilmiş kros korelasyon katsayısı P_e tepe değeri sayısı	

4. ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ

Kısmi boşalma deneyleri, kısmi boşalmaların varlığının belirlenmesi, ölçülmesi, yerinin bulunması ve zarar ya da tehlikelerinin anlaşılmasını sağlayacak tahribatsız yüksek gerilim deneylerindendir.

Kısmi boşalma deneyleri genel olarak tek bir yüksek gerilim aygıtının laboratuvar veya buna benzer bir ortamda incelenmesi olarak gerçekleşse de, işletme anında gerilim altında da kısmi boşalma deneyi yapılabilir. Fakat işletme sırasında deney yapmak oldukça zordur. Zira gerilim altında ve sınırlı alanda çalışmak, buna ek olarak ta bir laboratuvarın bozucu işaret önleyici sistemlerine sahip olamamak bu yöntemin belirli dezavantajlarıdır. Tek yararlı yanı ise yüksek gerilim aygıtının sistem içinde çalışırken göstereceği kısmi boşalmaların saptanabilmesidir.

4.1. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesindeki Amaçlar

Kısmi boşalma ölçümü şu amaçlar doğrultusunda yapılır [3-6].

- a) Deney numunesinde, belirli bir gerilimde, belirli bir değerin üzerinde kısmi boşalmaların olup olmadığını saptamak.
- b) Gerilimin yükseltilmesi ile kısmi boşalmaların başladığı ve gerilimin azaltılması ile kısmi boşalmanın kesildiği gerilim genliklerini belirlemek

Kısmi boşalma başlama ve kesilme gerilimlerinin hesabı için değişik yaklaşımlar vardır [7]. Bunlardan bazıları;

- 1) Belirli bir büyüklükteki kısmi boşalmaların meydana geldiği minimum gerilime kısmi boşalma başlangıç gerilimi denilebilir.
- 2) Belirli bir süre içinde daha önce belirlenen sayıda kısmi boşalmanın meydana geldiği gerilime kısmi boşalma başlangıç gerilimi denebilir.

3) Yukarıdaki iki madde birleştirilip belli bir süre içinde belli büyüklükte ve sayıda kısmi boşalmanın ortaya çıktığı gerilime kısmi boşalma başlangıç gerilimi denilebilir.

c) Belirlenen bir gerilimde boşalma yeğinliğini (şiddetini) hesaplamak bir deney parçasında belirlenen deney koşulları altında oluşan kısmi boşalmaların miktarı birimleri belirlenmeden, “boşalma genliği” olarak adlandırılır.

4.2. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesindeki Genel Koşullar

4.2.1. Deney Parçasının Koşullanması

Deney parçası, denenmeden önce ilgili standartta belirlenen koşullama'dan (örneğin vakumda bırakma, yağ emdirme, nemli atmosferde bırakma, elektriksel ve mekanik zorlanma, ısı işlemler vb.) geçirilmelidir. Başkaca belirtilmemiş ise, deney parçası kuru ve temiz olmalı ve deney süresince ortam sıcaklığında tutulmalıdır.

Kısmi boşalma deney sonuçlarının tekrarlanabilmesi için, elektriksel, ısı ve mekanik koşullar iyice tanımlanmalı ve değişmez olmalıdır. Deney parçasına önceden gerilim uygulanmış ise, bu deney sonucunu etkileyebilir. Bir süre beklenmelidir.

4.2.2. Deney Gerilimi İçin Koşullar

Alternatif gerilimle yapılan kısmi boşalma deneyleri için deney gerilimi 40-62 Hz frekanslı, yaklaşık olarak sinüs eğrisi biçimli ve iki yarı dalga birbirine oldukça benzer olmalıdır. Deney geriliminde yüksek harmoniklerin genlikleri küçük olmakla birlikte kısmi boşalma koşullarını veya aletin gösterdiği değerleri doğrudan etkileyerek yanlış sonuçlara neden olabilir. Bu harmonikler, istenilen ölçme duyarlılığında etkileri görülmeyecek biçimde azaltılmalıdır.

Kısmi boşalma deneylerinde tekrarlanabilir deney sonuçları elde etmek için bütün ilgili faktörlerin dikkatlice kontrolü gerekir.

4.3. Kısmi Boşalma ile İlgili Gerilim ve Yeğlilik Değerlerinin Bulunması

4.3.1. Boşalmasız Güvenilir Gerilim Değerinin Bulunması

Deney parçasına, boşalmasız, güvenilir deney geriliminin çok altında bir deney gerilimi uygulanır; bu gerilim önceden belirlenen kısmi boşalmanın başlamadığı gerilim değerine yükseltilir ve bu değerde belirlenen bir süre tutulur. Bundan sonra uygulanan gerilim düşürülür ve kesilir. Boşalmalar belirli bir yeğliliği aşmamış ise, deney parçası deneyden olumlu geçmiş sayılır.

4.3.2. Kısmi Boşalma, Başlama ve Sönme Gerilimlerinin Saptanması

Deney parçasına, başla gerilim değerinin çok altında bir gerilim uygulanır ve boşalma belirli, düşük bir yeğliliği geçinceye kadar yavaş yavaş artırılır. Bu boşalma sınır değerindeki deney gerilimi kaydedilir. Bundan sonra deney gerilimi yaklaşık olarak %10 arttırılır; gerilim, boşalma kesilinceye veya boşalma belirlenen bir yeğliliğin altına düşüncüye kadar düşürülür ve bu boşalma sınır değerine karşılık olan gerilim kaydedilir. Bu işlem yüksek gerilim kaynağı devre dışı edilmeden en az üç kez veya tutarlı başlama ve sönme gerilimleri elde edilinceye kadar tekrarlanır. Eğer değerler tutarlı değil ise, anlamlı bir değer saptanuncaya kadar, yeter sayıda gözlem yapmak gereklidir.

Bazı yalıtım sistemlerinde ve birbirinin ardı sıra yapılan deneyler sırasında, uygulanan gerilim değerinin başlama geriliminin değerinin başlama geriliminin üstünde bir değerde tutulma süresi, sönme ve bunu izleyen başlama gerilim değerlerini etkileyebilir. Bununla birlikte, hiçbir durumda uygulanan gerilim deney cisminin yalıtımının dayanım gerilimini aşmamalıdır.

Yağ ve katı yalıtkan ile yalıtılmış deney cisimlerinin, bunların delinme gerilimlerine yakın değerde, tekrarlanarak uygulanan deney gerilimlerinden hasar görebilecekleri unutulmamalıdır.

Bazı durumlarda, oldukça düşük gerilim değerlerinde, deney süresinde anlık görülen ve kaybolan geçici kısmi boşalmalar görülebilir.

4.3.3. Kısmi Boşalma Yeğİnliğinin Ölçölmesi

Kısmi boşalma yeğinliği, belirli bir büyüklük cinsinden, beklenen kısmi boşalma başlama gerilimi değİerinden daha yüksek olabilecek belirli bir gerilim değİerinde ölçölür.

Gerilim, düşük bir değİerden belirlenen değİere yükseltilir ve belirlenen bir süre o değİerde tutulur. Bu süre sonunda kısmi boşalma yeğinliği ölçölür ve daha sonra gerilim değİeri düşürölür ve kesilir.

4.4. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçölmesinde Kullanılan Yöntemler

Kısmi boşalmaların ölçölmesi elektriksel olmayan yöntemler ve elektriksel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır.

4.4.1. Elektriksel Olmayan Yöntemler

Kısmi boşalmanın ölçölübilmesi için elektriksel olmayan çeşİtli yöntemler vardır. Bunlar;

a) İşİtsel (Gürölütü-Akustik) Belirleme: Sessiz bir ortamda kısmi boşalmaların tıslama şeklindeki gürölütüsünü kulakla dinleyerek kısmi boşalmaların belirlenmesi çok kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin duyarlılığı, deneyi yapanın kulağına, deney yerinin temel gürölütü düzeyine ve kısmi boşalma yerine çok bağlıdır. Çok sessiz bir ortamda, çok hassas bir kulakla 50 pC'luk boşalmalar duyulabilir. Ölçİmelerde dinleme borusu, kulaklık, mikrofon veya duyarlı ses alıcıları gibi yardımcı elemanlar kullanılarak duyarlılık ve ayırt edicilik sağlanabilir.

b) Görsel (Işık-Vizüel veya Optik) Belirleme: Bu yöntem, yüzeysel ya da dış kısmi boşalmalarla, saydam ya da yarı saydam katı yalıtkanlardaki iç kısmi boşalmaları belirlemek için kullanılabilir. Karanlık bir odada gözleri karanlığa alışmış ve direkt deney düzeneğine bakan bir gözlemci, gerekirse dürbün de kullanarak yüzeysel boşalmalarla, katı yalıtkan içindeki yüzeye yakın boşalmaları gözle görebilir. Özellikle gözle fark edilemeyen yüzeysel boşalmalar fotoğraf yardımıyla belirlenebilir.

c) Sıcaklık Ölçme Yöntemi: Bu yöntemde kısmi boşalmaların neden olduğu sıcaklık artışından yararlanılır. Bu yöntemin duyarlılığı ve kullanımı azdır.

d) Basınç Ölçme Yöntemi: İletken ile yalıtkan arasındaki hava aralığında hava basıncı ölçülerek kısmi boşalmalar incelenebilir. Bu yöntemin uygulaması çok sınırlıdır.

e) Kimyasal Bozulmaların ve Kısmi Boşalma İzlerinin İncelenmesi: Kısmi boşalmaların neden olduğu kimyasal bozulmaların ve yanma izlerinin incelenmesiyle kısmi boşalmaların yeri ve yayılması konusunda oldukça yararlı bilgiler edinilebilir.

4.4.2. Elektriksel Yöntemler

Elektriksel olmayan yöntemlerin kullanımı çok yaygın değildir ve verdiği bilgiler sınırlıdır. Kısmi boşalmanın varlığı ve yeri belki elektriksel olmayan yöntemlerle belirlenebilir ama kısmi boşalma büyüklükleri hakkında çok kesin bilgiler alınamaz. Bu yüzden elektriksel yöntemlerin kısmi boşalma ölçülmesinde çok önemli yeri vardır.

Elektriksel yöntemlerde kullanılan ölçme devreleri şunlardır.

4.4.2.1. Deney Devreleri

Kısmi boşalma deneyleri için çeşitli devreler kullanılabilir. Bu devrelerin tanıtılmasından önce devrelerde sıkça kullanılan bileşenlerin tanıtımının yapılmasında yarar vardır. Bunlar;

1. Bir deney parçası, çoğu kez bir kapasite olarak düşünülebilir. Devrede C_a olarak gösterilmiştir.
2. Bir kuplaj kondansatörü C_k veya ikinci bir deney parçası C_{a1} ,
3. Bir ölçü empedansı Z_m (ve bazen ikinci bir empedans Z_{m1})
4. Bir ölçü cihazı
5. Besleme kaynağının bozucu etkisini azaltmak ve yüksek gerilim kaynağından gelen boşalma darbelerini önlemek için kullanılan bir empedans veya filtre.

Yüksek gerilim kaynağının gerilimi ve gücü (kVA) kuplaj kondansatörü ve bütün deney cisimlerine uygun olmalıdır. En büyük kısmi boşalma deney geriliminde kısmi boşalmasız olmalıdır. Yüksek gerilim kaynağı normal transformatör veya seri rezonans tipi kaynak olabilir. Ölçme düzenine giden ölçme gerilimi normal olarak kapasitif bölücüden veya C_b den alınır. Yüksek gerilim işaretinin şeklide alınabilir olmalıdır.

Kuplaj kondansatörü en yüksek deney geriliminde kısmi boşalma yapmamalıdır. Bazı durumlarda, özellikle büyük bir kuplaj kondansatörü gerektiğinde veya dengeli devrelerde, kuplaj kondansatörünün yerine ikinci bir deney parçası kullanılır. Kondansatörün yalıtkan yüzeyleri temiz ve kuru tutulmalıdır. Kondansatörün kapasitesi, kısmi boşalma deneyinde yeterli duyarlılık elde edecek şekilde seçilmelidir. Farklı uygulamalar için farklı kapasite değerleri istenebilir. C_k ile deney cismi arasındaki yüksek gerilim ve topraklama bağlantıları, kısmi boşalma deneyi için çok önemlidir. C_k ile deney cismi olabildiğince yakın olmalıdır. C_b ile deney cismi arasındaki bağlantılar olabildiğince kısa yapılmalıdır.

Ölçü empedansı genellikle bir direnç veya sönümlenmiş, ayarlı bir devreden oluşur ve genellikle dört uçlu bir empedans gibi çalışır. Bu empedans kuplaj kondansatörü ve deney parçası ile birlikte ölçülen darbelerin süresini ve biçimini belirler. Ölçü empedansı deney kaynağı frekans bileşenlerinin cihaza erişmesini engelleyecek biçimde tasarlanabilir. Kuplaj kondansatöründen akan tüm 50/60 Hz'lik akımı geçirebilmelidir. Ölçü devrelerinde genellikle iki çeşit ölçü empedansı kullanılmaktadır. Birincisi darband denilen, Z ölçü empedansının band genişliğinin 10 kHz olduğu ve 20 ve 30 KHz arasında konumlandığı durumdur. Geniş bantlı ölçü empedansı verilen ikinci ölçü empedansının band genişliği 100 kHz civarındadır ve genellikle 200 ve 300 kHz arasında konumlandırılır [8]. Her iki empedanstan alınan işaretle, kuvvetlendiricinin yardımı ile kolayca değerlendirilebilir.

Deney cismindeki kısmi boşalmalar, devreye yük aktarılmasına ve ölçü empedansındaki akım darbelerinde yükselişlere neden olur. Ortaya çıkan gerilim darbeleri daha biçimlendirilerek ve yükseltilerek ölçü aletine aktarılır. Bu nedenle ölçü empedansı kısmi boşalma ölçme aletine uyumlu olmalıdır.

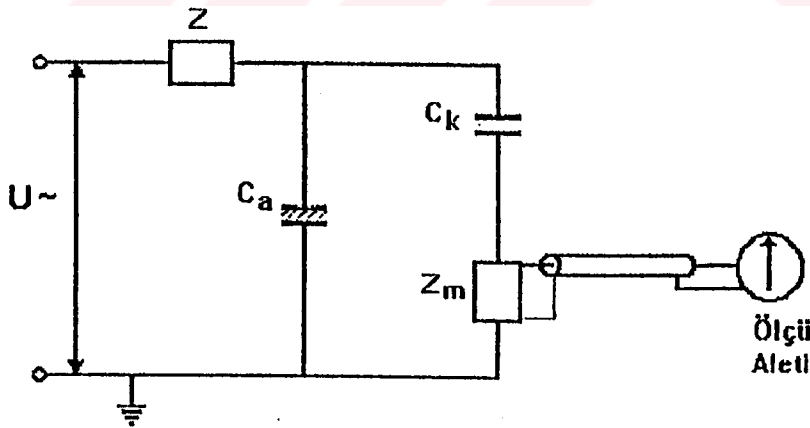
Dikkat edilmesi gereken bir konu da yüksek gerilim ve topraklama bağlantılarıdır. Tüm yüksek gerilim bağlantıları üzerlerinde korona olmayacak biçimde yapılmalıdır. Bunun için büyük çaplı iletken veya borular kullanılabilir. Tüm bağlantılar kontak probleminde yol açmayacak sıkılıkta yapılmalıdır ve olabildiğince kısa olmalıdır. Yüksek gerilim bağlantıları ile topraklı cisimler arasında yeterli güvenlik açıklıkları bırakılmalıdır. Topraklama bağlantıları güvenli ve sağlam olmalıdır. Genellikle düşük topraklama direnci istenir (<1 ohm). Deney alanı topraklaması, parazitleri önlemek için diğer topraklamalardan ayrı yapılmalıdır. Tüm topraklama bağlantıları kısa ve düşük endüktanslı iletkenlerle yapılmalıdır. Topraklama bağlantıları genel olarak yıldız şeklinde yapılmalıdır. Ekranlı bir odada iyi bir performans elde edebilmek için topraklamaya gerekli özen ve dikkat gösterilmelidir.

Ölçme devresi çevrimi içinden işaret, kontrol veya topraklama kablosu geçmemelidir.

4.4.2.2. Dolaysız Ölçme Yöntemleri

Deney Cismi ile Ölçü Empedansının Paralel Bağlı Olma Durumu

Bu devrede, ölçü aleti kuplaj kondansatörünün toprak tarafına yerleştirilmiştir. Deney parçasının yüksek gerilim kaynağı ile toprak arasına doğrudan bağlanmasının yararı, bu devrenin sade oluşudur.



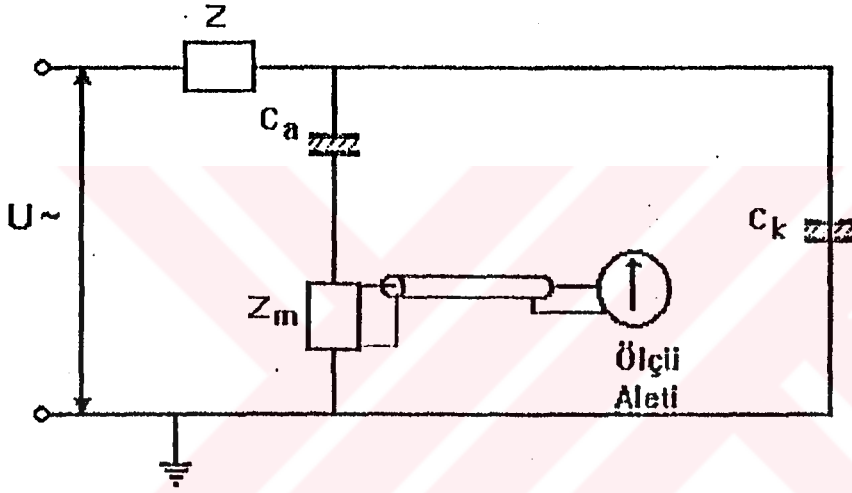
Şekil 4.1. Deney cismi ile ölçü empedansının paralel bağlı olduğu ölçme devresi

Ölçü aletinin bant genişliği içerisindeki frekanslarda, deney parçasının yüksek gerilim kaynağından (empedans Z ile) ayrılması önemlidir; yoksa boşalma darbeleri kaynak empedansı yolu ile devreye geçebilir. Eğer deney parçası büyük ise, ölçü

empedansını paralel bağlamak, boşalmalar sonucu deney parçasından akacak büyük akımlardan koruma sağlar.

Deney Cismi ile Ölçü Empedansının Seri Bağlı Olma Durumu

Deney cisminin kapasitesinin küçük ve topraktan yalıtılabilir olduğu durumlarda ölçme empedansı ya da dört uçlusunun deney cismi ile seri bağlandığı devrelerde kullanılabilir. Bu devrede, ölçme cihazı kuplaj kondansatörünün toprak tarafına yerleştirilmiştir. Bu nedenle deney parçasının alçak gerilim tarafı toprağa karşı yalıtılmalıdır. Bu devrenin titreşimleri azaltıcı özellikleri vardır; eğer C_k , C_a dan büyük ise bozucu etkenler C_a/C_k oranında azalır.



Şekil 4.2. Deney cismi ile ölçü empedansının seri bağlı olduğu ölçme devresi

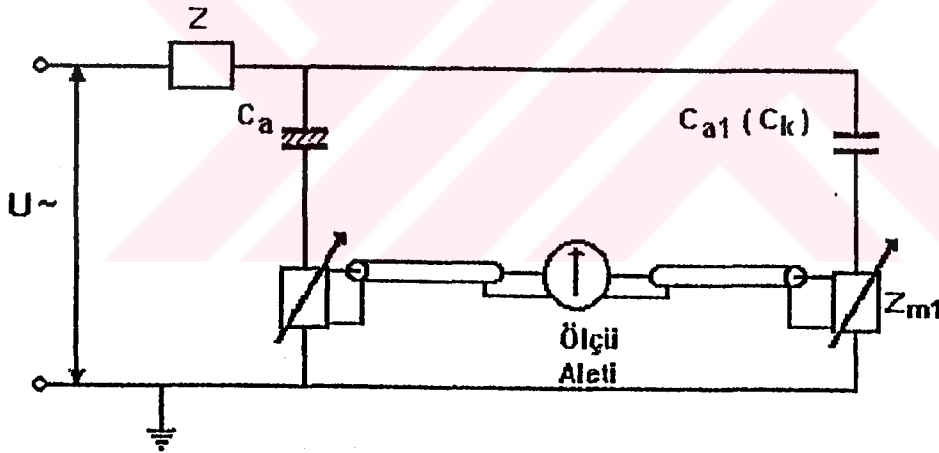
Kısmi boşalmalar tespit edildiği zaman, kısmi boşalmanın numunede mi yoksa devrede mi olduğu sorusu gündeme gelir. Dolaysız ölçme yöntemleri ile buna bir yanıt bulmak pek kolay değildir. Dolaysız yöntemler, basit olması ve numunenin topraklanması nedeni ile rutin deneylerde çok kullanılır. Genel olarak, bir kişi deney numunelerini ardarda deneyebilir. Fakat bir kısmi boşalma saptandığında, deney genişletilmelidir. Dolaysız yöntemler uzun süreli deneyler de kullanılırlar. Bu deneyler bir deney parçasının ısıtılması veya belli bir süre aşırı gerilim uygulanması olabilir.

4.4.2.3. Dolaylı Ölçme Yöntemleri

Köprü Yöntemi

Elektriksel gürültülerin fazla olduğu ortamlarda deney yapmak gerektiğinde ve devreye süzgeç koymanın veya deney alanını ekranlamanın yeterli olmadığı durumlarda Şekil 4.3.'te genel olarak gösterilen köprü devrelerinin kullanılması önerilir. Bu devrede deney cismi ve kuplaj kondansatörü (veya ikinci bir deney cismi) birer ölçü empedansı ile seri bağlanıp topraklanmıştır. Z_m ve Z_{m1} 'e bağlı kısımların kapasitelerinin birbirine eşit olması gerekmez, ancak özellikle yakın değerlerde olmalıdır ve en iyi sonuçlar için dielektrik kayıp faktörleri eşit olmalıdır. Devrenin dış bozucu etkenleri azaltma özelliği vardır. Bu dört uçlunun çıkışından alınan işaretler bir ölçü aleti ile değerlendirilir.

Devre bir yüksek frekans Schering köprüsü olduğundan bu yönteme köprü yöntemi adı verilir.



Şekil 4.3. Köprü yöntemi ile ölçme devresi

Köprü yöntemi dolaysız yöntemlere göre daha duyarlıdır. Daha çok dolaylı yöntemlerle belirlenen kısmi boşalmaların incelenmesinde ve üretim aşamasındaki prototiplerin geniş bir kontrolünde kullanılır. Köprü yöntemi dış etkilerin ve dış boşalmaların olduğu durumlarda kullanılabilir. Dengenin değişmesi ile dış kısmi boşalmalar büyük bir aralıkta değişebilirler fakat buna karşılık iç kısmi boşalmaların değerinde neredeyse yok denecek kadar az bir değişim gözlenir. Köprü yönteminin kötü yanı karmaşık olması ve deney numunesinin topraklanamamasıdır. Numunenin

topraklanabildiği çeşitli devreler vardır, fakat bu devrelerde köprü yönteminin bazı avantajları kaybedilir.

Kayıp Ölçme Yöntemleri

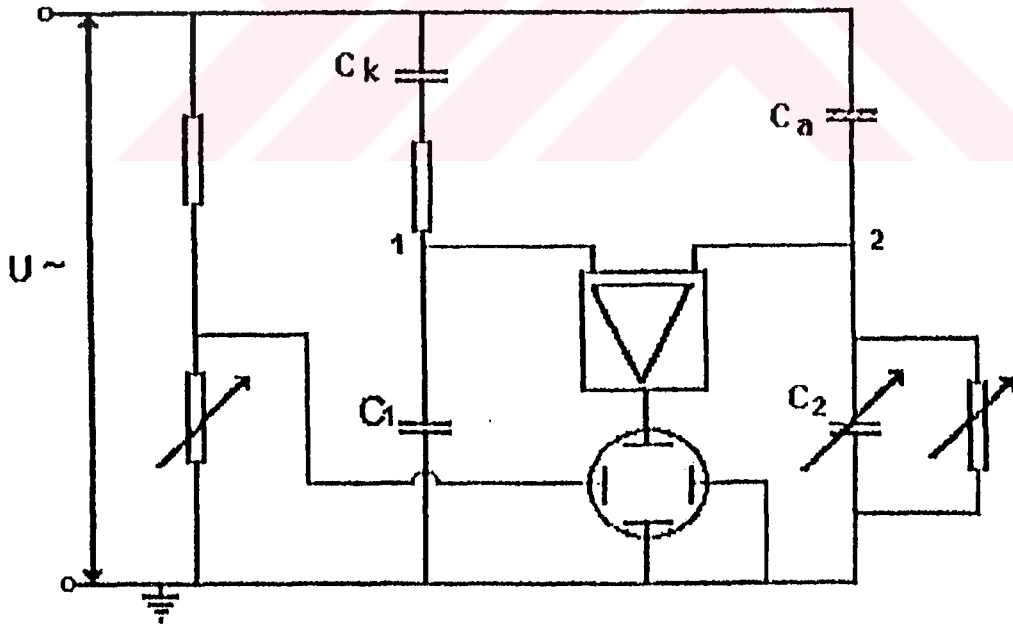
Kısmi boşalma kayıplarının ölçülmesi ile kısmi boşalmaların belirlenmesinde çevrim izleme yöntemiyle bir osiloskoptan yararlanılır.

Şekil 4.4 'te görüldüğü gibi köprü devresinde osiloskobun düşey saptırma girişine, köprünün ölçü aletine giden uçlarından ve yatay saptırma girişine ise deney geriliminden bir bölücü yardımı ile alınan alçak gerilim uygulanır.

Böylece osiloskopta görünen kapalı çevrimin alanı gerilimin bir periyodunda kısmi boşalmaların enerjisini verir.

Bu yöntemin kullanılmasında dielektrik kayıp faktörünün, kısmi boşalma etkileri dışında gerilim ile değişmediği kabul edilmiştir.

Ayrıca kısmi boşalma kayıplarının, iletkenlik ve dipol kayıplarından ayırt edilmesi gerekir.



Şekil 4.4. Kayıp ölçme yöntemleri için ölçme devresi

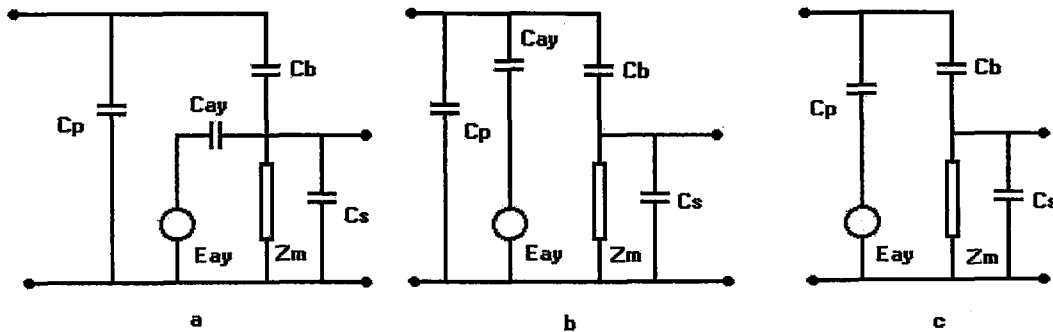
4.5. Kısmi Boşalma Ölçü Devrelerinin Ayarı

Genel olarak iki ayrı yapı ve ölçme şekline sahip ölçü aleti mevcuttur. Bunlar daha önce bahsettiğimiz gibi dar bandlı ve geniş bandlı ölçü aletleridir [7,9]. Bunlardan birincisi kısmi boşalma darbelerinin tepe değerini ölçen ancak bunu (pC) biriminde darbe yükü (görünen yük) olarak ifade eden aletlerdir. Bunlar darbenin tepe değerini ölçmek için çok sayıda harmoniği toplayacak geniş bir frekans bandı olan amplifikatörlere gerek duyarlar. Bunun için bu tür ölçmeye (pC) ölçme ve ölçü aletine de geniş bandlı ölçü aleti denir.

Diğer tür ölçü aletlerinde ise yalnızca tek bir frekanstaki (çoğunlukla 1 MHz deki) harmonik ölçülür. Bunun için kullanılan radyo parazit ölçü aletleri (RIV-Radio Interference Voltmeter) gerçek tepe değere yaklaşan ağırlıklı ortalama ya da yaklaşık tepe değeri ölçerler. Bu RIV metrelerin de ölçme frekansında band genişliği 10 kHz kadar çok dar olduğundan ve (μV) olarak değer verdiğinden bunlara da darbandlı ya da (μV) ölçü aleti ve böyle ölçmeye de darbandlı ya da (μV) ölçme yöntemi denir. Bu iki ayrı ölçme aletinin ve bunların uygulandıkları ölçme devrelerinin ayarı (kalibrasyonu) oldukça farklılıklar gösterir [10-12].

4.5.1. Geniş Bandlı (pC) Ölçü Devrelerinin Ayarı

Bunun için devreye belirli noktalardan bilinen genlikte (yükte) ayar darbeleri verilir ve ölçü aleti üzerinden ölçü aletine gelen işaret bunula karşılaştırılıp devre ona göre ayarlanır. Ayar darbeleri çok dik cepheli (ideal olarak basamak fonksiyonu şeklinde) bir gerilim darbesi veren bir kaynak ile buna seri bağlı küçük bir kondansatörden sağlanır.



Şekil 4.5. Geniş bandlı ölçü aletlerinin kalibrasyonu

Bu ayar darbeleri ya ölçü empedansının uçlarına Şekil 4.5.(a) daki gibi veya deney cisminin uçlarına paralel olarak Şekil 4.5. (b) deki gibi normal ölçü devresinde uygulanır. Bir üçüncü yol da Şekil 4.5. (c) de olduğu gibi bilinen bir genlikte basamak fonksiyonu veren gerilim kaynağını deney cismi ile seri bağlamaktır. Bu üç yoldan sırasıyla dolaylı (indirekt), dolaysız (direkt) ve gerilim ile ayar şekilleri denir.

İlk ikisinde C_p deney cisminin kapasitesi ile C_b kuplaj kapasitesinin yeri değiştirilirse sonuç bundan etkilenmez. Bu devrelerde görülen U_{ay} ile basamak gerilimi veren bir kaynak, C_{ay} ile de ayar (kalibrasyon) kapasitesi gösterilmiştir. Z_m bilindiği gibi ölçü dörtüçlusu (ya da empedansı) ve C_s de ölçü aletine giden uçlar arasındaki kaçak kapasitedir. Ancak yüksek gerilim iletkenlerinin endüktansı ve toprağa kaçak olan kapasitesi hesapların kolaylığı yönünden ihmal edilmiştir. Ayrıca C_{ay} nin C_p ve C_b yanında çok küçük olduğu varsayılmıştır.

4.5.1.1. Dolaylı (İndirekt) Ayar

Şekil 4.5 (a) da Z_m in uçlarında ayar darbesinin neden olduğu gerilimin tepe değeri U'_m , devreye göre

$$q_{ay} = U_{ay} \cdot C_{ay} \quad (4.1)$$

olduğundan,

$$U'_m = \frac{q_{ay}}{\frac{C_b \cdot C_p}{C_a + C_p} + C_s} \quad (4.2)$$

bulunur. Aynı şekilde deney cismindeki görünen yükün de Z_m uçlarında meydana getireceği gerilimin tepe değeri ise

$$U_m = \frac{q}{C_p \cdot \left(1 + \frac{C_s}{C_p}\right) + C_s} \quad (4.3)$$

olur.

Bu iki işaret (gerilim) aynı yapıldığında ölçülmek istenen q görünen yükü ayar darbesinin q_{ay} yükü cinsinden:

$$q = q_{ay} (1 + C_p / C_s) \quad (4.4)$$

olarak hesaplanır.

4.5.1.2. Dolaysız (Direkt) Ayar

Şekil 4.5. (b) de de öncekine benzer bir düşünceyle U_m ve U'_m eşitlenirse.

$$q = q_{ay} \quad (4.5)$$

elde edilir.

4.5.1.3. Gerilim ile Ayar

Şekil 4.5. (c) de deney cismi ile seri bağlanan U_{ay} gerilim darbesinin ve deney cismindeki bir kısmı boşalmanın ölçü empedansında meydana getirdikleri U_m ve U'_m gerilimleri eşitlenirse.

$$U'_m = \frac{U_{ay} \cdot C_p}{C_p \left(\frac{1 + C_s}{C_b} \right) + C_s} = U_m = \frac{U \cdot C_p}{C_p \left(\frac{1 + C_s}{C_b} \right) + C_s} \quad (4.6)$$

ve dolayısıyla $U_{ay} = U$ olduğu göz önüne alınarak q görünen yükü

$$q = U_{ay} \cdot C_p \quad (4.7)$$

bulunur.

Önceden yapılmış deneysel ve teorik incelemelerden, anlatılan ayar şekillerinden (b) deki dolaysız ayarın en inandırıcı olduğu kanısına varılmıştır. Şekil 4.5.(b) deki devrede kuplaj ve deney cismi kapasitelerini bilmeye gerek kalmadan tüm deney düzeni ayarlanabilir. Yalnız bu devreye dikkat edilirse ancak deney gerilimi uygulanmaksızın (boşta) ayar yapılabilir. Çünkü ayar darbeleri kaynağı yüksek gerilim varken devreye bağlanamaz. Ancak C_{ay} kondansatörü de bir yüksek gerilim kondansatörü olmak üzere yüksek gerilim kaynağından beslenen bir ayar devresiyle buna ulaşılabilir ise de oldukça pahalı bir düzen gerektirir. Eğer ayar kaynağının

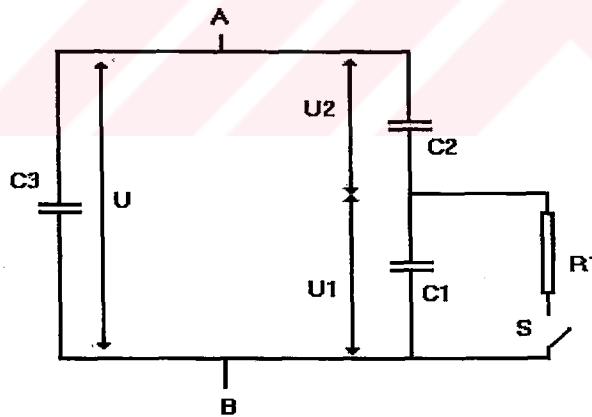
uçlarından görünen toprağa kaçak kapasite, deney cisminin kapasitesi yanında çok küçük kalıyorsa herhangi bir düzeltme de gerekmez.

Şekil 4.5. (a) daki dolaylı ayarda ise tüm deney devresi yerine yalnızca ölçü aleti ayarlanmış olur. C_b ve C_p nin değerlerini bilmek gerekir ki q görünen yükünün değeri hesaplanabilsin. Ancak bu sakıncanın yanında bu ayar şekli, devre yüksek gerilim altındayken de kullanılabildiği için öncekine göre çok daha kullanışlı ve ucuzdur.

Şekil 4.5.(c) deki gerilim ile ayar devresi ancak kapasitesi doğru olarak bilinen deney cismi ile yük cinsinden ayarlanabilir. Bununla beraber birbirinin tam eşiti olmayan iki deney cisminin kullanıldığı köprü devrelerinde bazı zorluklar ortaya çıkar. Diğer bir sakınca, deney gerilimi altında ayar yapmak olanaksızdır ve ayar için de devrenin değiştirilmesi gerekir. Son bir sakınca da ayar kaynağı uçlarından görünen toprak kaçak kapasitesi, diğer iki ayar şekline göre daha kötü etkir.

4.6. Bir Boşluğun Eşdeğer Devresinde Akan Yük ve Görünen Yük

Şekil 4.6'da eşdeğer devre gösterilmiştir. Yalıtkanın yapısı ve durumu göz önüne alınarak hemen $C_2 \ll C_1 \ll C_3$ olarak varsayılabilir.[12]



Şekil 4.6.Eşdeğer Devre

Boşluğun uçlarındaki U_1 gerilimi U_d değerine ulaşınca boşalma olur ve gerilim hızla U_1 değerine düşer. Buna göre

$$q_1 = C_1.(U_d - U_{1a}) = C_1.\Delta U_1 \quad (4.8)$$

kadar bir yük boşlukta akar. Bu sırada C_3 üzerindeki U gerilimi $(U-\Delta U)$ değerine düşerken C_2 nin uçlarındaki U_2 gerilimi ise $(U-\Delta U)$ ya yükselir ki, C_3 den C_2 ye ΔQ kadar bir yük verir. Bunlara göre yük dengesi kurulursa:

$$C_1 U_d + C_2 (U - U_d) + C_3 U - C_1 (U_d - U_{1a}) = C_1 U_{1a} + C_2 (U - \Delta U - U_{1a}) + C_3 (U - \Delta U) \quad (4.9)$$

Boşalmadan önceki toplam yük	Kayıp yük	Boşalmadan sonraki toplam yük
---------------------------------	-----------	-------------------------------

bulunur. Denklem 4.9 dan ΔU gerilim düşümü çekilirse

$$\Delta U = (C_2 / (C_2 + C_3)) / (U_d - U_{1a}) \quad (4.10)$$

olur.

Bu gerilim düşümü dış devreden yani gerilim kaynağından karşılanmalıdır. C_1 kısadevre olduğundan yalnız C_2 ve C_3 paralel kalmıştır. O halde ΔQ yükü dış

$$q = \Delta Q = \Delta U (C_2 + C_3) = \frac{C_2}{C_2 + C_3} (U_d - U_{1a}) \cdot (C_2 + C_3) \quad (4.11)$$

devreden bu iki kondansatöre akar. Dış devrede bu etkiyi yaratan yüke görünen yük q denilmiştir. Yani görünen yük.

$$q = C_2 (U_d - U_{1a}) \quad (4.12)$$

olarak hesaplanmış olur . Denklem 4.10. ve 4.11 de U_{1a} gerilimi çok küçük olduğundan ihmal edilirse daha basit olarak şunlar elde edilir.

$$\Delta U = \frac{C_2}{C_2 + C_3} U_d \quad (4.13)$$

burada da $C_3 \gg C_2$ olduğundan paydadaki C_2 ihmal edilebilir ve

$$\Delta U = \frac{C_2}{C_3} \cdot U_d \quad (4.14)$$

ve

$$q = C_2 \cdot U_d \quad (4.15)$$

olur. Görüleceği gibi q yükü (görünen yük) ile q_1 boşluktaki gerçek yük arasında oldukça büyük bir fark vardır.

ΔU gerilim farkının 10^{-6} ila 10^{-8} gibi çok kısa bir zaman içerisinde karşılanması gerekir. Oysa yüksek gerilim transformatörü ve bağlantı iletkenlerinin şimdiye dek ihtimal edilen endüktif etkisi buna izin vermediğinden, C_b kuplaj kondansatörü bir gerilim kaynağı görevini üstlenip gecikmeden yükün karşılanmasını sağlar. Yine önemli bir nokta da görünen veya gerçek yük, deney cisminin kapasitesinden bağımsızdır.

4.7. Kısmi Boşalma Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçme devresi yardımı ile elde edilen kısmi boşalma verilerinin analiz edilmesi bilgisayar yardımı ile veya direkt olarak olmak üzere iki şekilde yapılabilir [13-14].

Direkt olarak yapılan değerlendirmede elde edilen veriler osiloskop veya buna benzer bir ölçme düzeninde ekrana getirilir. Bu ölçme düzenleri genellikle kısmi boşalma işaretlerinin maksimum ve toplam değerini bulabilir. Fakat ortaya çıkan şeklin yorumlanması tamamen ölçmeyi yapan kişinin bilgi ve yeteneğine bırakılmıştır. Bu da ölçüm için çok deneyimli ve bilgili kişilerin varlığını gerektirir ki, bu da her zaman mümkün değildir. Ayrıca kısmi boşalma işaretlerinin zamana göre değişimini bu yöntemde izlemek çok zordur ve kısmi boşalma verileri daha sonra tekrar değerlendirilmek için saklanamaz. Bu açıdan yapılan deneyin diğer deneylerle karşılaştırılması olanağı yoktur.

Bu ve bunun gibi nedenlerden ötürü kısmi boşalma deneylerinde bilgisayarların kullanımı gittikçe önem kazanmıştır. Bilgisayar yardımı ile yapılan bir değerlendirmede ölçmeyi yapan kişinin çok deneyimli ve çok bilgili olmasına gerek yoktur. Zira bilgiler alındıktan sonra değerlendirmeyi bilgisayar yapar. Ayrıca zamana göre değişimler bilgisayar yardımı ile incelenebilir.

Daha da önemlisi elde edilen bilgiler daha sonra tekrar kullanılmak için saklanabilir. Belli yüksek gerilim donanımları ve kısmi boşalma türleri için yapılan kısmi boşalmalar kaydedilerek daha sonra yapılacak olan ölçümler için bir bilgi bankası oluşturulabilir. Daha sonra yapılan deneyler için elde edilen ölçüm sonuçları ile bilgi bankasındaki ölçüm sonuçları karşılaştırılıp bir sonuca ulaşılabilir.

Kısmi boşalma deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen verinin incelenmesi o anda yapılabilir (on-line) veya bu bilgiler daha sonra incelenmek üzere saklanıp değerlendirme daha sonra (off-line) yapılabilir. On-line yapılan deneylerde ölçme devresi ile bilgisayar arasında gerekli zaman uyumunu sağlamak çok önemlidir. On-line yapılan deneylerde bilginin zamanında alınıp analiz edilip deney sırasında ekrana yazdırılabilmesi için çok hızlı bilgisayarlara gerek duyulur. Off-line sistemlerde ise kısmi boşalma verileri alınıp daha sonra ölçme bittikten sonra değerlendirme yapılır. Donanım gereksinimleri on-line değerlendirmeye göre daha azdır. Fakat bilgisayar yardımı ile yapılan testlerde genelde temel büyüklükler on-line olarak bulunurken, türetilmiş veya istatistiksel büyüklükler ise off-line hesaplanır.

4.7.1. Zamana Göre Analiz

Geçmiş yıllarda bant genişlikleri 500 ve 1000 MHz olan ölçme devreleri ile çok ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Eğer kısmi boşalma işaretinin tam şekli elde edilmek isteniyor ise yüksek frekanslarda ölçüm yapmak zorunludur ama tam şekli istenmiyorsa 100 MHz'lik bir bant genişliği olan detektörde işe yarayabilir. SF6 gazlı yalıtım sistemlerinde kısmi boşalma darbesi 2 ns saniyelik bir sürede meydana geldiği için ölçme frekansı 2000 MHz'lere kadar yükselmek zorundadır. Basit bir devrenin şekli aşağıdaki gibidir. Zamana göre yapılan analizde kısmi boşalmanın gerçek şekli nanosaniyelik bir skalada görüntülenir. Bu şekillerden kısmi boşalmanın fiziksel durumu, türü ve yalıtkanın yaşlanması ile ilgili bilgilere ulaşılmaya çalışıldı.

Bu yöntemin faza göre incelemeye göre önemli farklılıkları vardı. Bu yöntemin dezavantajlarından biride VHF ölçme devrelerinin endüstriyel deney alanlarında kullanılmasının zorluğu idi. Ayrıca kısmi boşalma darbesinin ölçülmesinde, hatalı kısım ile ölçüm dedektörü arasındaki yolda uğradığı şekil bozuklukları elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bunun için güç transformatörü gibi karmaşık bir yapıya sahip aygıtların zamana göre incelenmesi zordur.

Buna karşılık zamana göre analiz yönteminin iyi yönleri de yok değildir. Kısmi boşalma darbesini meydana getiren hatalı kısmın fiziksel yapısı ile darbenin şekli direkt olarak bağlantılıdır. Özellikle yalıtkanın yaşlanmasıyla beraber darbe şekillerinin değişim gösterdiği bilinmektedir [15]. Ve ayrıca böyle yüksek

frekanslarda ölçüm yaparken, gürültüler klasik detektörlerin bant genişliğinde olduğu kadar problem çıkarmaz.

Zamana göre ölçüm yapmak çok güçlü ve hızlı yazılım ve donanımlar gerektirir. Bunun için bu tür ölçmeler daha çok kısmi boşalma işaretinin gerçek şeklinin görülmesi gereken temel ölçmeler için yapılır.

4.7.2. Faz Açısına Göre Analiz

Bu ölçüm yönteminde kısmi boşalma işaretlerinin frekans spektrumu birkaç yüz kHz mertebelerine indirgenir. Bu tür ölçme de 1 MHz'lik bir örnekleme frekansı kullanılabilir ama 100-400 kHz'lik band genişliğine sahip konvensiyonel ölçme aletleri de yalıtım sistemlerinin deneylerinde uluslararası kuruluşlarca kabul görmektedir [4-6].

Bu tür incelemede klasik kısmi boşalma detektörleri kullanılır ve 50/60 Hz'lik bir sinüs dalgası üzerine oturtulmuş kısmi boşalma diyagramları incelenir. Bu sinüs dalgaları çok bildiğimiz klasik sinüs dalgalarıdır. Kısmi boşalma diyagramları kısmi boşalmanın meydana geldiği kısmın fiziksel durumunu yansıtır. Aynı zamanda kısmi boşalma diyagramlarının şekli ile kısmi boşalma türü arasında sıkı bir bağlantı vardır.

Faz açısına göre yapılan incelemenin özellikle endüstriyel uygulamalarda olmak üzere bazı avantajları vardır.

Bu yöntem kısmi boşalmanın olduğu yer ile ölçüm detektörü arasındaki elektriksel yoldan bağımsızdır. Kısmi boşalma detektörünün faz açısını ve kısmi boşalma işaretinin büyüklüğünü alması yeterlidir, bu işaretin bir transformatör sargısı veya bir kondansatörden gelmesi çok büyük önem taşımaz. Sadece ϕ açısı ve q değeri önemlidir.

Yine aynı sebeplerden dolayı faz açısına göre inceleme ölçü aletinin tipinden veya kuplaj kondansatöründen bağımsızdır.

Bu yöntemle gerekli olan en önemli şey ölçü aletinin ölçme duyarlılığının yaklaşık 1 μ s olmasıdır. Ayrıca bu yöntemde sadece bir periyot için değil, birden fazla periyot için veri toplanmalıdır.

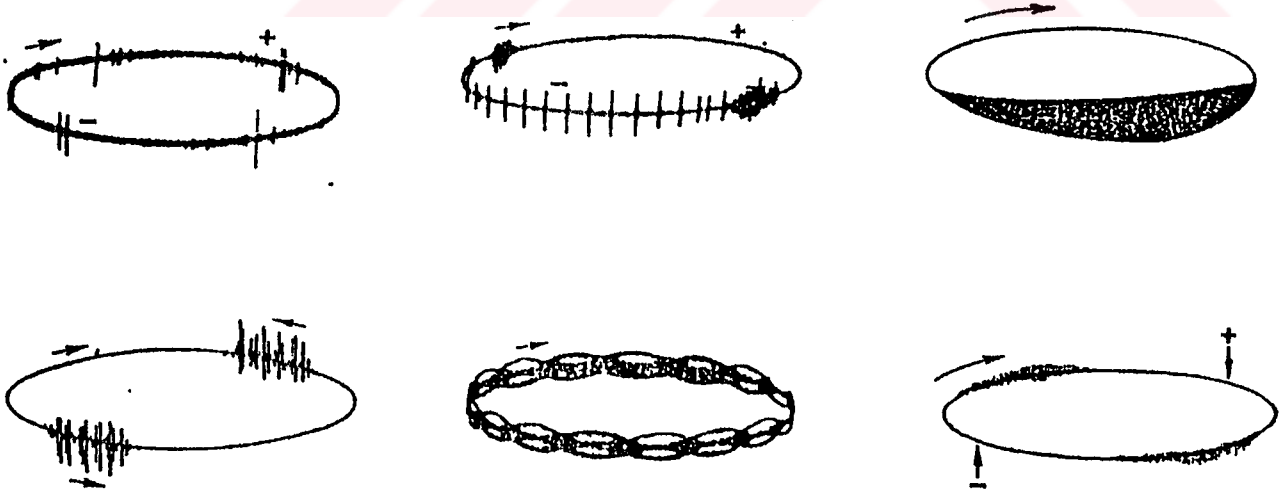
Zamana göre analizde gereken yüksek donanım gereksinimleri burada çok yüksek değildir. Kullanılan donanım ve yazılım işareti işlemekten çok alınan sinyalden temel ve türetilmiş büyüklükleri hesaplayabilmek için kullanılır.



5.KİSMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜNDE BOZUCU ETKENLER VE ÖNLEMLER

5.1. Kısmi Boşalma Ölçülmesindeki Bozucu Etkenler

Bir kısmi boşalmada deneyinde erişilebilir maksimum duyarlılık, deney devresinin kendi içinden ve dışardan gelen elektriksel bozucu etkenlerin (parazitlerin) kısmi boşalma detektörünün iç gürültü düzeyinin altına indirilmesi ile gerçekleşir. Bilindiği gibi bu bozucu etkenler ya devrenin kendi iç yapısından gelen boşalmalar yada dış ortamdan devreye kapasitif, endüktif veya toprak kuplajı ile giren işaretler olabilir. Her şeyden önce bu istenmeyen işaretlerin ölçülmek istenen kısmi boşalmalardan ayırt edilmesi gerekir. Bu darbelerin özelliklerinden ve alternatif gerilim dalgası üzerinde meydana geldikleri noktalar veya bölgeler yardımıyla bozuculardan ayırt edilmesi osiloskop üzerinde mümkündür. Özellikle dış bozucu etkenler deney gerilimi sıfıra düşürülse bile varlığını korur. Bunlar Şekil 5.1.de görüldüğü gibi deney geriliminin bir periyotluk kısmı osiloskop üzerinde eliptik olarak elde edilir.



Şekil 5.1. Kısmi boşalma ölçümünde bazı bozucu işaret örnekleri

Şekil 5.1. (a) da görülen bozucu, bir periyotta 1,2,3,4,6, veya 12 ayrı darbecik şeklinde, birbirinden hemen hemen eşit uzaklıkta ise bunlar yakında bulunan bir tristor kontrollu veya civa buharlı doğrultucudan kaynaklanır ve oldukça şiddetlidir. (b) de görülen türde iki grup yığılmış ve aralarında dağılmış ayrık darbecikler, bir flüoresan lambadan kaynaklanan boşalmalardır. (c) de çalışma frekansı deney devresinin frekans bandında bulunan ses ötesi (ultrasonik) generatörün etkisidir. (d) ise zaman bazı üzerinde dönen darbe grupları bir asenkron makinanın bozucu etkisidir. (e) deki gibi modüle edilmiş sinüs dalgaları bir radyo yayınıdır. (f) deki gibi yalnız gerilimin sıfır noktaları civarında düzensiz şekilde yığılmış ancak ortaya doğru genlikleri artan darbeler de kötü değen bir bağlantı noktası yada anahtardan (kontakten) ileri gelebilir.

5.2. Bozucu Etkenlere Karşı Alınması Gereken Önlemler

Bütün bu bozucu etkenlere karşı bunların kaynağına göre şu önlemler alınabilir:

Yüksek gerilim kaynağından şebeke yoluyla geçen bozucular için yalnız deney gerilimi frekansını geçiren bir filtre konulabilir. Bundan başka bu filtrenin basit (aynı zamanda ucuz) olması için yüksek gerilim kaynağından önce bir izole transformatör konulursa, bu simetrik bileşenleri süzer ve böylece filtre yalnız simetrik olmayan bileşenleri süzmek için kullanılır. Bir çare de ölçme devresini değiştirip köprü devresi kullanmak olabilir.

Ölçü dörtüçlusu ile ölçü aleti birbirine uygun seçilmeli ki, işaretin bozucuya oranı en yüksek değerde olsun.

Devre elemanları mümkün olduğu kadar birbirine yakın yerleştirilip devrenin yaygınlaşması dolayısı ile endüktif etkiler azaltılabilir. Deney cismi ve kuplaj kondansatörü olduğu kadar birbirine yakın yerleştirilirse alçak ve yüksek bağlantı iletkenleri de kısalmır. Eğer ölçü empedansı deney cismine çok yakın konulamıyorsa aralarındaki bağlantı ya eş eksenli kablo veya bükülmüş iletkenlerle yapılmalıdır.

Deney elemanlarının topraklanması tek bir noktaya bağlanmalı ve yüksek gerilim kaynağı veya dedektör üzerinden ilave topraklama yapılmamalıdır.

Yüksek gerilim taşıyan iletkenler ve deney elemanları kısmi boşalmasız yani keskin kenar ve sivri uçlardan arınmış düz ve pürüzsüz olmalıdır.

Deney alanı içerisinde gereksiz iletken parçalar topraklanmamış olarak bulundurulmamalıdır. Ayrıca topraklı cisimlerden de gerilim taşıyan kısımların açıklıkları herhangi bir boşalma olmayacak derecede uzak bulundurulmalıdır.

Deney elemanlarının birbirine bağlandığı noktalarda metallerin birbirine değmesi sıkı bir şekilde yapılmalıdır. Diğer yüksek gerilim deneylerinde olduğu gibi yalnızca değmesi yeterli değildir. Çünkü bu noktalarda kontak gürültüsü olabilir.

Yukarıda sayılanlardan başka özel teknikler gerekebilir..Örneğin ölçü aleti deney devresinden oldukça uzak ise ekranlı bir eşeksenli bir kablo kullanıp bunu yalnızca bir noktada topraklamak gerekir.

Radyo yayınlarından sakınmak için darbandlı ölçü devrelerinde ölçü devresinin çalışma frekansı radyo yayınının dışına kaydırılır. Ancak geniş bandlı ölçmede ise radyo yayın frekansını söndüren keskin filtre kullanılmalıdır.

5.3. Bozucuların Sayısal Yollarla Yok Edilmesi

Bir önceki bölümde bozucuların ölçme düzeneğine ve ölçme sonuçlarına etki etmemesi için dikkat edilmesi gereken önlemler anlatılmıştı. Fakat ne kadar dikkat edilse de bozucuların varlığı kaçınılmazdır.

Standart ölçme yöntemlerinde bütün bu önlemlerin alınması ile bozucuların yok edildiği ve ölçme düzeneğine gelen işaretin kısmi boşalma işareti olduğu varsayılır. Ölçmeyi yapan kişi bozucu işaretleri de kısmi boşalma işaretleri gibi gözlemler ve bu da ölçmenin doğruluğunu etkiler.

Bilgisayar yardımı ile yapılan sayısal işaret analizlerinde ise bozucuların devreden kısmi boşalma işareti ile alınabilmesine karşın bu bozucular tespit edilebilir ve kısmi boşalma işaretinden ayırt edilebilir. Bozucuların kısmi boşalma işaretlerinden ayırt edilebilmesi için çeşitli yöntemler vardır.

5.3.1. Maksimum Kısmi Boşalma Genliğine Göre Yok Etme

Delft Üniversitesinden Edward Gulski yaptığı deneylerde her ölçüm cihazının kendine özgü bir bozucu bastırma karakteristiği olduğunu kabul etmiştir. Bu karakteristik yüzde cinsinden bir değer olarak karşımıza çıkar. Maksimum kısmi boşalma alınır ve bozucu bastırma oranı ile çarpılır ve bu yeni çıkan oranın altındaki kısmi boşalmalar bozucu olarak nitelendirilir. Mesela bozucu bastırma oranı %10 olan bir ölçümede, maksimum kısmi boşalma genliği 10 pC olsun. Buna göre 1 pC'un altındaki işaretler bozucu olarak değerlendirilecektir [14,16].

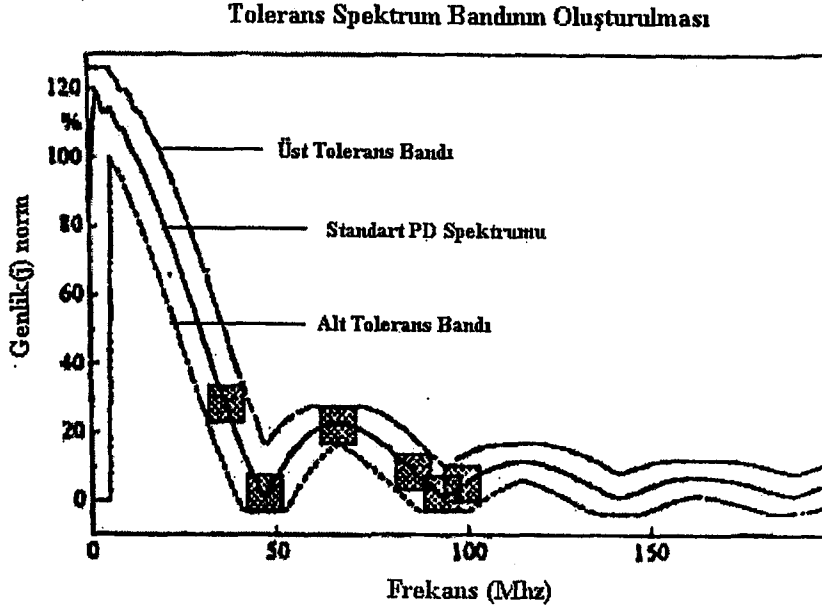
5.3.2. Tolerans Band Metodu, Çapraz Korelasyon Analizi ve Korelasyon Faktor Analizi

Yapılan bir çalışmada ise kısmi boşalma işaretlerinin bozucu işaretlerden ayırt edilebilmesi için 3 ayrı yöntem uygulanmıştır [17]. Bunlar;

5.3.2.1. Tolerans Band Yöntemi

Bu yöntemin temeli kısmi boşalma işaretinin spektrumunun çıkarılması ve ölçülen işaretlerin bu spektrum ile karşılaştırılmasıdır. Spektrumun oluşturulması için özel bir kısmi boşalma kalibratörü kullanılır veya bir örnek kısmi boşalma geriliminin üstünde bir gerilime tabi tutulur. Ölçülen değerler Fast Fourier Dönüşümü kullanılarak frekans domenine aktarılır. Bir örnek için çeşitli spektrumlar oluşturulur. Bu spektrumlar incelenerek temel bir spektrum elde edilir. Test edilecek her ürün çeşidi için birkaç darbe spektrumu oluşturmak ve bunları ortalamasını almak gerekir. Bu spektrumlar her örnek türü için bir defa oluşturulur ve daha sonra da kullanılabilir.

Daha sonra oluşturulan bu spektrum üzerine bir tolerans band yerleştirilir. Şekil 5.2.'de de görüldüğü üzere hem genlik hemde frekans için bir tolerans verilir. Genlik toleransı değişik darbe büyüklüklerinden ve iç kayıpların değişiminden oluşan farklılıkları kompanze etmek, frekans tolerans bandı ise örneğin kapasitesi nedeni ile oluşacak faz kaymalarını kompanze etmek için koyulmuştur.



Şekil 5.2. Tolerans bandın oluşturulması

Ölçülen işaretin spektrumu FFT ile hesaplanır ve daha önce oluşturulan tolerans bandla kıyaslanır. Eğer ölçülen işaretin spektrumunun %80 ve daha fazlası tolerans bandın içinde kalıyorsa, bu işaret bir kısmi boşalma olarak nitelendirilir , diğer hallerde bu bir bozucu işarettir.

5.3.2.2. Korelasyon Faktör Analizi

Diğer bir yöntemde Korelasyon Faktör Analizidir. Korelasyon faktör analizi iki işaret arasında belli parametrelere bakarak bir benzerlik katsayısı oluşturur. Standart PD spectrumu ile ölçülen işaret arasında KFA analizi ile bir benzerlik bulunmaya çalışılır.

Korelasyon katsayısı şöyle bulunabilir.

Bu yöntemde önce kovaryans bulunmalıdır.

$$c_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i \cdot w_i) \quad (5.1)$$

Burada n toplam veri sayısı olmak üzere,

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad w_i = y_i - \bar{y}$$

x_i ve y_i veri ve x ve y ise standart spektrumun ve ölçülen spektrumun ortalama değerleridir.

Korelasyon faktörü normalize edilmiş kovaryans yardımı ile şöyle hesaplanabilir.

$$cf_n = \frac{c_n}{\sqrt{v_{\text{mean}}^2 \cdot w_{\text{mean}}^2}}, \quad (5.2)$$

$$v_{\text{mean}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2$$

$$w_{\text{mean}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i^2$$

cf_n değeri -1 ve $+1$ arasında bir değer alır. Eğer karşılaştırılan iki veri dizisi birbiri ile doğru orantılı ise korelasyon katsayısı 1 e yakındır. Eğer iki veri dizisi birbiri ile ters orantılı ise bu değer -1 e yakındır. Eğer iki veri dizisi arasında hiçbir bağlantı yoksa veya bu bağlantı az ise bu değer 0 'a yakındır.

Korelasyon faktör analizi hem frekans hemde zaman domeninde veri dizisinin normalizasyonuna gerek duyulmadan uygulanabilir.

5.3.2.3. Çapraz Korelasyon Analizi

Kros korelasyon analizinde korelasyon faktör analizi gibi iki fonksiyonu belli yönlerden karşılaştırır. Fakat bu sefer ortaya çıkan sonuç bir benzerlik katsayısı değil bir benzerlik fonksiyonudur.

Zaman domeninde ccf şu şekilde hesaplanır.

$$ccf(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i-j+1), \quad j \in [1, N] \quad (5.3)$$

Burada N , $x(i)$ ve $y(i)$ veri dizileri için toplam veri sayısıdır.

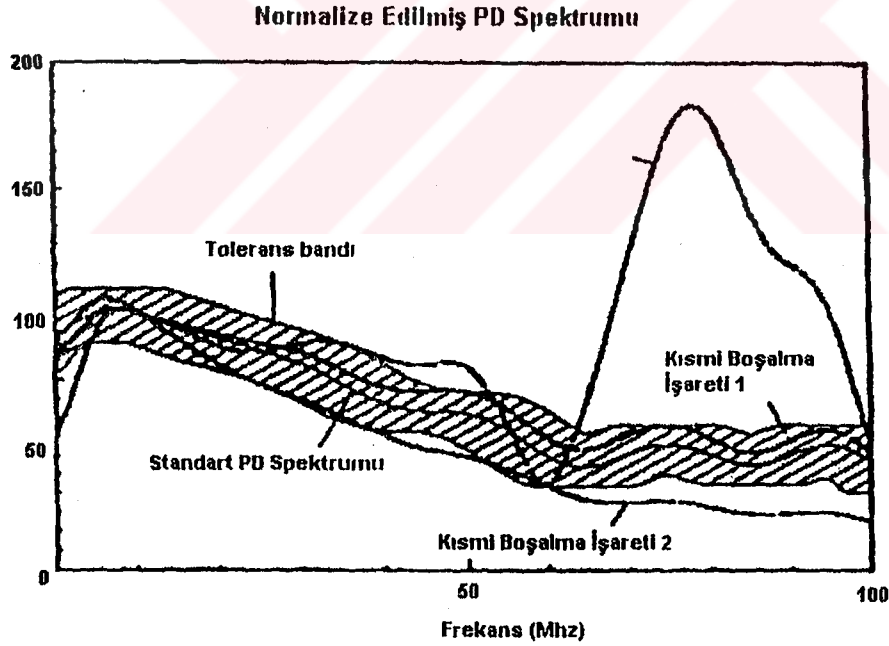
Bir karşılaştırma yapılabilmesi için ccf, acfx ve acfy otokorelasyon katsayıları ile normalize edilmelidir. Buna göre normalize edilmiş kros korelasyon katsayısı;

$$ccf_{norm}(j) = \frac{ccf(j)}{\sqrt{acf_x \cdot acf_y}} \quad (5.4)$$

Normalizasyon sonrasında $ccf_{norm}(j)$ kros korelasyon fonksiyonunun -1 ve $+1$ arasında bir değer aldığı görölür. ccf_{norm} fonksiyonun aldığı en büyük değer iki fonksiyon arasındaki ilişkiyi, işareti ise iki işaretin arasındaki faz ilişkisini gösterir.

Korelasyon faktör analizinde olduğu gibi kros korelasyon analizi de frekans veya zaman domeninde veri dizisinin normalize edilmesine gerek duyulmadan uygulanabilir.

Şimdi bu yöntemlerin kullanıldığı bir metodu inceleyelim. Aşağıdaki Şekil 5.3'te 3 işaret ve tolerans bandı gösterilmiştir. Bu işaretlerden ikisi kısmi boşalma sinyali, biri ise bozucudur.



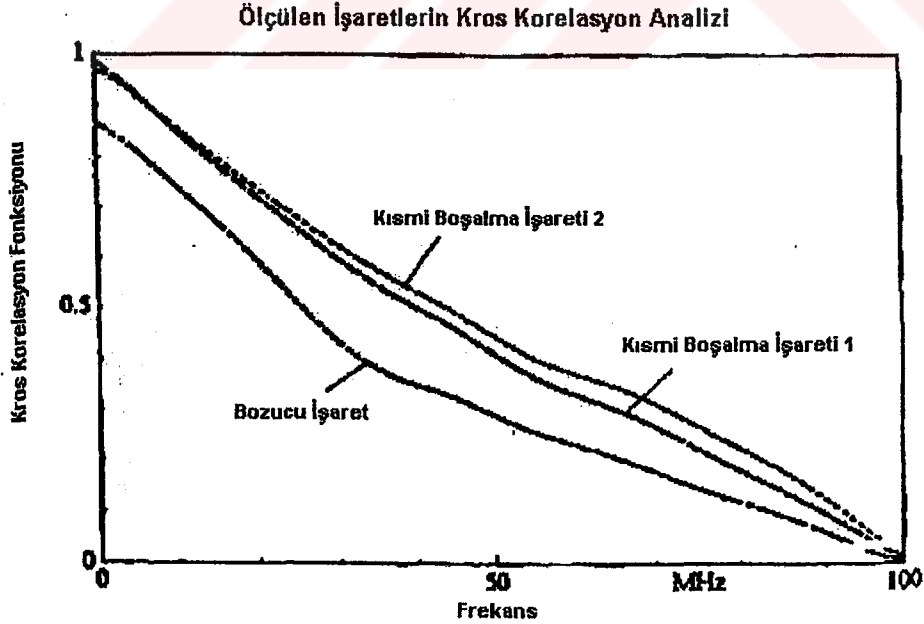
Şekil 5.3. Tolerans band ve ölçülen işaretler

Yukarıda bahsedilen üç test için ölçüm değerleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Kısmi boşalmalarda bozucuların elimine edilmesi için gerçekleştirilen bazı testler için ölçüm değerleri.

İşaret Türü	Tolerans bandın içinde kalan data oranı	Korelasyon faktörü	Kros Korelasyon katsayısının maksimum değeri
Kısmi boşalma işareti 1	98 %	0.998	0.998
Kısmi boşalma işareti 2	41 %	0.975	0.978
Bozucu işaret	43 %	0.845	0.874

Tablo 5.1. ve Şekil 5.3'te de görüldüğü üzere 2 numaralı işaret bir kısmi boşalma işareti olmasına rağmen tolerans metoduna göre bir bozucu olarak nitelendirilebilir. Özellikle 50 Mhz ve üstü frekanslarda ikinci kısmi boşalma işaretinin tolerans metodunun dışına taşıdığı gözlenmektedir. Bu tolerans bandının genişletilmesi veya frekans aralığının daraltılmasıyla düzeltilse de, bu iki yöntem tolerans band metodunun güvenilirliğini azaltır. Buradan tolerans band metodunun transformatör gibi büyük kapasiteye sahip ve rezonans frekansı 50 MHz'in altında olan aletlerin testinde kullanılabilir bir metod olduğunu ama rezonans frekansı 50 Mhz 'in üstünde olan düşük kapasiteli aletlerin testinde çok doğru bilgiler veremediği ortaya çıkar.



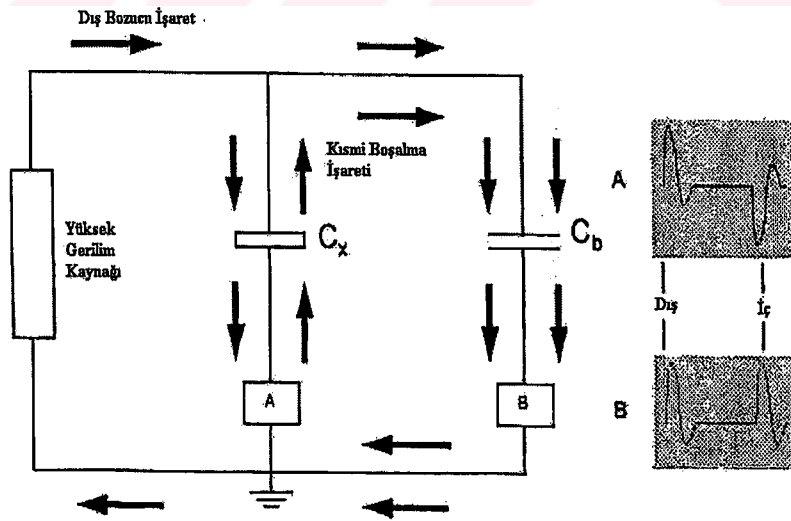
Şekil 5.4. Ölçülen işaretlerin çapraz korelasyon analizi

Tolerans band metodu ile birlikte korelasyon ve kros korelasyon yöntemlerinden birinin veya her ikisinin birden kullanılması ile birlikte alınan işaretin bozucu işaret mi yoksa kısmi boşalma işareti mi olduğu anlaşılır. Kros korelasyon analizinin uygulanması çok kısa sürmediği için zamanın önemli olduğu testlerde, rutin testlerde ve online testlerde genellikle tolerans band metodu ile birlikte korelasyon analizi tercih edilir

5.4. Çift Empedans Yöntemi

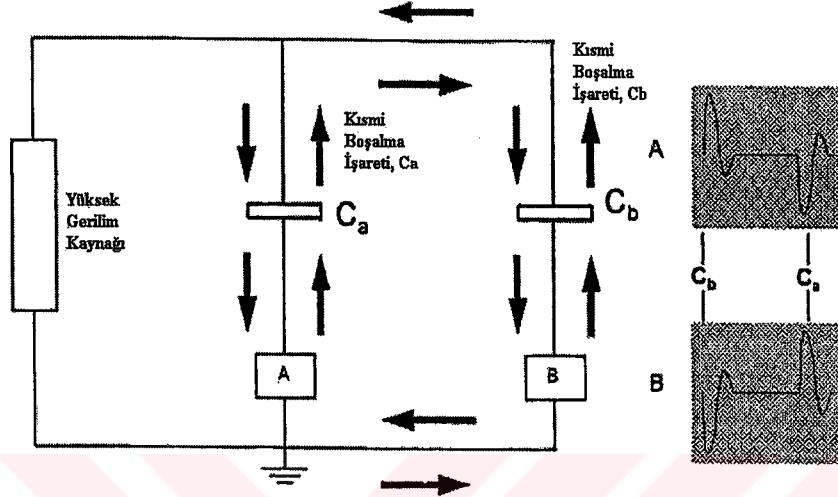
Bundan önce incelenen iki yöntemde çok kullanışlı değildir. Birincisinde belli bazı boşalmaların da bozucularla birlikte ihmal edilme olasılığı vardır. Yüksek gerilim ekipmanında oluşabilecek darbelerin maksimum genliği kadar toplam yükünde önemi büyüktür. Zira zararı veren aslında akan toplam yüküdür. İkinci yöntemlerde ise her işaret için teker teker testleri yapmak, çok fazla işaretin olduğu ölçümlerde çok zaman alır ve kolay uygulanabilir değildir. Fakat yukarıda anlatılan yöntemler kullanılan yöntemlere örnek olması açısından anlatılmıştır.

Kullanılan bir başka bozucu ayırma sistemi ise basit ve uygulaması kolay bir yöntem olan çift ölçme empedansı yöntemidir. Dr.David Hillier'in geliştirdiği bu yöntemde bir ölçme empedansı yerine iki ölçme empedansı kullanılır ve bu iki işaret karşılaştırılır [18,19].



Şekil 5.5. Bozucuların çift ölçme empedansı ile belirlenmesi

Eğer bir empedanstan alınan işaret, diğer empedanstan ters yönlü alınabiliyor ise bu işaret bir kısmi boşalma işaretidir. Eğer bir empedanstan alınan işaret diğer empedanstandan aynı yönlü alınıyor veya hiç alınmıyor ise bu işaret bir bozucu demektir. Bu yöntemle aynı zamanda kısmi boşalma işaretinin test edilen örnekten mi, yoksa kuplaj kondansatöründeki bir iç boşalmadan mı geldiği anlaşılabilir.



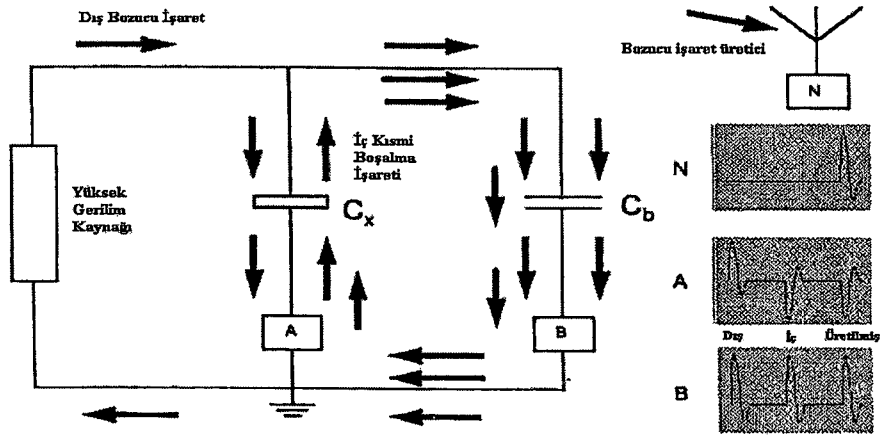
Şekil 5.6. Çift empedans ile ölçmede çift örnek kullanımı

Ayrıca şekil 5.6'da da gösterildiği gibi kuplaj kondansatörü yerine ikinci bir örnek koyularak bir nevi köprü devresi de oluşturulabilir. Zira ölçü empedanslarından akan akımın yönüne göre kısmi boşalmaya neden olan örnek belirlenebilir.

Bu yöntemle kısmi boşalmalarda bozucu işaretlerden korunmak için kullanılan bazı yöntemler göz ardı edilebilir. Özellikle ekranlanmış odaya ihtiyaç duyulmaması çok önemli bir gelişmedir. Üretici firmaların yaptıkları rutin testlerde ekranlı odanın büyüklüğü, örneğin bu odaya getirilip test edilip çıkarılması, bazı örnekleri bu odaya sokmanın zorluğu ve bunlar nedeniyle bir günde yapılabilen test sayısının azlığı gibi çeşitli sorunlar vardır. Ama bu yöntem ile bütün bu sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Zira dış bozucuların çift empedans ile ölçme sisteminde, kısmi boşalma işaretlerinden ayırt edilmesi çok kolaydır.

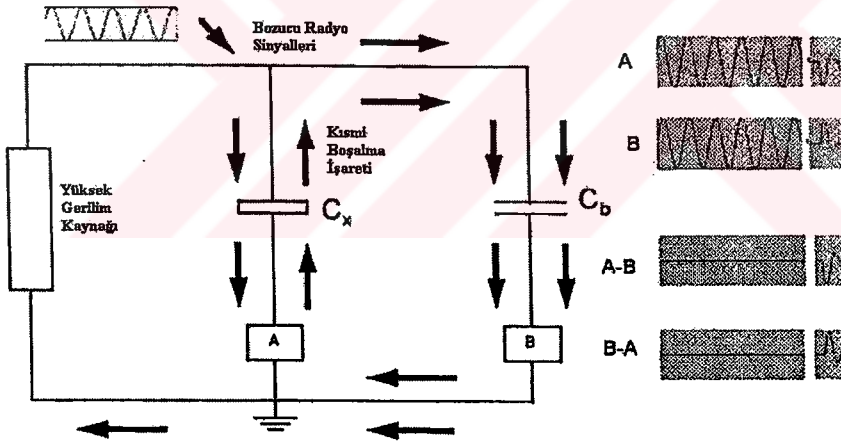
İlerleyen sayfalarda çeşitli bozucu işaretlerin bu yöntem ile tesbit edilmeleri gösterilmiştir.

Aşağıdaki devrede dış devreden gelen bozucu işaretler ile birlikte, ölçme düzeneğini etkileyen bir işaret oluşturulmuştur. İşaretlerin akış yönleri ve ölçü empedanslarındaki görünüşleri şekildeki gibidir.



Şekil 5.7. Çift ölçme empedansı yönteminde dış bozucular

Şekil 5.8’de radyo sinyallerinin bozucu etkisinin çift empedans ile ölçme yönteminde yok edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Çift ölçme empedansı yönteminde radyo işaretleri

6. KISMİ BOŞALMA ANALİZ SİSTEMİ

Kısmi Boşalma Analiz Sistemi, elektriksel kısmi boşalmaların bilgisayar destekli ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş bir sistem ve bir bilgisayar programının bu çalışma kapsamında verilmiş adıdır. Geliştirilen program, kısmi boşalma verilerinin Hewlett Packard HP54600B marka osiloskoptan RS232 seri veri kablosu ile bilgisayara alınarak bilgisayarda işlenmesi amacıyla Microsoft Visual Basic 5.0'da yazılmış bir programdır.

Kısmi boşalma verileri osiloskoptan alınırken, osiloskop ekranı üzerindeki görüntüyü oluşturan veriler alınmaktadır, osiloskoptan sürekli bir işaret alınması söz konusu değildir. KBAS programı osiloskoptan verilerin alınması ile birlikte gerekli büyüklükleri hesaplar ve kullanıcının bilgisine sunar. Programda, osiloskop ile bilgisayar arasında bağlantı kurulabilmesi için HP54600.OCX isimli aktif kontrol bileşeni kullanılmıştır.

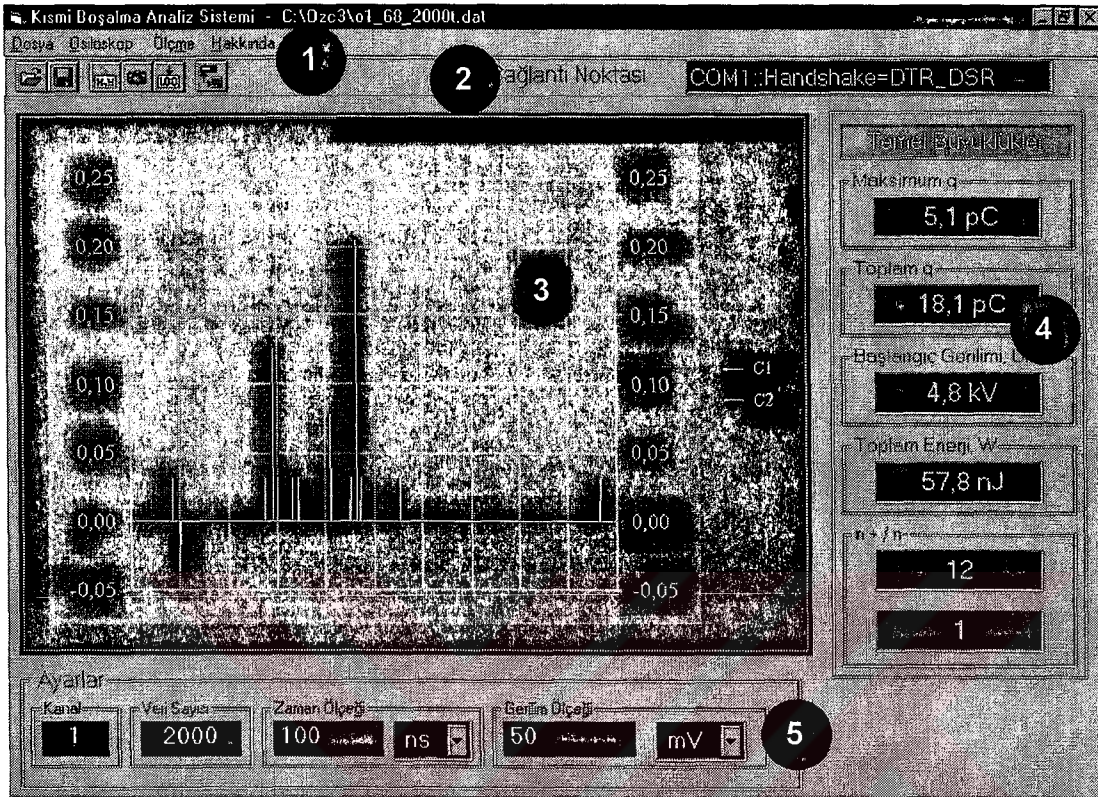
Program yazılırken bazı temel, türetilmiş ve istatistiksel büyüklüklerin hesaplanması amaçlanmış ve program kodu bu büyüklüklerin bulunması için düzenlenmiştir. İleride başka kısmi boşalma büyüklüklerinin bulunması istenirse tekrar kolayca düzenlenebilir.

Program osiloskop ekranı üzerindeki işareti veri olarak bilgisayara aktardığı ve daha sonra bu verilerden kısmi boşalma büyüklüklerini hesapladığı için programı osiloskop ile şekli alınabilen bütün diğer işaretler içinde düzenlemek mümkündür. Yalnızca bu verilerin ilgili sisteme göre tekrar değerlendirilmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Bu açıdan bu program diğer sistemlerle ilgilenen kişiler içinde iyi bir örnek oluşturacaktır.

Geliştirilen programın önce görsel bölümleri tanıtılıp bilgi verilecek, daha sonra programın iç yapısı anlatılacaktır.

6.1. Kısmi Boşalma Analiz Sistemi'nin Bölümleri

Programın genel görünümü (ana arayüzü) Şekil 6.1'deki gibidir.



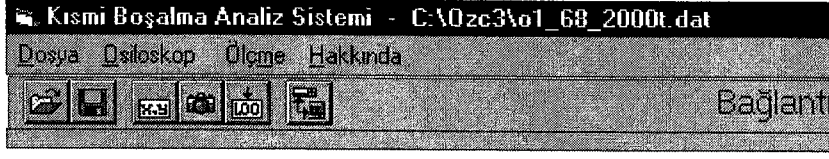
Şekil 6.1. Kısmi Boşalma Analiz Programı ana arayüzü

Programın ana arayüzü Şekil 6.1'de de gösterildiği gibi beş bölümden oluşmaktadır.

1 numaralı bölümde genel komut menüleri yer almaktadır. 2 numaralı bölüm ise araç çubuğudur. 3 numaralı bölümde osiloskop üzerinden alınan verilerin çizdirildiği veya osiloskop ekran görüntüsünün gösterildiği grafik ve görüntü bölümü yer alırken, 4 numaralı bölüm ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin gösterildiği büyüklükler bölümüdür. 5 numaralı bölümde ise genel ölçme ayarları gösterilmektedir.

6.1.1. Genel Komut Menüleri

Programa özelliklerini kullanmak ve zenginleştirmek amacıyla menüler eklenmiştir.



Şekil 6.2. Genel komut menüleri

Şekil 6.2.'de de görüldüğü üzere 4 adet komut menüsü mevcuttur. Bunlar “Dosya”, “Osiloskop”, “Ölçme” ve “Hakkında” menüleridir. Her menü alt menülere sahiptir. Aşağıda bu menülerin içindeki komutlar açıklanacaktır.

6.1.1.1. “Dosya” Menüsü



Şekil 6.3. “Dosya” menüsü

“Dosya” menüsünde 4 adet komut bulunmaktadır. Bunlardan birincisi “Dosya Aç” komutudur. Bu komut, ölçme sırasında elde edilip bilgisayarda veya herhangi bir diskte “dat” uzantılı olarak saklanan verilerin daha sonra değerlendirilebilmesi amacıyla yüklenmesini ve programda açılmasını sağlar. Bu komutla Windows’un Aç menüsü üzerinden alışılagelen dosya açma işlemi başlatılır.

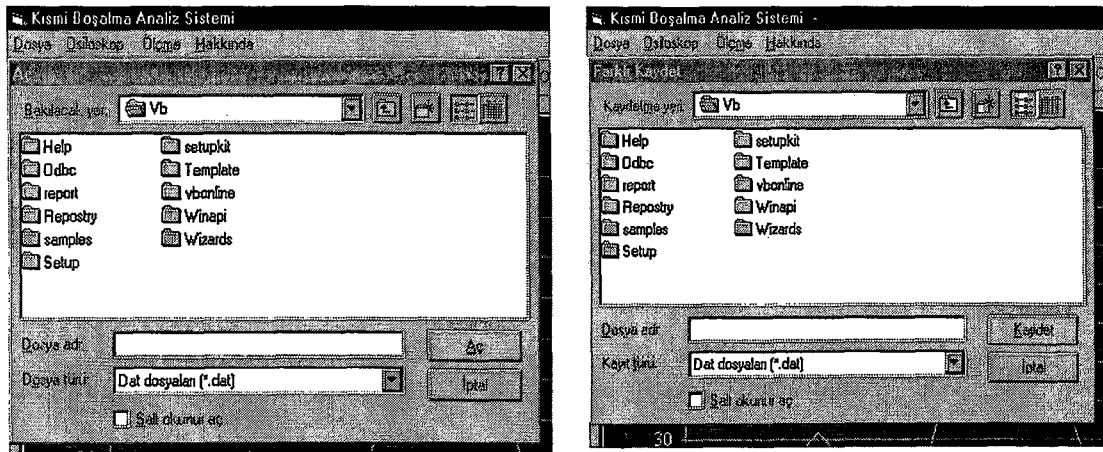
“Veri Kaydet” komutu ise ölçme sırasında elde edilen verilerin, bilgisayara veya bir diske, verilecek bir adla, “dat” uzantılı olarak saklanmasını sağlar. Bunun için de Windows’un Kaydet menüsü üzerinden işlem yürütülür.

“Dosya Aç” veya “Veri Kaydet” menüleri tanımlı olarak “.dat” uzantılı dosyaları kullanırlar. Bu dosyalar tanımlı program dosyaları olmasına rağmen, veri kaydetme ve dosya açma komutları istenilen uzantıda dosyalar üzerinde de çalışmaya olanak sağlar.

“Görüntü Kaydet” komutu ise osiloskoptaki görüntünün bilgisayara aktarılması durumunda etkin olur ve bu görüntünün bitmap “.bmp” uzantılı dosya olarak bilgisayara kaydedilmesine olanak sağlar. Bu komut, bilgisayara osiloskoptan ekran görüntüsü alınana kadar etkin duruma geçmez. Bu özellik, resim özelliği olmayan diğer verilerin “bmp” olarak saklanması işleminden sakınmak için kullanılmıştır.

“Çıkış” komutu ise programdan çıkmaya yarar. “Çıkış” komutu kullanıldığı veya program sağ üst köşeden kapatıldığı zaman bağlantı noktası, veri sayısı, kanal numarası, gerilim ve zaman ölçeği büyüklükleri, programın bir sonraki kullanımında otomatik olarak gelmesi için programın çalıştırıldığı dizinde “kbas.ini” adlı bir dosyaya yazdırılarak saklanır ve program tekrar çalıştırıldığında bu son kullanım bilgileri “kbas.ini” dosyasından otomatik olarak okunarak programa yüklenir.

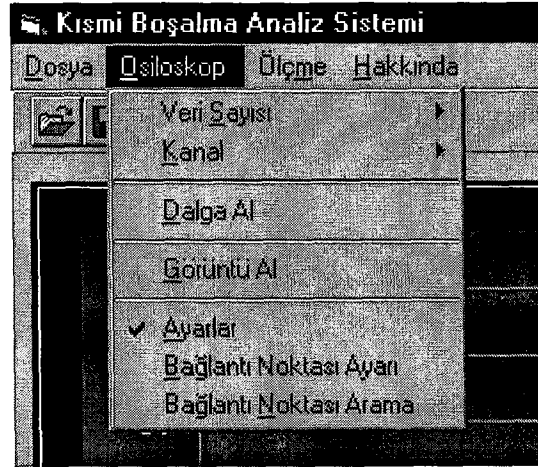
Şekil 6.4. yukarıdaki komutların seçilmesi halinde kullanıcının karşısına çıkacak menüleri göstermektedir. Bu menüler Windows’un “Common Dialog” özelliği ile hazırlanmıştır ve Windows’un genel aç ve kaydet menüleri olarak karşımıza gelmektedir.



Şekil 6.4. “Dosya Aç” ve “Veri Kaydet” arayüzleri

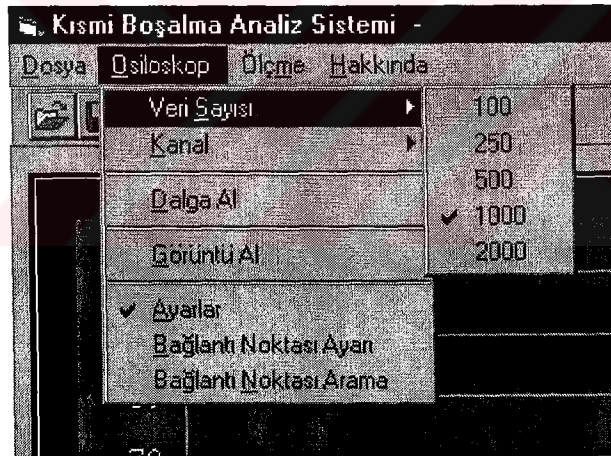
6.1.1.2. “Osiloskop” Menüsü

“Osiloskop” menüsü seçildiğinde kullanıcı Şekil 6.5’te gösterilen seçeneklerle karşılaşır.



Şekil 6.5. “Osiloskop” menüsü

“Osiloskop” menüsü seçildiğinde karşımıza ilk çıkan menü “Veri Sayısı”dır.

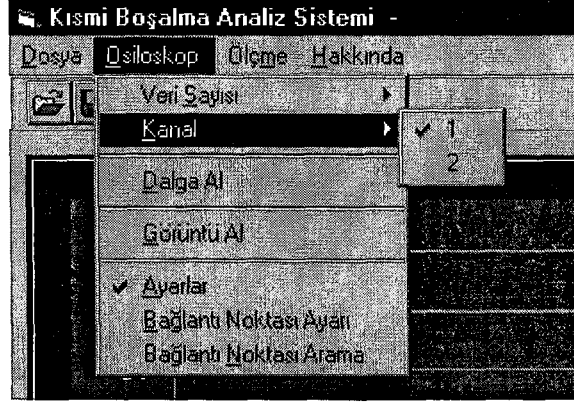


Şekil 6.6. “Veri Sayısı” menüsü

“Veri Sayısı” menüsü seçildiğinde kullanıcının karşısına 100, 250, 500, 1000 ve 2000 veri sayısı seçme seçenekleri çıkmaktadır. Veri sayısı seçimi ile osiloskoptan alınacak veri sayısı belirlenir.

Ayrıca osiloskoptan yüksek sayıda veri alıp, bunu düşük veri sayısı ile saklamak alınan veri / saklanan veri oranında büyütme sağlar.

Osiloskop menüsündeki ikinci seçenek ise “Kanal”dır. Bu seçenek ile iki kanalı bulunan HP54600B osiloskobun hangi kanalının veri almak için kullanılacağını veya kullanıldığını belirtilir. 1 sayısı birinci kanalın, 2 sayısı ikinci kanalın seçilmesini sağlar.

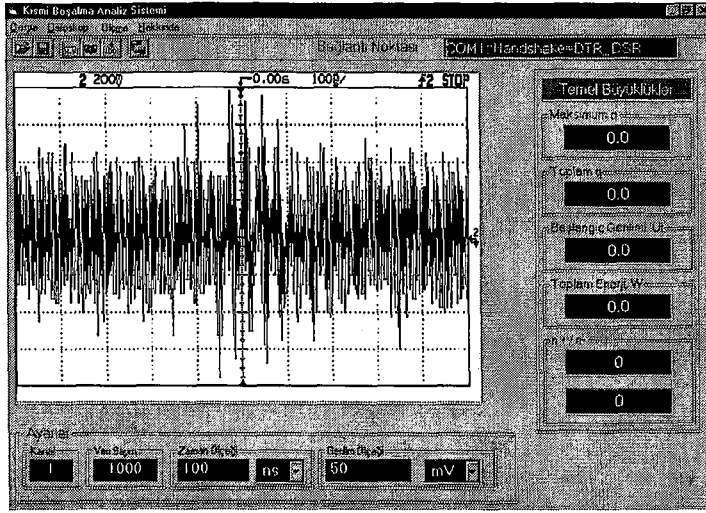


Şekil 6.7. “Kanal” seçim menüsü

Üçüncü seçenek olan “Dalga Al” menüsü ise HP54600B osiloskoptan RS232 kablo bağlantısı ile daha önce seçilen kanaldan yine daha önce seçilen sayıda veri alıp bunun grafik olarak çizilmesini sağlar. Programın en önemli kısmı budur. Alınan veriler, bu komuttan sonra hesaplama, çizdirme ve ilgili yerlere yazdırma için kullanılır. Bu komutu seçmeden önce osiloskobun açık, osiloskop ile bağlantının kurulmuş olması gerekir. Aksi durumda, ekrana bu durumu anımsatan bir hata iletisi gelir.

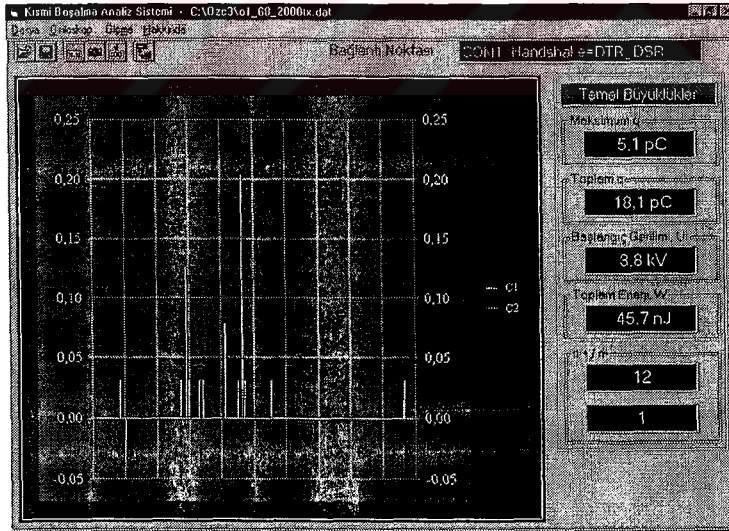
“Görüntü Al” menüsü ise osiloskoptaki görüntünün bire bir resim olarak alınmasını sağlar. Alınan görüntü resim olarak alındığı için veri sayısından ve kanaldan bağımsızdır. Eğer osiloskopta iki kanalda kullanılmış ise iki kanalında görüntüsü alınır.

Görüntü al komutu ile birlikte grafik bölümü görünürlüğü yitirir ve görüntü bölümü etkin olur. Bunun tersi de geçerlidir. “Dalga Al” komutu seçildiğinde grafik bölümü yine etkin olur. Program ilk çalıştırıldığında grafik bölümü seçilidir.



Şekil 6.8. “Görüntü Al” komutunun kullanılması

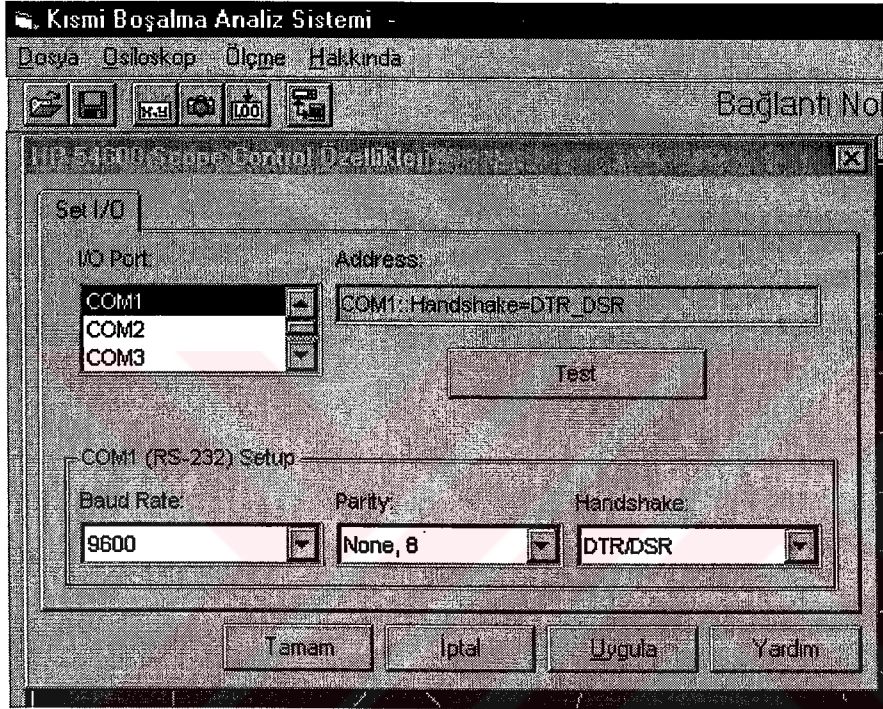
“Osiloskop” komut menüsündeki bir sonraki komut ise “Ayarlar” komutudur. Bu komut ile ana menüde 5 ile gösterilen, kullanılan kanalın numarasının, alınan veya alınacak veri sayısının, alınan işaretin osiloskop zaman ve gerilim ölçeklerinin ayarlar bölümünde görünüp görünmemesi sağlanır. Tanımlı olarak ayarların görülmesi istenir. Eğer “Ayarlar” komutu seçili değil ise ayar bilgileri ekranda gözükmez ve grafik kısmı ayarların bulunduğu bölüme doğru genişleyerek büyür. Böylelikle grafik görüntüsü biraz daha büyük olarak görülür.



Şekil 6.9. “Ayarlar” bölümü yokken ana arayüz

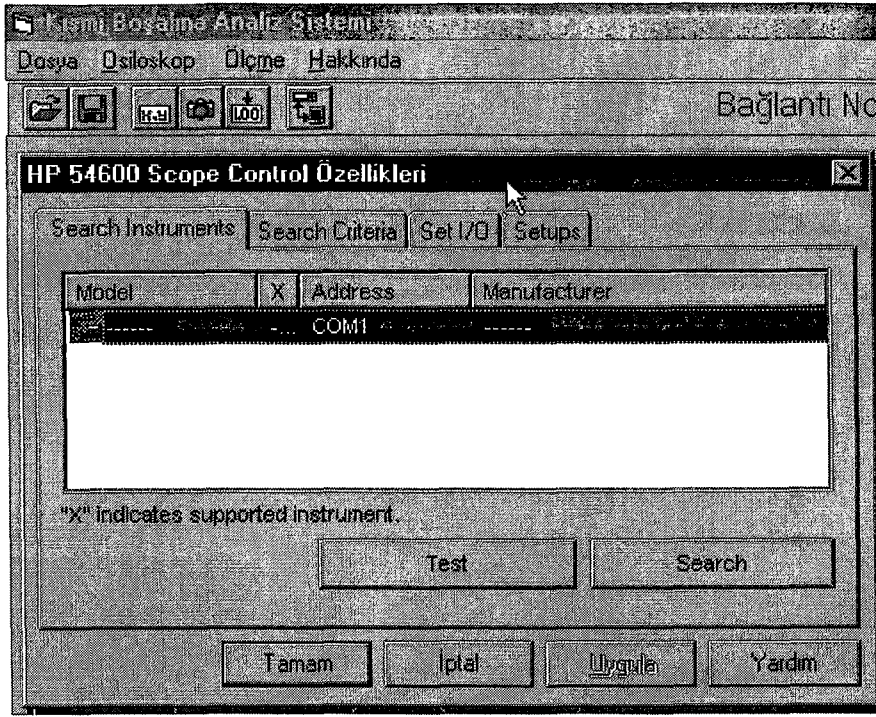
Osiloskop komut menüsündeki son iki komut osiloskop ile bağlantı kurmak için yapılması gereken ayarlarla ilgilidir.

“Bağlantı Noktası Ayarı” komutu seçildiğinde karşımıza Şekil 6.10’da ki arayüz çıkar. Buradan bilgisayarın seri iletişim noktası ayarı yapılabilir. Ayrıca bu arayüzde, iletişim noktasına ilişkin saniyedeki bit sayısı, eşlik ve akış denetimi gibi özellikleri ayarlanabilir. Bütün ayarlar yapıldıktan sonra “Test” seçeneğinin çalıştırılması, bağlantının kurulup kurulmadığının veya ayarların doğru olup olmadığının belirlenmesi açısından kullanıcıya yaptığı işlemlerin doğrulunu sınaama olanağını verir.



Şekil 6.10. “Bağlantı Ayarı” menüsü

Eğer kullanıcı, osiloskopa haberleşme için bilgisayarda hangi bağlantı noktasının kullanıldığından emin değilse, “Bağlantı Noktası Arama” komutunu seçmelidir. Bu komut seçildiğinde Şekil 6.11’de ki arayüz karşımıza gelir. Burada “Search” komutu ile bilgisayarda kullanıma uygun seri portlar aranır ve hangisinde HP54600B osiloskobun bulunduğu belirtilir. Daha sonra “Test” komutu seçilerek bulunan bağlantının doğruluğu sınanabilir.



Şekil 6.11. “Bağlantı Noktası Arama” menüsü

6.1.1.3. “Ölçme” Menüsü

Bu bölümde ölçülen ve hesaplanan büyüklükler yer almaktadır.

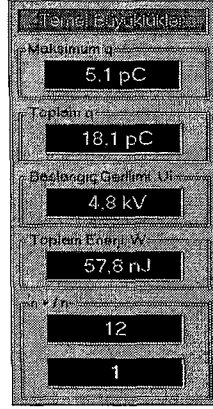


Şekil 6.12. “Ölçme” menüsü

Şekil 6.12.’den de görüldüğü gibi “Ölçme” menüsünün alt komutları şunlardır. Her alt komut seçildiğinde ana ekrandaki büyüklük kısmı değişir ve seçilen büyüklük değerleri etkin duruma gelirken, diğer büyüklük değerleri gözükmez.

Temel Büyüklükler

Bu seçenek seçildiğinde ana arayüzdeki büyüklükler kısmı, kısmi boşalma temel büyüklüklerini gösterir.

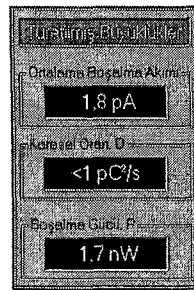


Şekil 6.13. “Temel Büyüklükler” göstergesi

“Temel Büyüklükler” seçildiğinde maksimum kısmi boşalma genliği, toplam kısmi boşalma genliği, kısmi boşalma başlangıç gerilimi, toplam kısmi boşalma enerjisi ve kısmi boşalma tekrarlamaya sıklığı bilgileri karşımıza gelir. Bu büyüklüklerin alınan veriden nasıl hesaplandığı bir sonraki bölümde anlatılacaktır. Program çalıştığı zaman tanımlı olarak temel büyüklükler seçilidir.

Türetilmiş Büyüklükler

Bu seçenek seçildiğinde ana arayüzdeki büyüklükler kısmı, kısmi boşalma türetilmiş büyüklüklerini gösterir.

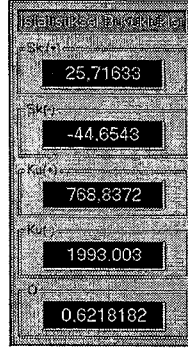


Şekil 6.14. “Türetilmiş Büyüklükler” göstergesi

“Türetilmiş Büyüklükler” seçildiğinde karşımıza ortalama kısmi boşalma akımı, karesel oran ve kısmi boşalma gücü bilgileri karşımıza çıkar. Bu büyüklüklerin alınan veriden nasıl hesaplandığı bir sonraki bölümde anlatılacaktır

İstatistiksel Büyüklükler

Bu seçenek seçildiğinde ana arayüzdeki büyüklükler kısmı, istatistiksel kısmı boşalma büyüklüklerini gösterir.

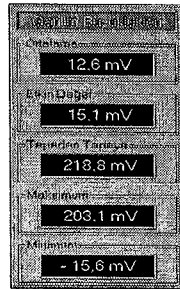


Şekil 6.15. “İstatistiksel Büyüklükler” göstergesi

“İstatistiksel Büyüklükler” seçildiğinde karşımıza negatif ve pozitif kısımlar için eğiklik ve basıklık bilgileri ile pozitif kısmın ortalama boşalma genliğinin negatif kısmın ortalama boşalma genliğine oranı olan Q değeri gelir. Bu büyüklüklerin hesaplanması bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

Gerilim

Buradaki gerilim sözü, deney cismine uygulanan gerilim ile ilgili değildir. Kısmi boşalma işaretleri alınırken gerilim olarak alındığından, bu gerilim değerlerinden söz edilmektedir.

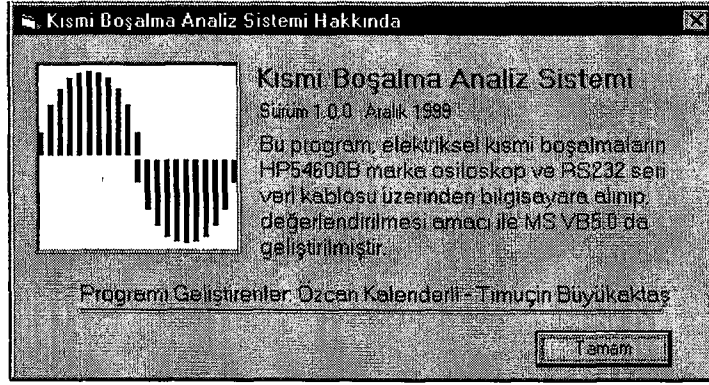


Şekil 6.16. “Gerilim Büyüklükleri” Göstergesi

“Gerilim” büyüklükleri seçildiğinde karşımıza ölçülen gerilim işaretinin ortalama değeri, etkin değeri, tepeden tepeye değeri, maksimum ve minimum değerleri çıkmaktadır. Bu büyüklükler doğrudan osiloskoptan alınmaktadır. Sadece alınan verilerin uygun formatta yazılabilmesi için birim ve değer düzenlemeleri yapılmıştır. Bu konuya bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak değinilecektir.

6.1.1.4. “Hakkında” Menüsü

Genel komut menülerinin sonuncusu olan “Hakkında” komutu, kısmi boşalma ile ilgili bilgi vermekten çok programın yazılma amacının ve programı geliştirenlerin belirtilmesi amacı ile konulmuştur. Bu menü seçildiğinde karşımıza Şekil 6.17’deki arayüz gelir.



Şekil 6.17. “Hakkında” Menüsü Arayüzü

6.1.2. Araç Çubuğu

Araç çubuğu, komut menülerinden çok kullanılanlarına çabuk ve kolay ulaşılabilmesi ve etkin bağlantı noktasının belirtilmesi amacı ile konulmuştur.



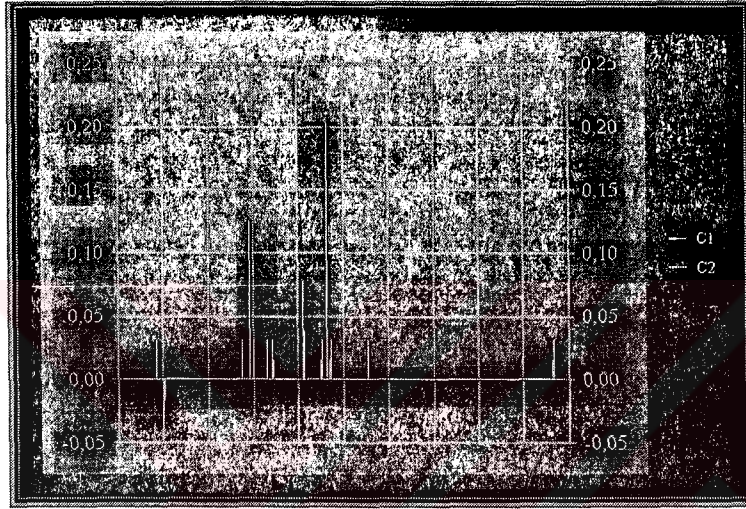
Şekil 6.18. Araç Çubuğu

Araç çubuğundaki ilk düğme “Dosya Aç” komutu ile ilişkilendirilmişken, ikinci düğme ise “Veri Kaydet” komutu ile ilişkilendirilmiştir. Daha sonraki düğmeler ise sırası ile “Dalga Al”, “Görüntü Al”, “Büyüklik” (ölçme) seç ve “Bağlantı Noktası Ayarla” komutları ile ilişkilendirilmiştir. Büyüklik seç düğmesine her basıldığında ana ekrandaki büyüklük bölümü büyüklükler arasında geçiş yapmaktadır.

Bağlantı noktası durum çubuğu ise osiloskop ile kurulan bağlantı bilgilerini vermektedir. “Dalga Al” veya “Görüntü Al” komutları seçildiğinde, osiloskop ile haberleşilebilmesi için bu bağlantı noktası kullanılmaktadır.

6.1.3. Grafik ve Görüntü Bölümü

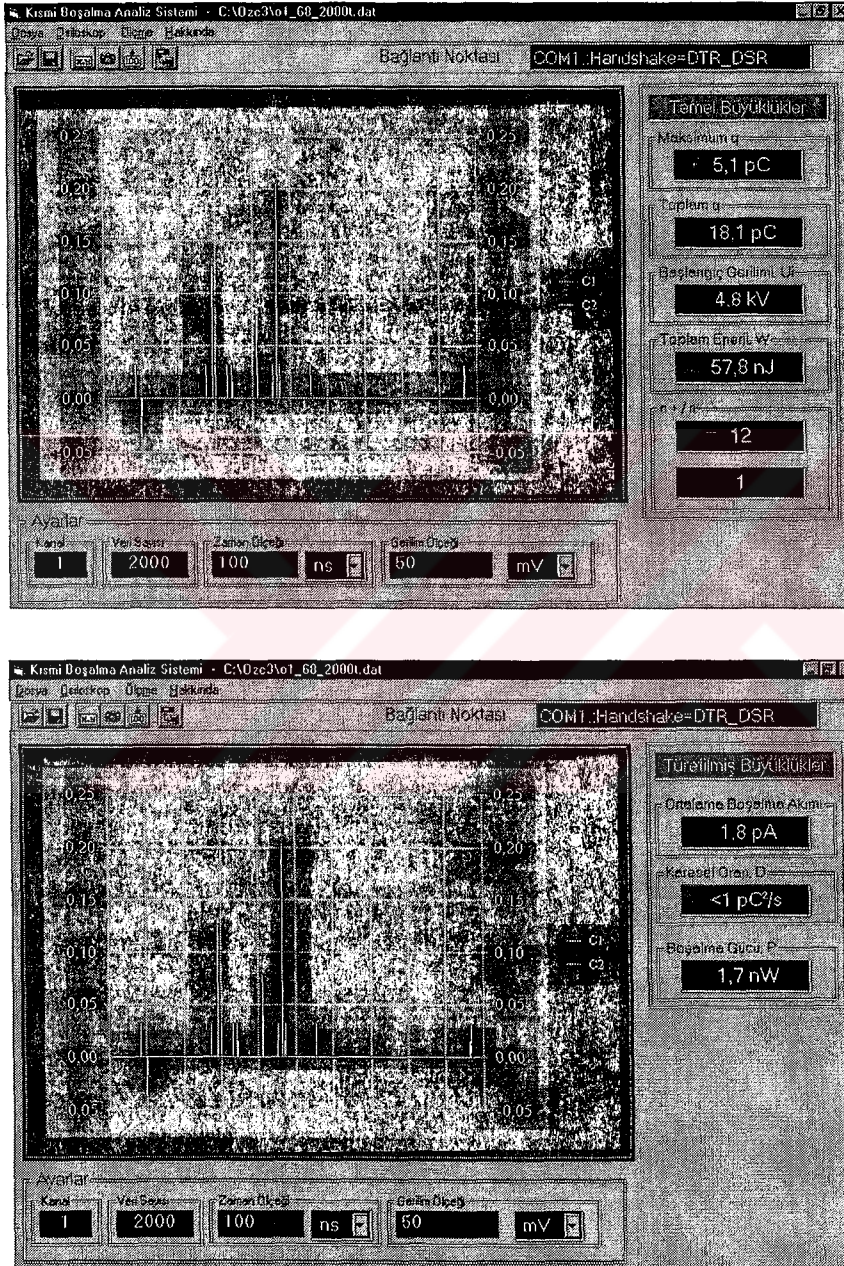
Bu bölüm alınan verilerin grafik olarak veya osiloskop görüntüsünün resim olarak gösterildiği bölümdür. Grafik kısmı program çalıştığında tanımlı olarak karşımıza çıkar ve “Görüntü Al” komutu verilinceye kadar ana arayüzde kalır. “Görüntü Al” komutu ile birlikte grafik gösterim bölümünün altında gizli bulunan görüntü kutusu etkin duruma gelirken, grafik kısmı etkin durumdan çıkar. Şekil 6.19’da osiloskoptan alınan verilerin grafik olarak gösterilmesi yer almaktadır. Görüntü bölümü ise Şekil 6.8.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Kısmi Boşalma Verilerinin Grafik Gösterimi

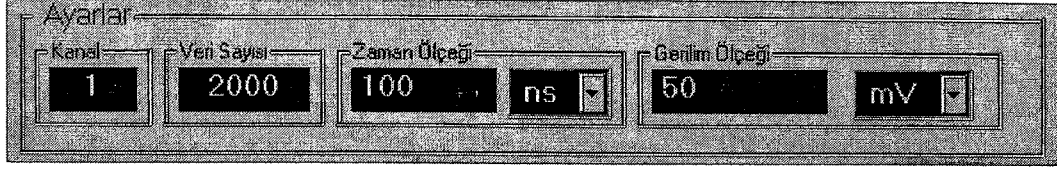
6.1.4. Büyüklükler Bölümü

Büyüklükler bölümü, hesaplanan veya ölçülen büyüklüklerin gösterildiği bölümdür. Bu bölüm, menü komutları anlatılırken ayrıntılı olarak açıklanmıştı. Sadece ana arayüzde büyüklüklerin yer değiştirmesinin gösterilmesinin yararlı olacağı düşünüldükçe Şekil 6.20 a ve b örnek olması açısından gösterilmiştir.



Şekil 6.20. (a) Temel Büyüklükler ve (b) Türetilmiş Büyüklüklerin Görünümü

6.1.5. Ayarlar Bölümü



Şekil 6.21. Ayarlar Bölümü

Bu bölümde ölçme ile ilgili bilgiler verilmektedir. Ölçme yaparken kanal numarası ve veri sayısı, daha önce osiloskop komut menüsünden seçilen değerleri gösterir, zaman ölçeği ve gerilim ölçeği osiloskoptan otomatik olarak alınamadığından kullanıcı tarafında elle girilmelidir. Ölçme yapıp, veriler bir dosyaya kaydedildiği zaman, ileride bu dosyanın açılması halinde ölçme sırasında saklanan büyüklükler otomatik olarak ayarlar bölümünde yerini alır.

6.2. Kısmi Boşalma Analiz Sistemi Program Yapısı

Bu bölümde kısmi boşalma büyüklüklerinin ölçme verilerinden yararlanılarak nasıl hesaplandığı anlatılacaktır.

Bölüm 5'te anlatılan ölçme ile verilerin ölçme düzeneğinden program ile alınması şu şekilde gerçekleşmektedir.

Program yapısı 3 bölümde incelenebilir.

6.2.1. Veri Alma İşlemi

Osiloskop ile bilgisayar arasında bağlantı RS232 seri veri kablo ile sağlanır. HP54600B Active X bileşeni ile istenilen bağlantı noktasından ve kanaldan, istenilen sayıda veri almak mümkündür. İstenilen veri sayısı ile 100, 250, 500, 1000 ve 2000 seçeneklerinden biri olabilmektedir.

HP54600B Active X bileşeni ile yazılan programda, osiloskoptan veri alınırken veriler herhangi bir dönüştürmeye ihtiyaç kalmadan veriler gerçek değeri ile alınabilmektedir. Bir kanaldan veri alınırken iki tür bilgi alınmaktadır. Bunlardan birincisi işaretin genlik değerleri, ikincisi ise zaman değerleri. Zaman değerleri iki işaret arasındaki zamanı belirtmektedir. Her ölçme için zaman aralıkları zaman ölçeğine göre değişmekle birlikte, bir ölçmedeki zaman aralıkları sabittir. Bunun için

program akışını hızlandırmak amacıyla zaman verileri değerlendirmeye alınmamıştır. Zaman aralığı ise şu şekilde belirlenmektedir. HP54600B osiloskop ekranı 10 zaman ölçeğine bölünmüştür. Bu zaman ölçeği normal olarak veri sayısının onda biri kadar veri içerir. Böylece zaman aralığı hesaplanırken, zaman ölçeğini veri sayısının onda birine bölmek yeterlidir.

Osiloskoptan veri alırken işarete ait bazı gerilim ve zaman değerleri de doğrudan alınabilir. Bu değerleri alırken yine Active x kontrolünden yararlanılmaktadır. Osiloskoptan bilgisayara alınan değerler şunlardır:

1. Gerilim Büyüklükleri

- Gerilimin ortalama değeri
- Gerilimin etkin değeri
- Gerilimin tepeden tepeye değeri
- Gerilimin maksimum değeri
- Gerilimin minimum değeri

2. Zaman Büyüklükleri

- Yükselme süresi
- Düşme süresi
- Pozitif darbe genişliği
- Negatif darbe genişliği
- Periyot
- Frekans
- İşaret doluluk boşluk oranı

Bu büyüklükler, alınan işaretlerle ilgili bilgi vermesi açısından birim çevirmesi yapılarak büyüklükler ekranında görüntülenmektedir. Bu bilgiler doğrudan alınabildiği için açıklama bakımından daha fazla ayrıntıya girilmeyecektir. Birim çevirme kısmından ise ilerleyen bölümlerde söz edilecektir.

Osiloskoptan veriler alınırken, kısmi boşalma işareti, bir ölçü empedansı uçlarındaki gerilim olarak alınmaktadır. Bu gerilimin akım değerine çevrilebilmesi için alınan değerlerin empedans değerine bölünmesi gerekmektedir. Aynı zamanda osiloskobun probe'unun işareti 10 kat zayıflatması düşünülerek alınan değerlerin 10 ile çarpılması

gerekmektedir. Sonuç olarak ölçülen değerlerin 10'a bölünmesi bu iki işlemin birden yapılmasını sağlar.

Veriler bu şekilde dönüştürüldükten sonra kısmi boşalma büyüklüklerinin hesaplanmasına geçilebilir.

6.2.2. Kısmi Boşalma Büyüklüklerinin Hesaplanması

Kısmi boşalma büyüklüklerinin hesaplanmasındaki temel verilerin içinden kısmi boşalma işaretlerinin belirlenmesidir.

Bunun için şöyle bir yöntem izlenmiştir: Bütün veri içinde bir minimum değer bulunur. Bu değer sıfır olabileceği gibi, sıfıra çok yakın başka bir değerde olabilir. Fakat kısmi boşalma verilerinin incelenmesinde bu minimum değer her zaman için sıfır değeri olduğu görülmüştür. Minimum değer belirlendikten sonra kısmi boşalma işaretlerinin aşağıda açıklandığı şekilde saptanır.

6.2.2.1. Kısmi Boşalma Yükünün Hesaplanması

Programın en önemli kısmı, kısmi boşalma yükünün hesaplanması kısmıdır. Bundan sonraki bütün büyüklükler, kısmi boşalma yüküne göre hesaplanmaktadır.

Önce osiloskoptan alınan veriler içindeki kısmi boşalma işaretlerinin nasıl bulunduğu açıklanacaktır.

Minimum değerden sapan bir veri değerlendirmeye alınır. Pozitif bir işaret için düşünecek olursak, bir veri dizisi minimum değer üzerinde bir değer almaya başladığı andan, veri dizisi tekrar minimuma veya minimum değer altına inene kadar bir kısmi boşalma işareti olarak kaydedilir. Kısmi boşalma yükü bu veri dizisi ile x eksenindeki alan olarak tanımlandığı için bu veri dizisinin zamana göre integralinin alınması gerekmektedir. Bilgisayarda integral almada, iki nokta ile sayısal integrasyon yaklaşımı olan ve yamuk yöntemi olarak bilinen sayısal integrasyon yöntemi kullanılmıştır [20].

Bu yönteme göre bir fonksiyonun belli bir aralıkta integrali Şu Şekilde hesaplanmaktadır.

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x).dx \cong \frac{1}{2}.h.(f(x_1) + f(x_2)) \quad (6.1)$$

Yukarıdaki eŐitlikte $f(x_1)$ ve $f(x_2)$, kısmi boşalma verisi olarak tanımlanan veri dizisinde ardışık iki noktadaki değer, h ise bu iki nokta arasındaki zaman değeridir. Bizim verilerimizde zaman aralığı bir  l me içinde hep sabit kalmakta ve deęiŐmemektedir. Kısmi boşalma veri dizisindeki bütün noktalar arasında bu hesap yapılarak, o veri dizisinin toplam alanı bulunur. Bu değer, kısmi boşalma q yüküdür.

Bütün veri bu Şekilde değerlendirilerek tüm kısmi boşalma karakteristiğini gösteren veri dizileri için bu işlem yapılır ve hepsinin ayrı ayrı q yükleri bulunur.

Kısmi boşalma ölçümü yapılırken veri ile birlikte çok sayıda gürültü işareti de alındığından kısmi boşalma ile bu gürültüleri ayırt edebilmek için bir filtre konulmuştur. Bu filtre Şu Şekilde  alıŐmaktadır. Kısmi boşalma yükleri hesaplanırken, en büyük genlik değerine sahip kısmi boşalma işareti maksimum olarak atanır. Bu değerin 10'unun altında bir genliğe sahip kısmi boşalmalar bozucu işaret olarak değerlendirilir ve işlem dışı bırakılır. Böylece bozucu işaretlerin etkisi azaltılır.

Bu aŐamadan sonra maksimum q yükünün %10'unun üzerinde değer alan kısmi boşalmalar tekrar değerlendirilir.

6.2.2.2. Diğer Büyüklüklerin Hesaplanması

Kısmi Boşalma Sayılarının Hesaplanması

Yukarıda maksimum boşalma yükünün %10'undan yüksek olan her işaretin, bir kısmi boşalma işareti olduğunu belirtmiŐ ve kısmi boşalma işaretinin, verinin minimum değerden sapmasına göre belirlendiğini belirtmiŐtik. Eğer veri dizisi minimum değerden daha düşük değerlere doğru sapıyor ise bu işaret bir negatif kısmi boşalma işaretidir. Eğer veri dizisi minimum değerden daha yüksek değerlere sapıyor ise bu bir pozitif kısmi boşalma işaretidir.

Pozitif ve negatif kısmi boşalmaların sayısı ayrı ayrı toplanarak, bütün veri içindeki kısmi boşalma sayısı hesaplanabilir.

Toplam q Yükünün Hesaplanması

Yine kısmi boşalma sayılarında yapıldığı gibi negatif ve pozitif toplam q yükü, teker teker q yüklerinin değerlendirilmesiyle hesaplanır. Maksimum q yükünün %10'unun üzerinde değer alan kısmi boşalmaların genliklerinin mutlak değeri toplanır ve toplam q bulunur. Mutlak değer alınmasının sebebi kısmi boşalma yüklerinin birbirini azaltacak şekilde toplanmasını önlemektir. Programda negatif ve pozitif toplam q yükü ayrı ayrı gösterilmemiş, sadece toplam q yükü gösterilmiştir.

Toplam Enerji

Bölüm 2 de kısmi boşalma büyüklükleri anlatılırken, W enerjisi şu şekilde tanımlanmıştı. Bu eşitliğin nasıl çıkarıldığı Bölüm 2 de bulunabilir.

$$W = 0.7 q \cdot U_i \quad (6.2)$$

U_i kısmi boşalma başlangıç gerilimi, q ise kısmi boşalma yüküdür. Bir sistemde kısmi boşalma gerilimi bütün kısmi boşalma işaretleri için aynı olacağından, toplam enerji her bir kısmi boşalma işaretinin enerjisinin hesaplanarak toplanması ile hesaplanabileceği gibi, toplam yükten de tek bir seferde hesaplanabilir. Toplam kısmi boşalma yükü ile kısmi boşalma başlangıç geriliminin 0.7 katı bize toplam kısmi boşalma enerjisini vermektedir.

Ortalama Boşalma Akımı

Ortalama boşalma akımının genel tanımı şöyledir. Bir zaman aralığında meydana gelen kısmi boşalma yüklerinin toplamının, o zaman aralığına bölünmesiyle ortalama boşalma akımı bulunur. Ortalama boşalma hakkındaki ayrıntılı bilgi Bölüm 3'de bulunabilir.

Ortalama boşalma akımı bulunurken toplam q yükü, zaman ölçeğinin 10 katına bölünerek bu değer elde edilir. Zaman ölçeğinin toplam zaman aralığının 10 da birine eşit olduğu daha önce belirtilmişti.

Karesel Oran

Karesel oran bir zaman aralığında meydana gelen kısmi boşalma yüklerinin karelerinin toplamının zaman aralığına bölünmesi ile elde edilir. Ortalama boşalma akımında anlatıldığı gibi zaman aralığı zaman ölçeğinin 10 katıdır. Burada toplam q yükünün karesi kullanılamaz, zira yüklerin ayrı ayrı karelerinin toplamı, toplam yükün karesine eşit değildir.

Boşalma Gücü

Boşalma gücü kısmi boşalma işaretleri ile başlama geriliminin çarpılması olarak tanımlanır. Her q yükünün başlama gerilimi ile çarpılarak toplama alınması ile , toplam yükün başlama gerilimi ile çarpılmasıyla da kısmi boşalma gücü elde edilebilir. Eğer ortalama boşalma gücü bulunmak isteniyor ise toplam güç ölçme zaman aralığına bölünerek bu bilgi elde edilebilir.

6.2.2.3. İstatistiksel Büyüklüklerin Hesaplanması

Kısmi boşalma işaretlerinin istatistiksel büyüklüklerinin hesaplanması Bölüm 3'de ayrıntılı olarak anlatılmıştı.

Önce verilerin düzenlenmesi gerekmektedir.

%10'un üzerinde değer alan kısmi boşalmalara ait veriler gerçek değerleri ile göz önüne alınırken, %10'un altında olan kısmi boşalmalara ait veriler sıfır değerini almaktadır.

Pozitif istatistiksel büyüklükler için işlem yapılırken, pozitif işaretler gerçek değerini alırken, negatif işaretler sıfır değerini almaktadır. Negatif istatistiksel işaretlerin hesaplanmasında ise tam tersi işlem yapılır.

Pozitif ve Negatif Çarpıklık

Düzenlenen işaretler pozitif ve negatif olmak üzere Deklem 3.12 'de formülde yerlerine konulurlar ise , pozitif ve negatif büyüklükler çarpıklık büyüklükleri elde edilir.

Pozitif ve Negatif Basıklık

Düzenlenen işaretler pozitif ve negatif olmak üzere Denklem 3.13’de ki formülde yerlerine konurlar ise , pozitif ve negatif basıklık büyüklükleri elde edilir.

Kısmi Boşalma Asimetri Katsayısı (Q)

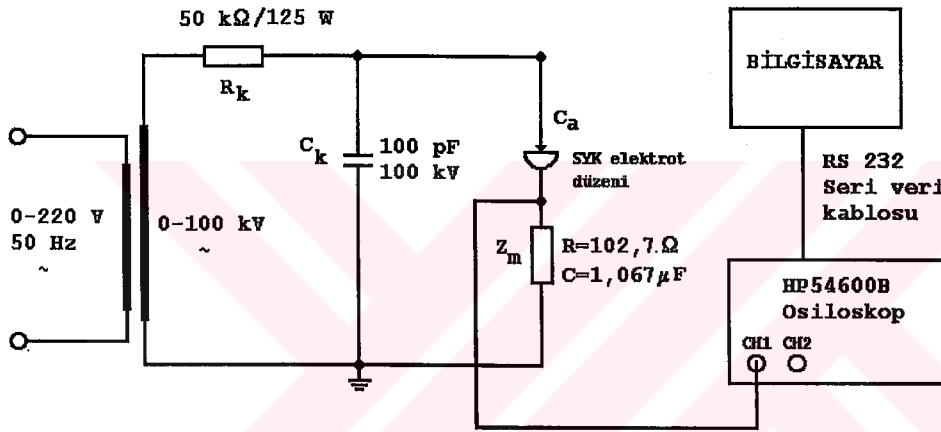
Bu değer pozitif genlikli kısmi boşalma işaretlerinin ortalama genliklerinin, negatif kısmi boşalma işaretlerinin ortalama genliğine oranıdır. Q yüklerinin pozitif ve negatif olmak üzere ayrı ayrı toplanıp, pozitif ve negatif kısmi boşalma sayılarına bölünmesiyle elde edilebilir.



7. KISMİ BOŞALMA DENEYLERİ

Bu bölümde, İstanbul Teknik Üniversitesi (Maslak Kampüsü), Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü Yüksek Gerilim Laboratuvarında yapılan ölçmeler anlatılacak ve KBAS programı ile elde edilen sonuçlar verilecektir.

7.1. Deney Devresi



Şekil 7.1. Kısmi boşalma ölçme deney devresi

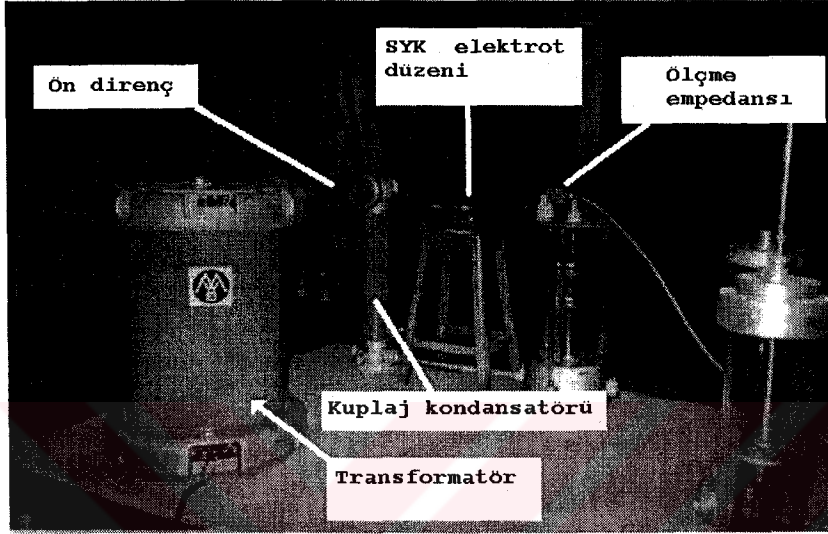
Ölçmede Şekil 7.1'de gösterildiği gibi, ölçme empedansı ile deney cisminin seri olduğu direkt ölçme devresi kullanılmıştır. Kısmi boşalma akımının ölçme direnci üzerinde oluşturduğu gerilim osiloskop yardımıyla ölçülmüş ve buradan bilgisayara aktararak kısmi boşalma işaretleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Laboratuvarın topraklanmasında bir tek noktada topraklama ilkesine uyulmuştur. Laboratuvar, dış parazitlere (elektromagnetik gürültülere) karşı ekranlanmış durumdadır.

Deney devrelerinde bağlantılar olabildiğince kısa, pürüzsüz ve kısmi boşalmasız iletkenlerle yapılmıştır.

7.2. Devrede ve Ölçmede Kullanılan Elemanlar

Endüstriyel frekanslı yüksek alternatif gerilim, bir fazlı, 0,22/100 kV, 5kVA, 50 Hz, bağıl kısadevre gerilimi %4 olan, yağlı, pertinaks gövdeli bir yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmiştir. Deney transformatörünün kısmi boşalma düzeyi 100 kV'ta $1\mu\text{V}$ 'tan küçüktür [7.1]. Deney transformatörünün beslemesi, ayar, kontrol



Şekil 7.2. Kısmi boşalma ölçme devresi

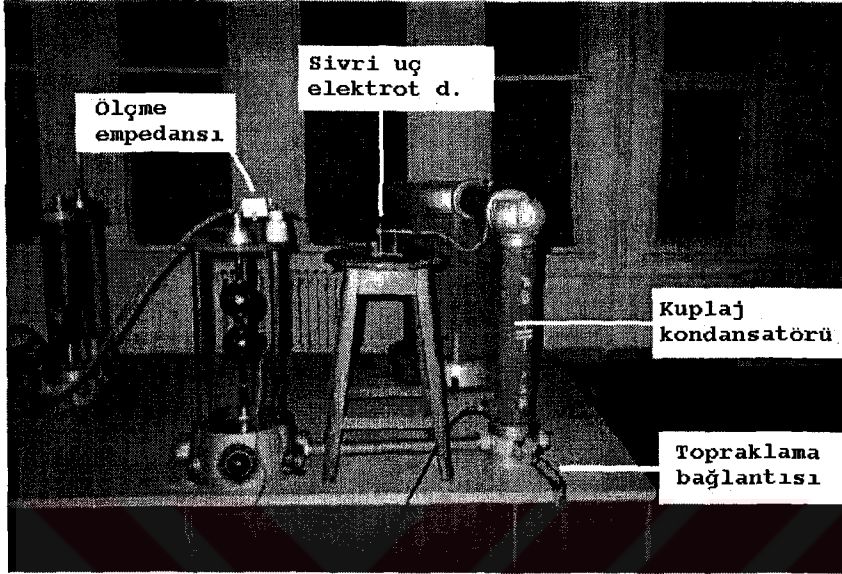
ve kumandası bir kumanda masasından yapılmıştır. Kumanda masası, dolayısıyla deney transformatörü, şebekeden gelebilecek bozucu etkenlere karşı alçak geçiren filtre ve bir gerilim regülatörü üzerinden beslenmiştir. Kumanda masasında bir delinme (tam boşalma) durumunda devreyi kısa sürede açacak bir termik-manyetik anahtar bulunmaktadır.

Deney transformatörünün çıkışına 50 kohm, 125 W, 140 kV'luk bir öndirenç (koruma direnci) bağlanmıştır.

Kuplaj ve ölçme kondansatörü olarak 100 pF, 140 kV'luk bir yüksek gerilim kondansatörü kullanılmıştır.

Ölçme empedansı olarak paralel bağlı direnç ve kondansatör (RC) şeklinde bir ölçme dört uçlusu kullanılmıştır. Kullanılan ölçme empedansının direnci 102,7 ohm ve kapasitesi $1,067\mu\text{F}$ 'dır. Programda kısmi boşalma büyüklükleri hesaplanırken empedans saf direnç olarak göz önüne alınmıştır.

Kısmi boşalma ölçü aleti olarak HP54600B osiloskoptan yararlanılmıştır. 100 MHz'lik bir band genişliğine sahip olan bu osiloskobun 2 ölçme kanalı mevcuttur. Zaman ölçeği 5 s den 2 ns ye kadar değiştirilebilen bu osiloskobun ekran tazeleme hızı saniyede 1.5 milyon noktadır.



Şekil 7.3. Kısmi boşalma ölçme düzeni

KBAS programının çalıştırıldığı ve osiloskoptan verilerin alındığı bilgisayar, HP Omnibook türü bir PII-400 işlemciye ve 64 Mb belleğe sahip bir notebook'tur.



Şekil 7.4. Kısmi boşalma ölçümünde kullanılan elemanlar

Bu bilgisayar, gerek donanım-yazılım özellikleri, gerekse taşıma kolaylığı ve az yer kaplaması açısından tercih edilmiştir. Programın çalışma başarımını sınamak için, program 486DX100 işlemcili 32 Mb bellekli bir masaüstü bilgisayarda da denenmiş ve başarıyla çalıştırılmıştır. Sadece işlem zamanının biraz yavaşladığı görülmüştür. Bilgisayarda, osiloskoplara bağlantı noktası olarak ikinci seri bağlantı noktası (COM2) kullanılmıştır. Bu bağlantı noktasının kullanılmasının nedeni, birinci seri bağlantı noktasının fare (mouse) aygıtı için kullanılıyor olmasıdır. Böylelikle ölçme sırasında farenin işlevsel olması sağlanmıştır. Düzgün bir şekilde veri transferi için bu seri bağlantı noktasının ayarları, osiloskobun RS232 çıkışı ile uyusmak zorundadır. Bu durum, osiloskobun RS232 çıkışı ile notebook'un seri bağlantı noktasının ayarlarının birbirine uydurulması ile mümkündür. Osiloskoptan RS232 ayarları veya program içinden seri bağlantı noktasının ayarları yapılarak bu uyum sağlanabilir.

Osiloskop ile bilgisayar arasında bağlantıda iki eleman kullanılmıştır. Bunlardan birincisi HP54652B arabirim kartıdır. HP arabirim kartı osiloskobun arkasına monte edilmiştir ve bilgisayar ile veri alışverişini mümkün kılmaktadır. RS232 çıkışı bu kart üzerinde yapılmaktadır.

Diğer bir eleman ise RS232 seri veri kablosudur. HP arabirim kartı üzerindeki RS232 çıkışı 9 pinlik erkek bir fiş (konnektör) yapısına sahiptir. Notebook üzerindeki ikinci seri port ise 25 pinlik erkek bir fiş (konnektör) yapısına sahiptir.

RS232 kablo özel bir kablodur ve diğer standart 9 pin e 25 pin kablolardan farklılık gösterir. Deneyde kullanılan 9 erkek/25 erkek konnektörlü RS232 yapısı şu şekildedir. Bağlantı noktaları dışı olduğu için, kablo uçlarındaki konnektörler dışıdır.

RS232 seri veri kablosu bağlantı uçları Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. RS 232 Seri veri kablosu bağlantı uçları

Bağlantı ucu	Pin numarası						
9 pin erkek	2	3	4	5	6	7	8
25 pin erkek	2	3	6	7	20	5	4

Deneyde kullanılan en önemli eleman ise, kısmi boşalma kaynağı olarak kullanılan sivri uç yarıküre elektrot düzenidir. Deneyde 0.1 mm eğrilik yarıçaplı sivri uçlu elektrot kullanılmıştır. 0.1 mm yarıçaplı sivri uç pirinçten yapılmıştır. Sivri uç, tepe açısı $15^{\circ} \pm 5\%$ olacak şekilde, koni biçiminde sivriltilmiş bir elektrottur. Sivri uç-

yarıküre elektrot düzeninde elektrodun yarıçapının boşalma büyüklüklerine etkisi azdır. Bu nedenle deneyde standartlardakine uygun, 25 mm yarıçaplı yarıküre elektrot kullanılmıştır [4.1, 4.2]. Yarı küre elektrot, 0.5 mm kalınlığında bakırdan, sıvama tekniği ile içi boş ve 25 ± 0.1 mm yarıçapa uygun olarak yapılmış bir elektrottur. Yarıküre elektrodun kenarları, elektrot düzeninin alanını etkilememesi ve yüksek alan şiddetleri oluşturmaması için yuvarlatılmış durumdadır. Sivri uç ve yarı küre elektrot, hava ortamında kullanılmıştır. Bu sistemin tabanı ve elektrotları tutan destekler 6 mm kalınlığında pleksiglastan yapılmıştır. Bu düzende elektrotların hava koşulları ve kirlenme gibi dış etkilere açık olması düzenin olumsuz yanıdır [21].

7.3. Ölçme ve Sonuçlar

Kısmi boşalma ölçmeleri Şekil 7.1'deki ölçme düzeneği yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Devrenin gerilimi yavaş yavaş yükselttilerek osiloskopta kısmi boşalma işaretlerinin başladığı gerilim belirlenmiştir. Bu başlangıç gerilimi not edilmiştir. Gerilimin yükseltilmesi kısmi boşalma işaretlerinin genliğinin ve sıklığının artmasına sebep olmaktadır. Kısmi boşalma başlangıç gerilimi saptandıktan sonra, çeşitli gerilim değerleri için osiloskop görüntüsü dondurulmuş ve RS232 kablo yardımı ile bilgisayara aktarılıp, kısmi boşalma büyüklükleri hesaplanmıştır. 0.1 mm sivri uç-yarıküre elektrot sistemi için KBAS ölçüm değerleri ise Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. KBAS ile hesaplanan bazı ölçme sonuçları

Hesaplanan Büyüklükler	Uygulanan gerilim, gerilim ve zaman ölçekleri		
	8 kV/ 200ns 100mv	8 kV 50ns 100mV	5 kV 5µs 20 mV
Maksimum q	55.3 pC	32.0 pC	213.3 pC
Toplam q	540.9 pC	327.4 pC	1.1 nC
Başlangıç gerilimi	4.8 kV	4.8 kV	4.8 kV
Toplam enerji	1,8 µJ	1.1 µJ	763.9 nJ
n+	27	54	20
n-	0	3	7
Ortalama boşalma akımı	27,0 pA	65.5 pA	2.2 nA
Karesel oran	<1 pC ² /s	<1 pC ² /s	<1 pC ² /s
Boşalma gücü	51,9 nW	31.0 nW	21.8 nW
Pozitif çarpıklık	5,8	4.0	6.8
Negatif çarpıklık	0	-24.5	-12.0
Pozitif basıklık	36,4	17.1	45.5
Negatif basıklık	0	651.2	185.7
Asimetri faktörü	0	0.25	10.82

Tablo 7.2' de ki sonuçları değerlendirebilmek için standartlarda belirtilen bazı ölçme sonuçlarını belirtmekte yarar vardır.

Tablo 7.3. Standartlarda belirtilen tipik çalışma koşulları

İğne ucunun yarıçapı r mm	Başlama Gerilimi U_i kV	Boşalma Genliği q pC
0.05	3.8	40
0.2	6.5	140
0.5	8.5	240

Tablo 7.3'te bazı sivri uç-yarıküre elektrot sistemleri için başlangıç gerilimi ve maksimum kısmi boşalma genlikleri verilmiştir. Deneyde kullanılan sivri uç-yarıküre elektrot sistemi ise 0.1 mm sivri uç yarıçapı ile bu değerler içinde yer almamasına rağmen, 0.05 mm ve 0.2 mm sivri uç yarıçapına sahip düzeneklerin ortasında yer alıyormuş gibi düşünülebilir.

Maksimum q değerlerine bakıldığı zaman aynı gerilim için aynı maksimum kısmi boşalma yükü değerlerine ulaşamadığı gözükmemektedir. Bu zaman ölçeklerinin değişik olmasından ve kısmi boşalma işaretlerinin kararsız olmasından kaynaklanmaktadır. Kısmi boşalma işaretlerinin kararlı olması durumunda, zaman ölçeğine bağlı olmaksızın maksimum kısmi boşalma değerlerinin aynı olması beklenirdi. Kısmi boşalma işaretleri düzensiz olduğu için, daha geniş zaman diliminde daha büyük bir genliğe sahip maksimum boşalma yükü bulma şansı daha yüksektir. Bu nedenle KBAS programı ile bulunan sonuçlar düzensiz değişimler göstermektedir.

Gerek TSE gerekse de diğer uluslararası standartlarda sadece başlangıç gerilimi ve maksimum kısmi boşalma genliği verilir iken, KBAS programı Tablo 7.2'de de görüldüğü üzere deney verilerinden bir çok büyüklüğü hesaplayabilmektedir [2-6].

8. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında kısmi boşalmaların bilgisayar destekli ölçümü üzerine çalışılmıştır. Önce kısmi boşalmalar hakkında bilgi verilmiş, daha sonra nasıl oluştukları ve kısmi boşalmalarla ilgili büyüklükler anlatılmıştır. Kısmi boşalma büyüklüklerinin ölçülüp otomatik olarak hesaplanabilmesi içinde KBAS (Kısmi Boşalma Analiz Sistemi) adlı bilgisayar programı yazılmıştır.

Kısmi boşalmalar yalıtkanların içinde, yüzeyinde veya sivri uç gibi eğrilik yarıçapı küçük elektrotlar çevresinde meydana gelen yerel boşalmalardır. Kısmi boşalmalar yalıtkanın ömrüne ve kalitesine etki eden en önemli etkenlerden biridir. Kısmi boşalmasız bir yalıtkan üretmek mümkün olmadığı için, üretici firmalar kısmi boşalma düzeyi en düşük yalıtkanları üretmek için çalışmaktadırlar. Zira yalıtım sisteminin güvenilirliği ve uzun ömrü için kısmi boşalma seviyesinin mümkün olduğu kadar az olması istenir.

Kısmi boşalma işaretleri genlik bakımından genellikle çok küçük işaretlerdir. Bu işaretlerin küçük olması, bozucu işaretlere engel olmadaki güçlük kısmi boşalmaların ölçülmesinde zorluk yaratmaktadır. Zira yapılan deneylerde bir yüksek gerilim laboratuvarının sağladığı olanaklardan yararlanılmasına rağmen, bozucu işaretlerin düzeyi oldukça yüksektir. Bozucu işaretlerin varlığı uygulanan gerilim kısmi boşalma gerilimine ulaşmadan yani herhangi bir kısmi boşalma yok iken bile, osiloskop üzerinden görülebilir. Ölçmede dış etkilere karşı ekranlama yapılmış olsa bile, devre içindeki kontak, bağlantı ve devre elemanlarının özellikleri nedeniyle bozucu işaretler ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden devredeki bağlantılara özen göstermek gerekir. Alınan önlemler ne olursa olsun bozucu işaretlerin varlığı, ölçmelerde önlem almayı gerektirir. Bu önlemlerden birisi, bilgisayar destekli ölçmede bir sayısal filtre kullanmaktır. Yapılan çalışmada maksimum kısmi boşalma genliğinin %10'unun altında kalan işaretler bozucu işaretler olarak kabul edilmiş ve değerlendirmeye alınmamıştır. Bu bozucuların elimine edilebilmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

KBAS programı, kısmi boşalmaların ölçme empedansı üzerinde meydana getirdikleri gerilim işaretlerini inceleyerek analiz yapmaktadır. Ölçme düzeninden osiloskoba aktarılan bu işaret, osiloskop üzerindeki arabirim kartı ve RS232 veri kablosu yardımı ile bilgisayara alınmaktadır. Osiloskopta herhangi bir zaman ölçeği ve gerilim ölçeği seçilerek görüntü dondurulur ve programa veri al komutu verilerek yazılım yardımıyla bu veriler bilgisayara alınabilir.

Programın güvenilirliğini sınamak için yapılan kısmi boşalma ölçme deneylerinde osiloskobun değişik zaman ve gerilim kademeleri için veriler alınmıştır. Bu verilerin incelenmesi ile gerilim ölçeğinin ölçme sonuçlarına bir etkisi olmadığı ama zaman ölçeğinin çok etkili olduğu gözlenmiştir. Kısmi boşalmaların düzensiz olmasından dolayı geniş zaman ölçeğinde daha yüksek genliğe sahip kısmi boşalmaların tespit edilme şansı yüksektir. Gerilim değeri ise ölçeğe göre hesaplanmayıp, direkt olarak gerçek değeri ile alındığı için sorun olmamaktadır. Osiloskobun 2000 veriden fazla veri sağlayamaması nedeni ile geniş zaman ölçeklerinde, kısmi boşalma verilerinin incelenmesi sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle küçük zaman ölçeklerinde veri alınması zorunludur. Analog/dijital bir kart kullanılması ile bu sıkıntılar aşılabılır. Bu kartın kullanılması ile birlikte sürekli işaret alınabilir ve istenildiği kadar uzun zaman aralıklarında ölçme yapılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta bu analog/dijital kartın örnekleme frekansıdır. Kısmi boşalmalar 10 ns gibi çok kısa süreli işaretler oldukları için, düşük örnekleme frekansına sahip bir kart doğru sonuçlar vermeyebilir. Deneyde 100 MHz'lik bir osiloskop kullanılmış olmasına rağmen, osiloskobun büyük zaman ölçekleri için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu kartın kullanımı ile birlikte kısmi boşalmaların zamanla değişimi de incelenebilir, zira uzun süreli ölçümler yapmak ve veriler almak mümkündür.

Sonuç olarak, yalıtkanın ömrüne etki eden en önemli faktörlerden biri olan kısmi boşalmaların ölçülmesinde çok dikkatli olunması gerekmektedir. Bozucular göz ardı edilememeli ve boşalma olayları çok kısa sürede meydana geldiği için örnekleme frekansı dikkatli seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kreuger, F.H.**, 1989. Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment, Butterworth & CO Ltd., Londra.
- [2] **Gulski, E.**, 1991. Computer-aided recognition of partial discharges using statistical tools, *Doktora Tezi*, Delft University.
- [3] **TS-2051**, 1975. Elektriksel kısmi boşalmaların ölçülmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] **BSI-4828**, 1972. Guide to partial discharge measurements, *British Standards Institution*, London.
- [5] **ASTM-1868**, 1981. Standart method for detection and measurement of partial discharge pulses in evaluation of insulation systems, *The American Society for Testing and Materials*, Philadelphia.
- [6] **IEC-270**, 1981. Partial discharge measurements, International Electrotechnical Commission, Geneva.
- [7] **Pomplili, M., Mazzetti, C. and Libotte, M.**, 1993. The effect of the Definition Used in Measuring Partial Discharge Inception Voltage, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, **28**, 1002-1006.
- [8] **Boggs, S.A. and Stone, G.C.**, 1982. Fundamental limitations in the measurement of corona and partial discharge, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, EI-17, 143-150.
- [9] **Capponi, G. And Schifani, R.**, 1992. Measurement of partial discharge in solid dielectrics with a microprocessor-based system, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, **27**, 106-113.
- [10] **Bernhard, A.F. and Detlev, W.G.**, 1996. Partial Discharge Signal Conditioning Techniques for On-Line Noise Rejection and Improvement of Calibration, Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Quebec, Canada, June 1996, 397-400.
- [11] **Walter, S.Z. and Lehmann, K.**, 1993. A Critique of Present Calibration Procedures for Partial Discharge Measurements. , *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, **28**, 1043-1049.

- [12] **Ergan, N.**, 1981. Elektriksel kısmi boşalmaların değişik yöntemlerle ölçülmesi ve ölçü sonuçlarının karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Müh. Mim Fakültesi , İstanbul.
- [13] **Kreuger, F.H., Gulski, E. and Krivda, A.**, 1993. Classification of partial discharges, IEEE Transactions on Electrical Insulation, **28**, 917-931.
- [14] **Gulski, E. and Krivda, A.**, 1993. Neural networks as a tool for recognition of partial discharges , IEEE Transactions on Electrical Insulation, **28**, 984-1001.
- [15] **Morshuis, P.H.F. and Kreuger F.H.**, 1992. Relation between time-resolved discharge parameters and aging, Proc. 6 Int Conference on Dielectric Materials, Measurement and Applications, Manchester ,1992.
- [16] **Gulski, E.**, 1993. Computer-aided measurement of partial discharges in HV equipment, IEEE Transactions on Electrical Insulation, **28**, 969-983.
- [17] **Buchalla., H., Flohr, T. and Pfeiffer, W.**, 1996. Digital signal processing methods for interference recognition in partial discharge measurement – a comparison, Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Quebec, Canada, June 1996, 393-396
- [18] **Hilder, D.**, 1992. Partial-discharge measurement for insulation quality, Power Engineering Journal, March 1992, 79-86.
- [19] **Hilder, D.**, 1997. Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesi Semineri Notları, İTÜ Elektrik Mühendisliği, İstanbul.
- [20] **Griffiths, D. V. and Smith, I.M.**, 1991. Numerical Methods for Engineers, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [21] **Kalenderli, Ö.**, 1991. Referans kısmi boşalma kaynağının yüksek doğru gerilim koşullarında incelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

10 Mart 1974'te İstanbul'da doğdu. İlkokul eğitimini İstanbul Mehmet İpgin İlkokulu ve Diyarbakır Yenişehir İlkokulu'nda tamamladıktan sonra, orta ve lise öğrenimi için 1985 yılında Diyarbakır Anadolu Lisesi'ne başladı. 1992 yılında bu liseyi bitirerek 1992'de İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümünde Lisans eğitime başladı. 1996 Ağustos ayında mezun olduktan sonra aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği programında Yüksek Lisans eğitime başladı ve hala devam etmektedir.

