

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMALARIN
ÇEVİRİMİÇİ YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLMESİ**

İLKCAN DURNASUYU

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMALARIN
ÇEVİRİMİÇİ YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLMESİ

İLKCAN DURNASUYU

Dr.Öğr. Üyesi Hasbi İSMAİLOĞLU

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Ertan YANIKOĞLU

Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

.....

Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.06.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Enerji güç verimliliğinin artırılması için yüksek gerilimin iletim ve dağıtımda kullanılması yalıtım kalitesinin önemini arttırmıştır. Yalıtım kalitesini tehdit eden başlıca sorun kısmi boşalmadır. Kısmi boşalmaların tespit edilip şiddetlerinin ölçülmesi için bu çalışmada elektriksel yöntemlerin kullanım kolaylığı, duyarlılık ve maliyet açısından akım transformatörü, kapasitif sensör ve Rogowski bobini üzerine araştırmalar yapıp veriler elde edilmiştir. Sağladığı avantajlar sebebiyle Rogowski bobini ön plana çıkmıştır.

Bu zamana kadar sayelerinde geldiğim sevgili anneme, babama, çalışmalarımda bana destek olan değerli hocam ve danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasbi İSMAİLOĞLU'na, kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR'a, çalışmakta bulunduğum sırada eğitim sürecimde bana olan anlayışı ve güveni için Emikon Elektronik San. Ve Tic. Ltd. Şti. genel müdürü ve aynı zaman değerli bir büyüğüm olan Valentin DENİSENKO'ya, uygulamalı çalışmalarımda büyük destek veren ALCE A.Ş. kalite mühendisi İsmail ERTÜRK'e ve sevgili arkadaşım Şener YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

AĞUSTOS – 2020

İlkan DURNASUYU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. ELEKTRİKSEL BOŞALMALAR.....	3
1.1. Tam Delinme	3
1.2. Kısmi Boşalma	4
1.3. Kısmi Boşalmanın Sınıflandırılması	4
1.3.1. İç Kısmi Boşalmalar	4
1.3.2. Yüzeysel Boşalmalar	5
1.3.3. Korona Boşalmaları	6
1.3.4. Elektriksel Ağaçlanma	6
1.4. Kısmi Boşalmaların Oluşumu ve Ortaya Çıkış Nedenleri	7
1.5. Elektriksel Kısmi Boşalmalara İlişkin Büyüklük ve Tanımlar.....	8
2. KISMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜ VE ALGILAMA YÖNTEMLERİ.....	13
2.1. Elektriksel Algılama.....	13
2.2. Elektromanyetik Algılama	14
2.3. Optik Algılama	14
2.4. Akustik Algılama Yöntemi	14
2.5. Kimyasal Algılama Yöntemi.....	14
2.6. Termal Algılama Yöntemi.....	15
2.7. Yalıtkanın Dielektrik Dayanımını Etkileyen Faktörler	15
3. KISMİ BOŞALMANIN ELEKTRİKSEL YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLMESİ.....	16
3.1. Geleneksel Yöntemler	16
3.1.1. Doğrudan Ölçme Yöntemi.....	16
3.1.2. Dengelenmiş Devre ile Ölçme Yöntemi.....	18
3.1.3. Kayıp Ölçme Yöntemi	19
3.2. Kısmi Boşalma Ölçümünde Kullanılan Temel Devre Elemanları	21
3.2.1. Yüksek Gerilim Kaynağı	22
3.2.2. Filtreler ve Akım Sınırlayıcı Ön Dirençler	22
3.2.3. Ölçü Dört Uçlusu	23
3.2.4. Kuplaj Kondansatörü	23
3.2.5. Bağlantı İletkenleri ve Alan Dağılımı Düzenleyicileri	23
3.3. Kısmi Boşalma Dedektörlerinin Kalibrasyonu	24
3.4. Modern Yöntemler	25
3.4.1. Akım Transformatörü	25
3.4.2. Kapasitif Sensör.....	26

3.4.3. Rogowski Bobini	28
3.5. Rogowski bobini ve Akım Transformatörünün Mukayesesi	31
3.6. Rogowski Bobininden Elde Edilen Değerlerin Sayısallaştırılması	33
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	36
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	39
ÖZGEÇMİŞ	40



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. (a) İç kısmi boşalmalar (b) Eşdeğer devresi.....	5
Şekil 1.2. Yüzeysel boşalmalar.	5
Şekil 1.3. Korona boşalması.	6
Şekil 1.4. Elektriksel ağaçlanma.	7
Şekil 3.1. Kuplaj kondansatörü ile seri bağlı ölçü dört uçlusu.....	16
Şekil 3.2. Test nesnesiyle seri bağlı ölçü dört uçlusu.....	17
Şekil 3.3. Dengelenmiş ölçme devresi.	19
Şekil 3.4. Schering Köprüsü.	20
Şekil 3.5. Kısmi boşalma ölçümünde kullanılan devre elemanları.	22
Şekil 3.6. Kısmi boşalma ölçme cihazının kalibrasyonu için genel devre.	24
Şekil 3.7. Manyetik olmayan akım transformatörü.	26
Şekil 3.8. Rogowski bobini ve kapasitif sensörün hatta bağlantısı.	27
Şekil 3.9. Kapasitif kuplör.....	27
Şekil 3.10. Kapasitif kuplörün eşdeğer devresi.	28
Şekil 3.11. Rogowski bobini ve eş değer devresi.....	29
Şekil 3.12. BDK'nın şematik gösterimi.	31
Şekil 3.13. (a) ve (b) öncesi frekans spektrumunda frekans dijital filtreleme.....	33
Şekil 3.14. Ölçüm sinyalinin işlem süreci.	34

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Rogowski bobini ve akım transformatörünün mukayesesi.	32
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Kapasite
C_a	: Yalıtkan malzemenin sağlam kısmının kapasitesi
C_b	: Yalıtkan malzemenin boşluğa seri olan kısmının kapasitesi
C_c	: Boşluğun kapasitesi
d	: Elektrotlar arası mesafe
Δf	: Bant genişliği
f_1	: KB ölçme sistemine ilişkin alt sınır frekansı
f_2	: KB ölçme sistemine ilişkin üst sınır frekansı
ϕ_i	: KB darbesi faz açısı
t_i	: KB darbesi süresi
T	: Deney gerilimi periyodu
°	: Derece
n	: KB darbesi tekrarlama oranı
N	: KB darbesi sıklığı
P	: Deney numunesinin uçlarına uygulanan ortalama darbe gücü.

Kısaltmalar

BDK	: Baskılı Devre Kartı.
DYF	: Değiştirilebilir Yüksek Frekans.
EPK	: Etilen Propilen Kauçuk.
KB	: Kısmi Boşalma.
RB	: Rogowski Bobini.
RHÇB	: Rogowski Hava Çekirdekli Bobin.

ELEKTRİKSEL KISMI BOŞALMALARIN ÇEVİRİMİÇİ YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Güç sistemlerinde ortaya çıkan kayıpları azaltmak elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında yüksek gerilim kullanılmasının en önemli gerekçesidir. Yüksek gerilim kullanılması ile güç sistemlerinde enerji kayıpları azalmakta; ancak, yalıtım sorunları ortaya çıkmaktadır. Elektriksel kısmi boşalmalar, en önemli yalıtım sorunlarının başında gelmektedir. Yalıtkan içinde meydana gelen kısmi boşalmalar, fiziksel ve kimyasal etkiler ortaya çıkararak yalıtım malzemesinin bozulmasına sebep olabilmektedirler. İncelenen yayınlarda elektriksel kısmi boşalmaların, yalıtım bozulmalarıyla meydana geldiği açık şekilde görülmektedir. Bu nedenle elektriksel kısmi boşalmaların doğru olarak ölçülmesi büyük bir önem taşımaktadır. Ölçümlerde, boşalma esnasında ortaya çıkan etkilerden yararlanılır. Bu etkiler, akım ve gerilim darbeleri gibi elektriksel etkiler ile ısı, ses, optik ve kimyasal bozulmalar gibi elektriksel olmayan etkiler olarak iki sınıfa ayrılırlar. Kısmi boşalmalar; elektriksel, elektromanyetik, optik, akustik, kimyasal ve termal algılama yöntemleriyle ölçülebilir. Bu çalışmada elektriksel algılama yöntemi ele alınmıştır. Elektriksel algılama yönteminde kısmi boşalma ölçme sistemi; akım transformatörü, kapasitif sensörler veya rogowski bobini kullanılabilir. Akım transformatörleri, ferromanyetik çekirdekli yapılardır. Çekirdekte doyma söz konusu olabilmektedir. Kapasitif sensör, bir kısmi boşalma ölçümü elde etmek için dış metal topraklama ekranının bir bölümü çıkarılarak kablo izolasyonuna bağlanır. Kullanım olanakları, doğruluk ve maliyetleri açısından incelemeler yapılmış, rogowski bobini üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur. Rogowski bobini, hava çekirdekli bobin olarak bilinen, hafif, manyetik özelliği olmayan yalıtkan malzemedeki yapılmış bir çekirdeğe sahiptir. Bobin, doğrusal karakteristiğe, uygun dinamik tepkiye, geniş bant genişliğine sahip olması ve manyetik doyma göstermemesi gibi önemli üstünlüklere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Kısmi Boşalma, Rogowski Bobini, Yüksek Gerilim.

ELECTRICAL PARTIAL DISCHARGES MEASUREMENT USING ONLINE METHODS

ABSTRACT

Reducing emerging losses in the power systems is the most important reason of using high voltage in the transmission and distribution of the electrical energy. With the use of high voltage, the energy losses reduce; however, isolation issues arise. Electrical partial discharge is one of the most important issue amongst others. Partial discharges which taking place inside the insulator can make physical and chemical effects occur which may deteriorate the isolation material. In reviewed publications, It is clearly seen that electrical partial discharges occur due to insulation breakdown in the examined publications. Thus, accurately measuring the electrical partial discharges matters. In measurements, the effects which occurs while discharging are used. These effects are divided into two classes which are electrical effects such as current, voltage pulses and non-electrical effects such as heat, sound, optical and chemical deteriorations. The partial discharges can be measured by electrical, electromagnetic, optical, acoustic, chemical and thermal detection methods. In this work, the electrical detection method is used. In the electrical detection methods; current transformer, capacitive sensors orrogowski coil can be used. Current transformers are structures with ferromagnetic cores. There may be saturation in the seed. The capacitive sensor is connected to the cable insulation by removing a portion of the outer metal ground shield to obtain a partial discharge measurement. Researches were done in fields such as usage, accuracy and cost, the studies about Rogowski coil were presented. Rogowski coil which is also known as air core coil has a core which is made of light, non-magnetic material. The coil has important advantages such as having linear characteristics, appropriate dynamic response, wide bandwidth.

Keywords: Electrical Partial Discharge, Rogowski Coil, High Voltage.

GİRİŞ

Elektrik enerjisinin yüksek gerilim ile iletilip dağıtılmasıyla güç sarfiyatları büyük bir oranda azalmıştır. Bu sarfiyatların düşmesi yalıtım kalitesinin önemini ise arttırmıştır. Yalıtım kalitesini belirlemek ve değerlendirmek için kısmi boşalma ölçümü en güvenilir ölçüm ve rutin tahribatsız bir ölçümedir. Bu nedenle kısmi boşalmaların ölçümü yüksek gerilim endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Genel olarak kısmi boşalmalar, kullanılan malzemenin elektriksel dayanımı ile sınırlıdır ve sadece elektrotlar arasına gerilim uygulandığında elektrotların köprülenmesine neden olur. Katı, sıvı ya da gazlı bir ortamda kısmi boşalma meydana gelebilir.

Elektriksel kısmi boşalmaların yalıtımın ömrünü doğrudan etkilediği bilinmektedir. Kısmi boşalmaların tespiti ve ölçümü; boşalma sırasındaki enerji değişimlerinden yararlanılabilmektedir. Kısmi boşalmaların algılanması geleneksel yöntemler ile bulunduğu konum ve şiddeti hakkında da bilgi edinebiliriz. Elektriksel olan ve olmayan olarak ikiye ayrılabilen bu ölçüm yöntemleri ile kısmi boşalmaya ait detaylı bilgilere erişilmektedir. Kısmi boşalmanın ölçümünde en yaygın olarak elektriksel yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada elektriksel ölçüm yöntemleri hakkında bilgi sahibi olunup akım transformatörü, kapasitif sensör ve Rogowski Bobini özelliklerinden bahsedilmiş ve birbirleri hakkında karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde ise, elektriksel kısmi boşalmalar tanımlanıp anlatılmıştır. Kısmi boşalmanın oluşumu ve ortaya çıkış nedenleri hakkında bilgi verilerek kısmi boşalma ile ilgili büyüklük ve tanımlar aktarılmıştır.

Kısmi boşalma ölçümü ve algılama yöntemlerine ilişkin bilgiler ikinci bölümde yer verilmiş olup kısmi boşalma ölçümleri en güvenilir şekilde elektriksel yöntemlerle yapılmasına vurgu yapılmıştır.

Elektriksel yöntemler; geleneksel ve modern yöntemler şeklinde açıklanarak kullanılan cihazlar hakkında bilgi verilip karşılaştırılması üçüncü bölümde aktarılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmasının son bölümü olan dördüncü bölümde, çalışma sonucunda elde edilen birikimler ve çıkarımlara bağlı olarak öneriler paylaşılmıştır.



1. ELEKTRİKSEL BOŞALMALAR

Elektriksel boşalma bir elektrik yükünün transfer süreci olarak tanımlanmaktadır. Yükün serbest kalması veya yükün ani hareketi gibi isimlendirmeler de elektriksel boşalmalar için yapılmaktadır [2].

Elektriksel boşalmalar; katı, sıvı ve gaz yalıtkanlarda olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Katı, sıvı ve gazların fiziksel özelliklerine ve dielektrik katsayılarına bağlıdır ve kendi aralarında avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Sıvılar ve gazlardaki boşalmalar incelenirse gazların delinme dayanımlarının sıvılara göre daha küçük olduğu bilinmektedir. Gazların sıvılara göre yalıtkanlığı daha büyüktür fakat sıvılar; elektrotlarını ve sargılarını gazdan daha iyi soğuturlar. Sıvıların avantajlarının olmasına rağmen bir kap ihtiyacı duyması ve mineral yağların yanıcı olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Katıların maddesel yoğunluğunun fazla olması nedeniyle dielektrik kayıpları, dipol kayıpları, dielektrik histerisiz kayıpları sonucu ısınır ve ısınma delinmeye etki eden bir faktör olarak katıların dezavantajını oluşturmaktadır [3]. Hava, gaz türünde bir yalıtandır ve katı veya sıvılara göre daha sık kullanılmaktadır. Bunun sebebi maliyetinin olmamasıdır [4].

Yüksek gerilim çalışmalarında elektriksel boşalma önemli bir konudur. Sistemdeki yalıtkan malzemede elektriksel boşalmaların olması, ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Yalıtkan olan malzemenin özelliklerini koruması beklenmektedir. Yalıtkan malzeme normal şartlarda elektrik akımını iletmez. Yalıtkan olan malzeme elektriksel boşalmalar sebebiyle iletken olur. Tam ve kısmi olmak üzere iki başlık altında incelenebilirler.

1.1. Tam Delinme

Yalıtkanlara gerilim uygulandığında uygulanan gerilim, düşük olduğunda elektrotlar arasında küçük akım darbeleri meydana gelirken yalıtkan elektriksel özelliklerini korur. Yüksek seviyede bir gerilim uygulanırsa oluşan akım darbesi yalıtkanın elektriksel dayanımını geçer ve delinme olayı gerçekleşir. Delinme meydana geldikten sonra yalıtkan özelliğini yitirir, iletken duruma geçer ve kısa devre meydana gelir.

Malzemenin yalıtkanlığını yitirip iletken duruma geçmesine sebep olan gerilime delinme gerilimi denir [5]. Tam boşalmalar, boşalmanın gerçekleşme şekline göre delinme veya atlama olarak adlandırılırlar [6].

1.2. Kısmi Boşalma

Güç sistemlerinde ortaya çıkan kayıpları azaltmak için elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında yüksek gerilim kullanılması gerekli bir yöntemdir fakat yüksek gerilim kullanılması enerji kayıplarını azaltmakla birlikte yalıtım sorunlarını ortaya çıkarmaktadır.

Yüksek gerilimde yalıtım tekniği için gelişmeler elde edilmesine rağmen aygıtların üretimi ve saha montajları sırasında istenmeyen bazı sorunlar oluşmaktadır. Yalıtkan içinde, kısa süreli ve meydana geldiği bölgede fiziksel ve kimyasal etkiler meydana getirerek parametrelerinin bozulmasına sebep olan elektriksel boşalmalara kısmi boşalma denir. Yalıtandaki kısmi deşarjların devamı aygıtı kısa devre yapabilir ve güç sisteminin arızalanmasına neden olabilir. Bu sebeple yüksek gerilim aygıtlarına, yalıtkan kalitesini belirlemek için kısmi boşalma deneyleri yapılmaktadır.

Kısmi boşalmalar, iletkenler arasındaki yalıtkanı kısmen köprüleyen ve bölgesel olan elektriksel boşalmalar olarak adlandırılmaktadır. Elektriksel kısmi boşalmalar, yalıtkan malzemenin iç kısmındaki ya da yüzeyindeki elektriksel alan yoğunlaşmasından kaynaklanır [15,18].

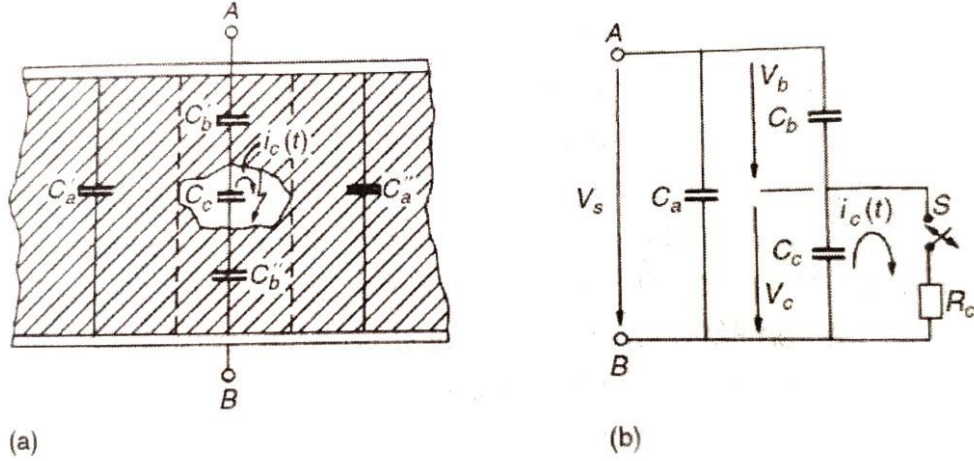
1.3. Kısmi Boşalmanın Sınıflandırılması

Kısmi boşalma kavramı genel bir terimdir ve bunlar dört başlıkta toplanabilir.

1.3.1. İç Kısmi Boşalmalar

Yalıtımın ömrünü belirleyen önemli boşalma türlerinden biri iç kısmi boşalmadır. Şekil 1.1a'da gösterildiği gibi yalıtkanın ortasında veya yalıtkanla iletken arasındaki sınır bölgelerinde bulunabilir. Yalıtkan üretimi sırasında kusursuz bir üretim istenir fakat üretim esnasında sorunlar meydana gelebilir. Bu sorunlar kısmi boşalma sebebiyle sıvı ya da gaz formunda bir boşlukta oluşurlar [8]. Dielektrik sabiti yalıtkindan daha düşük olan ortamdaki elektrik alan, yalıtkanın elektrik alanından daha yüksek bir değerdedir. Bu nedenle elektrik alan, yalıtkanın diğer bölgelerine göre

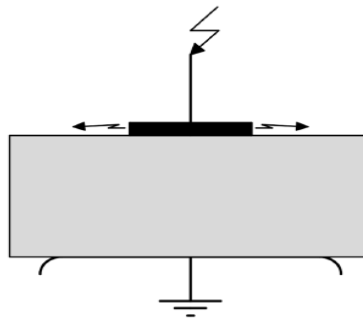
boşluğun olduğu bölgede daha büyük zorlanmalar meydana getirir [9]. Bu zorlanmalar devam ettikçe normal çalışma gerilimlerde dahi kesintilerin olma ihtimalini arttıracaktır. Yalıtkanlardaki bu boşluklar üretim sırasında, kurulumda veya çalışma sırasında oluşabilir. İç kısmi boşalmalar Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. (a) İç kısmi boşalmalar (b) Eşdeğer devresi.

1.3.2. Yüzeysel Boşalmalar

Gaz yalıtkan maddelerin katı ve sıvı maddelerle veya sıvı yalıtkan maddeler ile katı yalıtkan maddeler arasında sınır yüzeyde görülen boşalmaya yüzeysel boşalma denir. Sınır yüzeye komşu olan iki yalıtkindan birinin delinme dayanımı diğerine göre daha düşükse, elektrik alanın teğetsel bileşeni, dayanımı düşük olan yalıtkanın dayanım değerini aştığında yüzeysel boşalma meydana gelir [7,10]. Bu tür boşalmalar, buşing, kablo başlığı, generator sargılarının uçları gibi dış yüzeyle temas eden bölgelerde oluşur. Yüzeysel boşalmalara örnek olarak Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

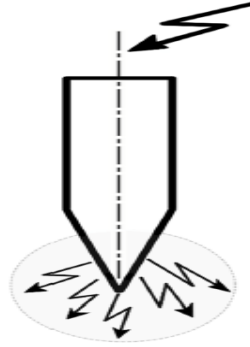


Şekil 1.2. Yüzeysel boşalmalar.

1.3.3. Korona Boşalmaları

Küçük yarıçaplı elektrotlarda görülen fakat kendi kendini besleyen boşalmalara korona boşalması denir. Hava hatlarında gerilim yavaş yavaş yükselirse iyonizasyon başlar ve hat boyunca ince bir tabaka meydana gelir. Korona boşalması kendi kendini besleyen bir boşalma türüdür ve alanda gerçekleşen yoğun iyonlaşmanın elektrotlar arasındaki mesafe boyunca sadece belirli bir bölgede gerçekleşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Genellikle hava hatlarında yüksek gerilim taşıyan metal iletkenlere doğru yönelmiş mavimsi bir renkte parıldama olarak görülürler.

Korona boşalmasına etkisi olan birçok faktör vardır. Bunlar iletkenlerin yarıçapı, iletkenler arası açıklık, hava koşulları ve hatların pürüzlülüğü olarak önemli etkenler sayılabilir. Eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotlarda veya keskin kenar, sivri uç, köşe gibi elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu noktalarda korona boşalması meydana gelmektedir. Korona boşalması Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

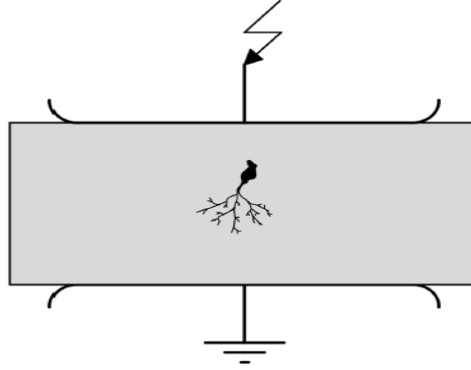


Şekil 1.3. Korona boşalması.

1.3.4. Elektriksel Ağaçlanma

Yalıtkanın üretimi esnasında veya sonrasında yapısal bozukluklar meydana gelebilir ve bu yapısal bozukluklarda kısmi deşarjlar ortaya çıkabilir. Bu boşalmalar katı yalıtkanlar içerisinde boşalma kanalları meydana gelebilir. Elektriksel delinme öncesi gerçekleşen bu olaya elektriksel ağaçlanma denir [11]. Elektriksel ağaçlanmanın hızı, elektriksel alanın şiddetiyle doğru orantılıdır. Düşük elektriksel alan şiddetinde ağaçlanma süresi çok yavaştır ve çalışma geriliminde delinmenin oluşması ayları bulurken yüksek elektriksel alan şiddetinde ise ağaçlanmanın büyüme oranı önemli

derecede artarak dakikalar içerisinde meydana gelebilir [12]. Elektriksel ağaçlanmaya Şekil 1.4’te değinilmiştir.



Şekil 1.4. Elektriksel ağaçlanma.

1.4. Kısmi Boşalmaların Oluşumu ve Ortaya Çıkış Nedenleri

Yalıtkan içinde meydana gelen hatalar, elektriksel alan dayanımının aşılmasıyla iletken duruma geçmesine neden olan, en başta sayılabilecek sebepler arasındadır. Yalıtkan içinde meydana gelen hatalara; boşluklar, kanallar, kağıt, elyaf, toz gibi yabancı maddeler ve sivri uçlar gibi maddeler örnek olarak sayılabilir. Bu kusurlar yalıtkan içinde kaldığından kısmi boşalmaların anlaşılması için gözle görülmeleri mümkün değildir.

Kısmi boşalmaya neden olan hataların başında katı yalıtkanların üretimi sırasında iç kısımda meydana gelen boşluklar meydana getirmektedir. Bu kusurları genel olarak gaz formundaki maddeler oluşturmaktadır. Gaz formunda oldukları için bağıl dielektrik katsayıları, katı yalıtkanların dielektrik katsayılarına oranla oldukça küçüktür. Bu yüzden elektriksel alandaki zorlanmaya dayanmaları oldukça düşük kalmaktadır. Boşluk dolduran gaz, elektriksel zorlanmaya uğradığında delinir. Bu boşluğun elektriksel zorlanma dayanımını etkileyen faktörler ise; boşluğun geometrisi, içindeki gazın basıncı ve cinsi sayılabilmektedir. Yalıtkan içerisinde bulunan gaz boşluğunun delinmesi, kısa devre olarak tanımlanır. Bu da yük geçişlerine neden olduğu için bir ölçme devresi ile kısmi boşalma darbelerini ölçmek mümkün olur.

Sıvı yalıtkanlarda ise katı yalıtkanlardakine benzer bir etki gözlemlenebilir fakat sıvı yalıtkanlarda gaz boşlukları gaz kabarcıkları olarak görünmektedir. Fakat sıvı yalıtkanlar katı yalıtkanlardaki etkilere göre akışkan oldukları için fiziksel

bozulmalardan daha az etkilenirler. Yağ yalıtımlı sistemlerde meydana gelen gaz kabarcıklarının sebebi ise nem veya elektrokimyasal olaylardır. Meydan gelen gaz kabarcıkları zamanla yağ yalıtımını moleküllerine ayrıştırarak karbonlaşmalarına neden olabilir ve bu da yalıtım performansının düşmesine sebep olabilir.

Katı ve sıvı yalıtkanlarda meydana gelen gaz formundaki boşluklardan söz edilebileceği gibi bir sıvı yalıtkanın içerisine yabancı başka bir sıvının meydana gelmesiyle ortaya çıkabilecek kısmi boşalmadan söz edilebilir. Sıvı yalıtkan içerisinde bulunan farklı dielektrik katsayılı bir sıvı molekülü, alan dağılımından daha fazla etkileneceği için elektriksel dayanımı daha düşük olabilir. Bu elektriksel zorlanma dayanımını aştığı anda sıvı molekülü delinir, kısmi boşalmaya sebep olabilir [13,14].

1.5. Elektriksel Kısmi Boşalmalara İlişkin Büyüklük ve Tanımlar

Elektriksel kısmi boşalmaların değerini tanımlamak için çeşitli büyüklüklerden faydalanılır. Kısmi boşalmalar genellikle, 1µs'den daha kısa sürede meydana gelir. Kısmi boşalmaların anlaşılması ve yorumlanabilmesi için kavramlar aşağıdaki açıklanmıştır;

Görünen Yük

Deneyi yapılan numunede meydana gelen kısmi boşalma, yalıtıkanda bir akım veya gerilim darbesi üretir. Görünen yük, deney numunesinin uçları arasında çok kısa bir süre içerisinde yüksek gerilimin uygulandığı ölçü aletinde kısmi boşalma akım darbesine eşdeğer okumayı verebilen yük olarak tanımlanmaktadır. Görünen yük pikocoulomb (pC) cinsinden ifade edilir. Kısmi boşalma ölçümlerindeki en temel büyüklüktür. "Görünen" kelimesinin kullanılmasının sebebi ise, boşalma bölgesindeki veya boşluk içerisindeki yük miktarının ölçü aletinde okunan değer ile boşalmanın meydana geldiği yerel olarak bulunan yükün doğrudan ölçülemediği değerlerin birbirini karşılamamasıdır. Görünen yükün büyüklüğünü dipol momentlerin sayısı ve büyüklüğü etkiler. Görünen yük, "q" ifadesi ile gösterilmektedir [15,16].

Darbe Tekrarlama Oranı

Seçilen bir zaman aralığında kaydedilen kısmi boşalma darbelerinin toplam sayısı ile bu zaman aralığının süresi arasındaki oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Bu oran için,

sadece belirtilen bir büyüklük üzerindeki veya belirtilen bir büyüklük sınırları içerisindeki darbeler dikkate alınmaktadır. Darbe tekrarlama oranı “n” ifadesi ile gösterilmektedir.

Darbe Tekrarlanma Frekansı

Kısmi boşalma darbelerinin eşit zaman aralığında olması durumunda; saniye başına meydana gelen kısmi boşalma darbelerinin sayısı olarak tanımlanmaktadır. Darbe tekrarlama frekansı “N” ifadesi ile gösterilmektedir.

Kısmi Boşalma Darbesinin Faz açısı ve Süresi

Kısmi boşalma darbesinin faz açısı ϕ_i , t_i deney geriliminin sıfırdan pozitif geçişi ile kısmi boşalma darbesi arasında ölçülen süre Denklem (1.1)’de tanımlanır. T ise deney geriliminin periyodunu ifade etmektedir;

$$\phi_i = 360 \left(\frac{t_i}{T} \right) \quad (1.1)$$

Faz açısı, derece ($^\circ$) olarak ifade edilir.

Ortalama Boşalma Akımı

Referans zaman aralığı boyunca T_{ref} olarak seçilen anlık olarak meydana gelen görünen yük büyüklüklerinin q_i ve mutlak değerlerinin toplamının T_{ref} zaman aralığına bölünerek ortalama değerinin alınması ile ortalama boşalma akımı Denklem (1.2)’de bulunmaktadır;

$$I = \frac{1}{T_{ref}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|) \quad (1.2)$$

Yukarıdaki formül ile ortalama boşalma akımı, birimi saniye başına (C/s) veya Amper (A) şeklinde ifade edilmektedir.

Boşalma Gücü

Seçilen referans zaman olarak T_{ref} aralığında q_i görünen yüklerinden dolayı deney numunesine uygulanan gerilimin ortalama darbe gücüdür. Boşalma gücü Denklem (1.3)'te gösterilmiştir;

$$P = \frac{1}{T_{ref}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \dots + q_i u_i) \quad (1.3)$$

Formülde; u_1, u_2, \dots, u_i gerilimleri, anlık olarak meydana gelen q_i görünen yüklerinin t_i zaman anlarında meydana geldiği deney geriliminin ani değerleri olarak tanımlanmaktadır. Boşalma gücü Watt (W) olarak gösterilmektedir.

Karesel Oran

Seçilen referans zaman olarak T_{ref} boyunca anlık olarak meydana gelen q_i yük büyüklüklerinin karelerinin toplamının T_{ref} zaman aralığını bölünmesi ile bulunan ortalama değerdir. Denklem (1.4)'te karesel oranın denklemi gösterilmiştir;

$$D = \frac{1}{T_{ref}} (q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_i^2) \quad (1.4)$$

“D” harfi ile gösterilen karesel oran saniye başına coulombun karesi (C^2/s) şeklinde ifade edilir.

Kısmi Boşalma Başlama Gerilimi

Bir deney numunesine uygulanan gerilim değerinin kısmi boşalmanın oluşmadığı düşük gerilimden başlayarak yavaş yavaş arttırıldığında kısmi boşalmanın tekrarlanabilir olduğu ve ilk defa gözlemlendiği gerilim değerine denir. Kısmi boşalma başlama gerilimi, U_i olarak gösterilir ve kısmi boşalmanın başlaması için belirtilen en düşük gerilim değeridir.

Kısmi Boşalma Sönme Gerilimi

Bir deney numunesine uygulanan gerilim değerinin kısmi boşalmanın oluştuğu yüksek gerilimden başlayarak yavaş yavaş azaltıldığında kısmi boşalmanın son bulunduğu gerilim değerine denir. Kısmi boşalma sönme gerilimi, U_e şeklinde gösterilir.

Ölçme Sistemi Karakteristikleri

Transfer Empedansı

Giriş sinüs biçiminde olduğunda f frekansın bir fonksiyonu olarak çıkış gerilimi genliğinin sabit bir giriş akım genliğine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. $Z(f)$ olarak gösterilmektedir.

Alt ve Üst Sınır Frekansları

Alt ve üst sınır frekansları sırasıyla f_1 ve f_2 şeklinde gösterilmektedir. Bu değerler transfer empedansı $Z(f)$ 'nin bant geçiren tepe geçiş değerlerinden 6dB aşağıya düştüğü değerlerdir.

Orta Bant Frekansı ve Bant Genişliği

Tüm ölçme sistemleri için orta bant frekansı ve bant genişliği sırasıyla Denklem (1.5) ve (1.6) olarak tanımlanmaktadır;

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (1.5)$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (1.6)$$

Süperpozisyon Hatası

Giriş akım darbeleri arasındaki zaman aralıklarının tek bir çıkış darbesinin süresinden daha az olduğunda, geçici çıkış darbelerinin üst üste binmesi olarak tanımlanır. Süperpozisyon hataları giriş darbelerinin darbe tekrarlanma oranına bağlı olarak ilave edilir veya çıkarılır. İlave edilebilen veya çıkarılabilen giriş darbeleri, darbe tekrarlanma oranı yapısının değişken olması nedeniyle meydana gelebilir. Bununla beraber ölçmeler tekrarlanarak oluşan en büyük kısmı boşalma büyüklüğüne dayandığı için genellikle yalnızca ilave edici süperpozisyon hataları ölçülür. Darbe tekrarlanma oranı ve ölçme sisteminin karakteristiği süperpozisyon hatalarını önemli bir ölçüde etkileyen faktörler arasındadır.

Darbe Çözünüm Süresi

Kısmi boşalmanın tepe değerinin tek bir darbe için %10'dan fazla değişmediği çok kısa süreli, aynı biçimli, polariteye ve yk büyüklüğüne sahip çok kısa süreli ardışık iki darbe arasındaki zaman aralığıdır. Darbe öznrlk süresi T_r şeklinde gösterilmektedir.

Genelde lme devresinin bant genişliği Δf ile darbe çözünürlük süresi T_r , ters orantılıdır. Bu zellik, lme sisteminin ardışık kısmi boşalma olaylarının ayırt edilebilme kabiliyetini göstermektedir.

Entegrasyon Hatası

Kısmi boşalma akım darbesi genlik spektrumunun st frekansının sınır değeri; geniş bantlı bir lme sisteminin st kesme frekansından veya dar bantlı bir lme sisteminin orta bant frekansından daha az olduğunda meydana gelen görünen yk ölümündeki hatadır [15,16].

2. KISMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜ VE ALGILAMA YÖNTEMLERİ

Elektriksel yalıtım problemlerinin başlangıcının önemli belirtisi kısmi boşalmalardır. Bu sebeple kısmi boşalmanın ölçülmesi büyük önem taşır. Kısmi boşalmaların ölçülmesinde yalıtıkanda meydana gelen etkilerden faydalanır. Bu etkiler, akım ve gerilim darbeleri gibi elektriksel etkiler ve kısmi boşalmanın meydana çıkardığı gaz, sıcaklık, ısı, ışık ve ses gibi fiziksel veya kimyasal değişimlerin deney numunesindeki boşalma etkilerinden sonraki halinin gözlenmesi esasına dayanarak elektriksel olmayan etkiler olarak sınıflandırılır. Elektriksel olmayan etkiler, kısmi boşalmanın büyüklüğünü ölçmek için uygun değildir, sadece kısmi boşalmanın algılanması ve/veya yerini belirlemek için kullanılır.

2.1. Elektriksel Algılama

Kısmi boşalma ölçümlerinde en çok tercih edilen yöntem olarak bilinmektedir. Elektriksel algılama, boşlukta meydana gelen elektriksel darbelerin tespiti esasına dayanmaktadır. Kısmi boşalmalar 1 MHz'den büyük ölçülebilir ve 1 μ s'den daha kısa sürmektedir. Elektriksel algılamada çevrimiçi bilgisayar bağlantılı izleme çok yaygındır. Bu nedenle yüksek gerilim sistemleri gerçek zamanlı bir şekilde takip edilebilir ve bu sistemin çalışmasını etkilemez. Bu yöntem de geleneksel ve modern yöntemler olarak;

Geleneksel Yöntemler

- Doğrudan Ölçme Yöntemi,
- Dengelenmiş Devre ile Ölçme Yöntemi,
- Kayıp Ölçme Yöntemi,

Modern Yöntemler

- Akım Transformatörü,
 - Kapasitif Sensör,
 - Rogowski Bobini,
- incelenebilir.

2.2. Elektromanyetik Algılama

Kısmi boşalmalar meydana geldiğinde oluşan elektromanyetik dalgaları, metal muhafaza içinde meydana getirdiği akım endüklenmesinin sonunda değişken toprak gerilimleri oluşmasına neden olur. Meydana gelen kısmi boşalma darbelerinin yüksek frekanslı özellikte olması nedeniyle, topraklanan metalin empedansı, bu değişken toprak gerilimleri oluşmaktadır. Elektromanyetik algılama, dedektör kullanarak kapasitif bir probun metalin yüzeyine temasıyla kısmi boşalmanın algılanması sağlanır.

2.3. Optik Algılama

Kısmi boşalma olayı sırasında, fotonlar meydana gelir ve oluşan ışık spektrumları görülebilir aralıktan kızıl ötesine kadar bu yöntemle algılanabilir. Bu yöntemde söz konusu ışık spektrumlarının yaklaşık %10'u karanlık bir ortamda görülebilir. Tespitin mümkün olabilmesi için kısmi boşalma, ekipmanın görüş mesafesinde olmalıdır. Alternatif olarak da fotoğrafla kayıt yapılabilir. Özel Amaçlar için bazen görüntü çoğaltıcılar kullanılır.

2.4. Akustik Algılama Yöntemi

Kısmi boşalma nedeniyle meydana gelen ve yayılan ses dalgaların tespitine dayanan bir algılama yöntemidir. Bu yöntemde akustik enerjiyi elektriksel sinyale çeviren algılayıcılar kullanılır. Kısmi boşalma darbesinin duyulabilen veya ultrasonik aralıklarda, insan kulağının duyamayacağı frekanslardaki seslerin, hassas bir mikrofon yardımıyla duyulabilir bir frekansta sese dönüştürülmesidir.

2.5. Kimyasal Algılama Yöntemi

Yalıtkan malzemenin bileşiminde meydana gelen kimyasal değişiklikler takip edilir. Yağ veya gaz yalıtımlı cihazlardaki kısmi boşalmaların varlığı bazı durumlarda, yağ veya gaz içerisinde çözünen ürünler, analizlerle algılanabilir. Çözünen ürünler uzun süreli çalışma sırasında birikebilir. Bu tür kimyasal analizler kısmi boşalmaların neden olduğu bozulmaları tahmin etmek için de kullanılabilir.

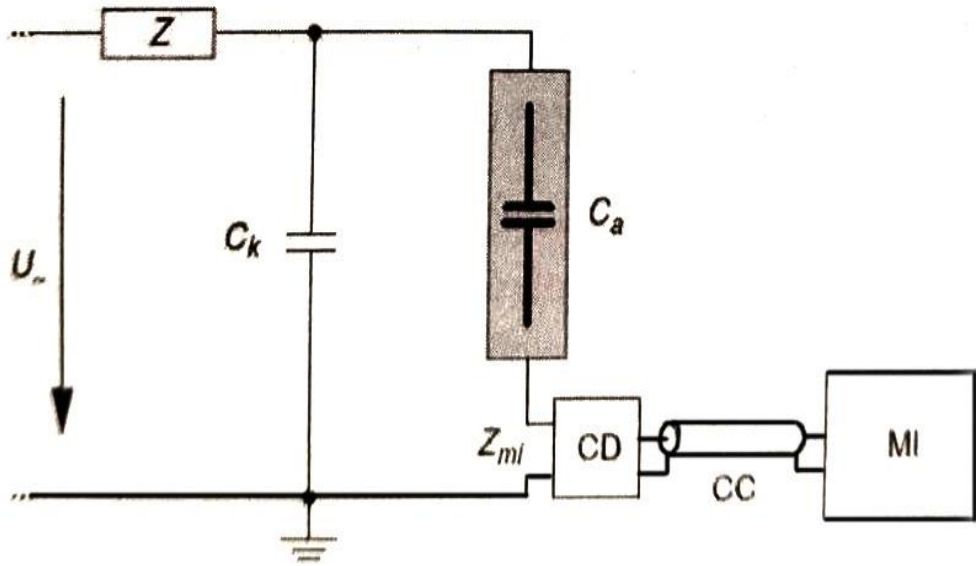
2.6. Termal Algılama Yöntemi

Yalıtkan malzeme içerisinde, yüksek akım yoğunluğu nedeniyle sıcak noktalar meydana gelir. Termal görüntüleme yöntemiyle sıcak noktaların tespiti mümkün olmaktadır [15,17].

2.7. Yalıtkanın Dielektrik Dayanımını Etkileyen Faktörler

Yüksek gerilim güç ekipmanlarında yalıtkanın dielektrik dayanımı yüksek ve kimyasal maddelerle etkileşiminin en az olması istenir. Sıcaklık, kirlilik, nem, yalıtkan ile elektrotlar arasındaki açıklık ve yalıtkanında meydana gelen hava boşlukları gibi etkenler, yalıtkanın dielektrik dayanımını etkiler.

Buradaki önemli etkenlerden biri sıcaklıktır. Yalıtkan malzemenin belirli sıcaklık değerleri arasında kendi formunu koruyabilmesi istenir fakat sıcaklık arttıkça malzemenin bozulma derecesi artar ve yalıtkanın ömrü azalır. Elektrotların şekli ve boyutu ise bir diğer etkidir. Elektrotların boyutu arttıkça elektrik zorlanmasının artmasına neden olabilir. Elektrot boyutunun artması da kirlilik faktörünü tetikler. Kirlilik olarak metal parçacıklar, karbon, asit, elyaf gibi maddeler sayılabilir. Bu maddeler atlama geriliminin düşmesine neden olurlar.



Şekil 3.2. Test nesnesiyle seri bağlı ölçü dört uçlusu.

Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de gösterilen devrelerde,

- U : Yüksek gerilim kaynağı,
 - Z : Filtre veya akım sınırlayıcı empedans,
 - C_a : Deneysel cisim,
 - Z_{mi} : Ölçme sisteminin giriş empedansı,
 - CC : Bağlantı kablosu,
 - C_k : Kuplaj kondansatörü,
 - OL : Optik bağlantı,
 - CD : Ölçü dört uçlusu,
 - MI : Ölçü aleti,
- olarak tanımlanır.

Şekil 3.1'de gösterilen devrede, topraktan yalıtılmayan deneysel cisimleri için bağlantı kolaylığı sağlamaktadır. Bu devrede ölçü dört uçlusu devrenin alçak gerilim tarafına bağlandığı için deneysel cisimde meydana gelebilecek herhangi bir atlama ya da delinme gibi oluşabilecek durumlardan hasar görme ihtimali azalır. Şekil 3.1'in sağ tarafında ölçü dört uçlusu için alternatif pozisyonu görülmektedir. Bu durumda doğrudan yüksek gerilime maruz kalacak olan ölçü dört uçlusu, optik bağlantı yardımıyla bağlanması daha güvenli olacaktır [18].

Deney cisminin topraktan yalıtılabilir olması durumunda, Şekil 3.2’de, deney cisminin ölçü dört uçlusuna seri bağlı olduğu devre kullanılır. Şekil 3.2’deki deney devresinde yüksek gerilim tarafından meydana gelen kaçak kapasiteler, $C_k / (C_a + C_k)$ göre daha yüksek duyarlılık sağlanarak deney devresinin kaynaktan gelecek bozucu etkilerden daha az etkilenmesi sağlanır. Bu devrenin dezavantajı, deney cisminde meydana gelebilecek atlama veya kısa devre durumunda arıza kısmi boşalma sistemine hasar vermesidir [16].

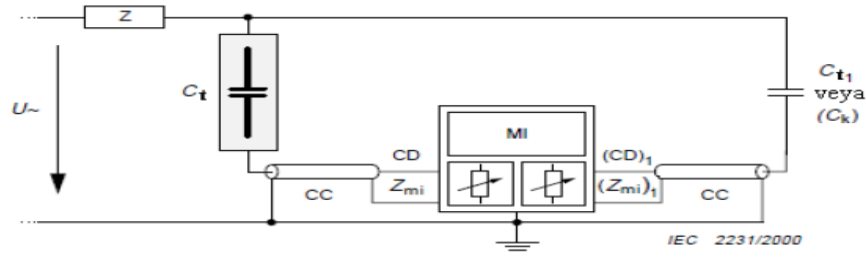
3.1.2. Dengelenmiş Devre ile Ölçme Yöntemi

Kısmi boşalma büyüklüklerinin ölçümlerine; deney devresinde meydana gelen gürültüler, ölçüm duyarlılığını azaltmaktadır;

- Deney devresi enerjilendirilmeden önce oluşan gürültülerdir. Ölçme cihazının yapısal gürültüsü, anahtarlama işlemleri, yakındaki yüksek gerilim deneyleri bu gürültülere örnek olarak verilebilir.

- Deney devresi enerjilendirildikten sonra oluşan gürültülerdir. Bu bozulmalar gerilim artışı ile birlikte kendini daha çok gösterir. Yüksek gerilim iletkenlerindeki deney tranformatörleri ve geçit izolatörlerindeki kısmi boşalmalar örnek olarak gösterilmektedir.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilen doğrudan ölçme devreleri pratik, kolay ve sade bir devre şeması olması nedeniyle kısmi boşalma ölçüm deneylerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Ortam ve ölçme devresinden kaynaklanan gürültülerin fazla olduğu durumlarda Şekil 3.3’teki dengelenmiş ölçme devresi kullanılabilir.



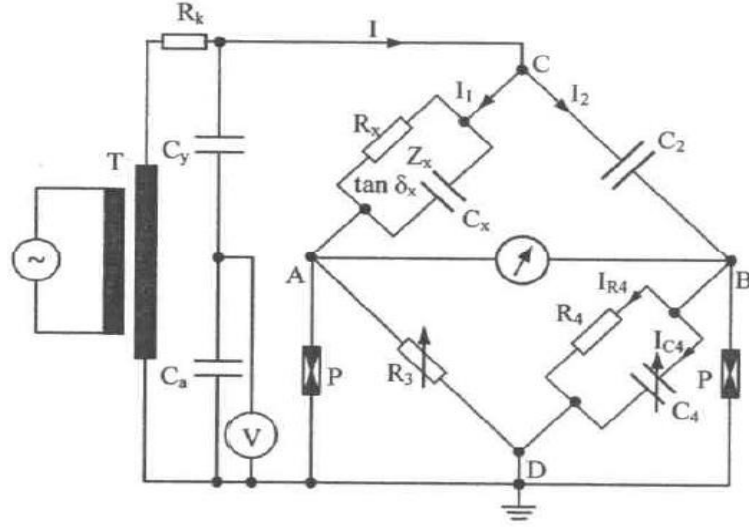
Şekil 3.3. Dengelenmiş ölçme devresi.

Gürültülerin azaltılması için kullanılacak en etkili yöntem ekranlama ve filtrelemedir. Gürültülerin azaltılmasında devrelerin kurulması ve incelenmesi, daha duyarlı ölçümler sağlanır. Bu ölçümlerin maliyetleri ise pahalıdır.

Şekil 3.3'teki devrede iki adet ölçü dört uçlusu kullanılmıştır. Bu devrede kuplaj kondansatörü ile deney cisminin kapasitelerinin daha duyarlı bir ölçüm sonucu için kapasite değerlerinin birbirine yakın, dielektrik kayıp faktörlerinin ve frekansa bağımlılıklarının da benzer olması gerekmektedir. Bu yüzden kuplaj kondansatörü yerine kısmi boşalması bir deney cismi kullanılarak kısmi boşalma testi yapılabilir. C_t ve C_{t1} 'deki akımlarla deney cisimlerinde meydana gelen gürültüler birbirini sönmülerken kısmi boşalma darbelerini kuvvetlendirirler. Dengelenmiş devrelerde ölçü empedanslarının ayarı değiştirilerek ortamdaki diğer boşalmaların veya gürültülerin etkileri, kısmi boşalma darbelerinin okunmasını için kolayca ayırt edilebilmektedir.

3.1.3. Kayıp Ölçme Yöntemi

Elektriksel kısmi boşalma darbelerinin ölçülmesinde kullanılan yöntemlerden diğeri, kayıp ölçme yöntemidir. Kayıp ölçme yöntemi, deney cisminde meydana gelen kısmi boşalmaların oluşturduğu güç kaybını ölçmeye dayanır. Yalıtıkanda meydana gelen kayıp güç; dielektrik kaybı ve $(\tan\delta)$ kayıp faktörü ile ilişkilidir. Yalıtkan malzemedeki dielektrik kayıplarının ölçülmesi ile kısmi boşalma darbeleri hakkında fikir edilebilir. Bir yalıtkan malzemenin kapasitesini ve kayıp faktörünü belirlemede en çok kullanılan yöntem Schering köprüsüdür. Schering köprüsü Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Schering Köprüsü.

- R_x : Deney cisminin omik direnci,
- C_x : Deney cisminin kapasitesi,
- C_2 : Değeri bilinen ve sabit olan etalon (standart) kondansatör,
- R_3 : Denge hali için değeri ayarlanabilen omik direnç,
- C_4 : Denge hali için değeri ayarlanabilen kondansatör,
- R_4 : Sabit değerli direnç,
- P : Deney cisminin delinmesi durumunda R_3 , R_4 ve C_4 elemanlarının yüksek gerilime karşı korunması amacıyla kullanılan parafudr,
- R_k : Koruma direnci,
- C_y : Kapatif gerilim bölücü,
- C_a : Kapatif gerilim bölücü,
- T : Yüksek gerilim üreten transformatör.

Bu yöntemde Schering köprüsünün dengede olması, R_3 ve C_4 elemanlarıyla sağlanır. Denge durumunda A ve B noktalarının gerilimleri birbirine eşit olur ve titreşimli galvanometreden akım geçişi olmaz.

Gerilimlerin eşitliğinden denge koşulu, empedans çarpımı olarak Denklem (3.1)'de belirlenir. Her koldaki empedansların gerçel (reel) ve sanal (imajiner) bileşenleri yazılır ve reel kısımlarla imajiner kısımların eşitliğinden deney cisminin kapasitesi ve omik direnci sırasıyla Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'te bulunur.

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (3.1)$$

$$C_x = \frac{R_4 C_2}{R_3 (1 + \omega^2 R_4^2 C_4^2)} \quad (3.2)$$

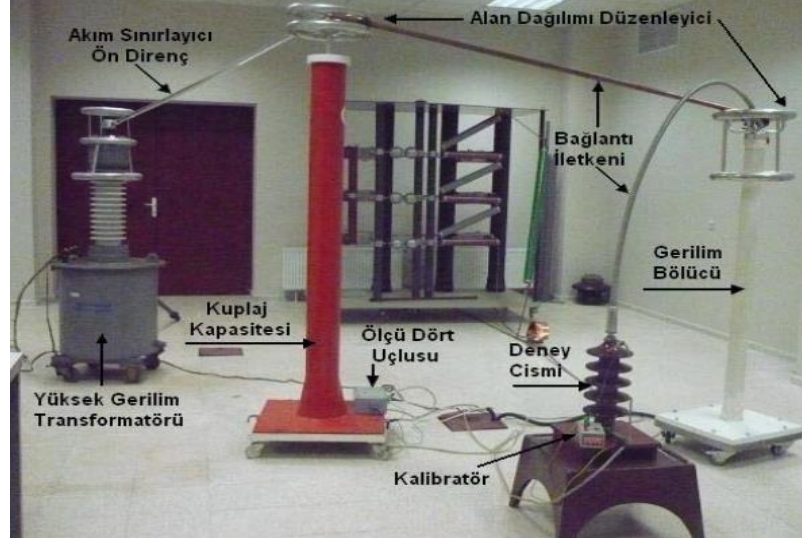
$$R_x = \frac{1}{\omega^2 C_x C_4 R_4} \quad (3.3)$$

Dört koldan oluşan köprünün bir koluna deney cismi diğer koluna kayıpsız kuplaj kondansatörü bağlanır. Diğer iki koldan birisine değişken standart küçük değerli bir direnç, diğerine de birbirine paralel bağlı düşük değerli bir direnç ile değişken bir kapasite bağlanır. Ayar yapmak için kullanılan kollar toprak potansiyeline yakın olduğundan güvenli biçimde ayarlama yapılması mümkündür.

Elektriksel kısmi boşalma ölçme devrelerinde kullanılan deney transformatörleri, kuplaj kondansatörleri ve deney bağlantılarının da deney gerilimlerinde kısmi boşalmasız olması beklenmektedir. Deney gerilimi bir elektriksel filtre üzerinden uygulanmalı ve deney yerinin gürültü düzeyini düşürücü (ekranlamak, uygun yer ve zamanda deney yapmak vb.) önlemler alınmalıdır.

3.2. Kısmi Boşalma Ölçümünde Kullanılan Temel Devre Elemanları

Elektriksel kısmi boşalma darbelerinin doğru olarak ölçülmesi yüksek hassasiyet ve dikkat gerektiren bir işlemdir. Bu nedenle KB ölçümünde kullanılan devre elemanlarının da hassas ve belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. KB ölçümünde kullanılan temel devre elemanlarında aranan belirli özellikler aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır. Kısmi boşalma devresinde kullanılan temel devre elemanları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kısmi boşalma ölçümünde kullanılan devre elemanları.

3.2.1. Yüksek Gerilim Kaynağı

Kısmi boşalma ölçümü deneylerinde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri deney gerilimidir. Bir yükseltici transformatör yardımıyla kısmi boşalma ölçümlerini deney gerilimleri sağlamaktadır. Deney geriliminin gürültü ve bozucu etkiler içermeden oluşturulması için yüksek gerilim transformatörün alçak gerilim sargısı; filtre edilmiş şebeke gerilimiyle ya da motor-jeneratör grubu ile beslenmesi gerekmektedir. Kısmi boşalma standartlarında belirtildiği üzere yüksek gerilim kaynağından elde edilen gerilimin sinüsoidal bir biçimde olması gerekir ve deneyin yapılması gereken gerilim seviyesinde kısmi boşalmasız ve düşük gürültüde olmalıdır.

3.2.2. Filtreler ve Akım Sınırlayıcı Ön Dirençler

Yüksek gerilim kaynağından gelen gürültüler önlenemediğinde, deney gerilimi yüksek gerilim filtreleri veya empedanslar yardımıyla filtrelenir. Kısmi boşalma deneyleri sırasında meydana gelebilecek atlama veya delinme durumlarında ortaya çıkan aşırı akımdan meydana gelebilecek zararları önlemek için akım sınırlayıcı ön dirençler kullanılır. Yüksek gerilim kaynağına seri olarak bağlanan filtre veya akım sınırlayıcı ön dirençlerin kısmi boşalmasız ve deney geriliminin temel frekanstaki bileşenlerine etki etmeyecek biçimde seçilmesi gerekmektedir.

3.2.3. Ölçü Dört Uçlusu

Kısmi boşalma deneylerindeki en önemli ekipmanlardan biri ölçü dört uçlusudur. Ölçü dört uçlusunun girişinde algılanan kısmi boşalma akım darbelerini, çıkışında gerilim darbesine dönüştüren devrelerdir. Bu devre yapısı aktif ya da pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif ölçü dört uçlular harici bir gerilime ihtiyaç duymazlar ve pasif devre elemanları olan R-L-C elemanlarından oluşurlar. Aktif ölçü dört uçlularında ise kısmi boşalma darbeleri, harici bir gerilime gereksinim duyan elektronik devrelerle ölçülmektedir. Ölçü dört uçlularının frekans yanıtları, giriş akım darbesine verdiği çıkış gerilimi darbesi ile belirlenmektedir. Herhangi bir kısa devre durumunda ölçü dört uçlusunun giriş uçları aşırı gerilime karşı korunmalıdır.

3.2.4. Kuplaj Kondansatörü

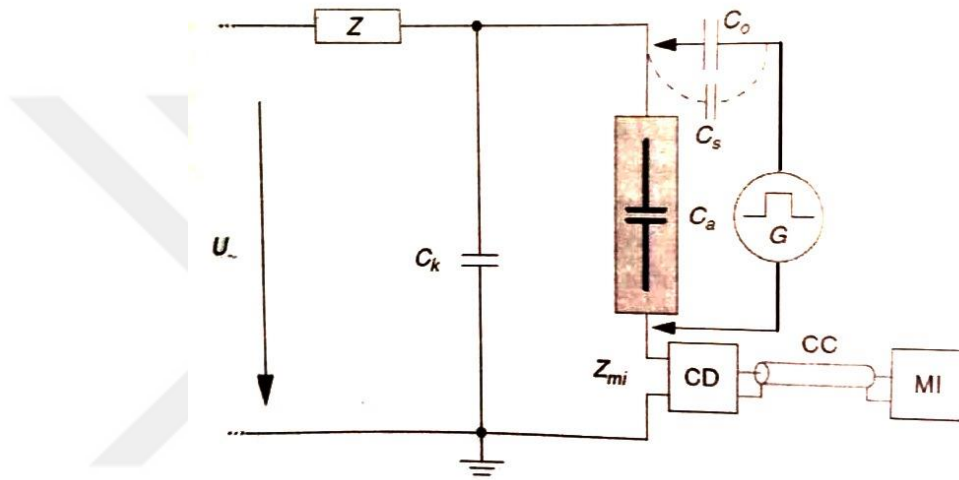
Kısmi boşalma ölçümlerinde duyarlılığa etki eden önemli parametrelerden biri de kuplaj kondansatörünün kapasitesidir. Bu kapasite kısmi boşalma darbelerinin (yük hareketlerinin) deney cismi üzerinde meydana getirdiği gerilim düşümlerini karşılamaktadır. Bu nedenle kuplaj kondansatörün kapasitesi, kısmi boşalma ölçümlerinde duyarlılığa etki eden önemli parametrelere dendir. Ölçme duyarlılığını yükseltmek için kuplaj kondansatörünün kapasitesini artırılabilir fakat bu kapasite artışı, kısmi boşalma ölçümünde uygulanan deney geriliminin elde edildiği kaynağın gücü sınırlandırır. Genelde 1 nF veya daha büyük değerdeki kuplaj kondansatörü, yeterli ölçüm duyarlılığını sağlar. Seçilen kuplaj kondansatörün gürültüsüz, kısmi boşalmasız ve düşük endüktansa sahip olmasına dikkat edilmelidir [15,18].

3.2.5. Bağlantı İletkenleri ve Alan Dağılımı Düzenleyicileri

Kısmi boşalma darbelerinin yüksek duyarlılıkta ölçülebilmesi, gerek ve yeter şartların sağlanabilmesi için önemli noktalardan biri harici boşalma kaynaklarıdır. Kısmi boşalma deneyinde yüksek gerilim aygıtlarının bağlantısında kullanılan iletkenlerin eğrilik yarıçapları, korona boşalmasına neden olmayacak şekilde seçilmelidir. İletkenlerin ve aygıtların birbirine bağlantısının, elektrik alan dağılımını düzenleyen elektrotlar üzerinden yapılmasında fayda vardır. Ölçme devresindeki bağlantılardan kararsız ve hatalı ölçümler almamak için iletkenlerin gevşek olmaması ve uygun uzunlukta olmasına dikkat edilmelidir [18].

3.3. Kısmi Boşalma Dedektörlerinin Kalibrasyonu

Kısmi boşalma ölçümlerindeki önemli konulardan birisi ölçme devresinin kalibrasyonudur. Kısmi boşalma ölçme sistemlerinde kalibrasyonun amacı, ölçme sisteminin bilinen bir yükün büyüklüğünü doğru olarak ölçebildiğini ispatlamaktır. Böylece doğru kalibre edilmiş ölçme devresiyle deney cisimlerin kısmi boşalmalarındaki ölçüm hataları en aza indirilir.



Şekil 3.6. Kısmi boşalma ölçme cihazının kalibrasyonu için genel devre.

Görünen yük q 'nun ölçülmesi için kısmi boşalma ölçme sistemlerinin kalibrasyonu Şekil 3.6'daki devre ile yapılır. Deney numunesinin uçlarına bir kalibratör vasıtası ile akım darbelerinin uygulanmasıyla kalibrasyon yapılır. Görünen yük Denklem (3.4) bağıntısı ile hesaplanır;

$$Q_0 = U_0 C_0 \quad (3.4)$$

Akım darbeleri, genel olarak kalibrasyon darbelerinin tekrarlanan yüklerinin her bir büyüklüğünün q_0 olduğu bir C_0 kondansatörü ile seri bağlı U_0 genlik basamak gerilim darbeleri üreten bir "G" jeneratörü bulunan bir kalibratörden elde edilir. Jeneratörün gerilim darbeleri 60 ns'den az bir yükselme süresine sahip olmalıdır [15,19,20].

3.4. Modern Yöntemler

Geleneksel yöntemler önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bölümde duyarlılıkları daha yüksek ve günümüz teknolojisiyle araştırılıp incelenmiş cihazları avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

3.4.1. Akım Transformatörü

Akım transformatörleri, genel olarak ferromanyetik çekirdekli yapılardır ve çekirdekte doyma söz konusu olabilmektedir. Demir ve diğer manyetik elemanların oksit karışımlarından ferrit malzemeler oluşur ve sadece ferritlerin histerisiz kaybı vardır. Yüksek elektrik direncinden dolayı düşük girdap akım kayıpları vardır. Bu yüzden kısmi boşalmadaki yüksek frekanslı büyüklüklerin ölçülmesinde ferrit çekirdekli transformatörler kullanılır.

Düşük çekirdek kayıpları ve maliyetleri nedeniyle 20kHz-3MHz arasında frekans aralığı olan dönüştürücülerde en çok tercih edilen çekirdek malzemesi ferrit malzemesidir.

Akım transformatörlerinde primer sargı yoktur. Toroid olarak üretildiklerinden ortasından geçen kablo veya bara primer sargı görevini üstlenir. Akım transformatörün sekonder sargısı ise primer sargısında bulunan gerilimden bağımsız, primer sargıda bulunan akımın lineer olarak artışı ya da azalışıyla düşük güçlü bir akım ve gerilim oluşturur.

Akım transformatörleri genelde manyetik nüveli olarak üretilmektedir fakat manyetik olmayan nüveli olarak üretilenler de bulunmaktadır. Şekil 3.7'da manyetik olmayan nüveli bir akım transformatörü gösterilmiştir.



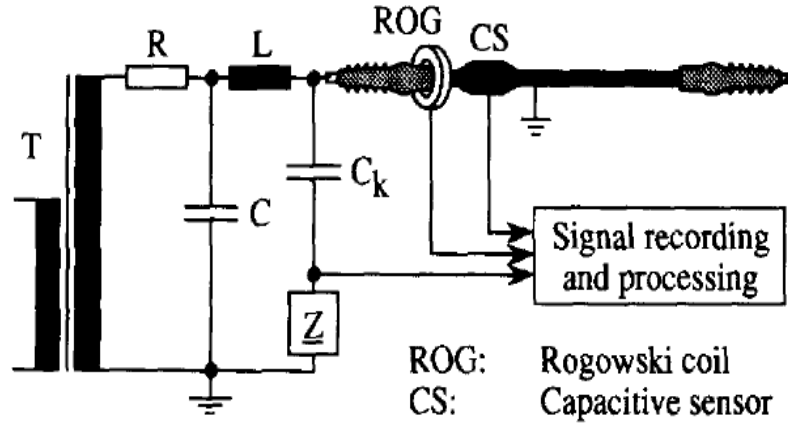
Şekil 3.7. Manyetik olmayan akım transformatörü.

Manyetik olmayan akım transformatörlerde manyetik doyma olmadığından sinüs faz açısı 90 derece kaymaktadır. Bu yüzden akım transformatörünün manyetik olmayan nüvesine uygun olarak üretilmiş integral alıcı ile bu sorun çözülmektedir.

Manyetik olmayan akım transformatörlerine Rogowski Bobini de denilmektedir ve yüksek akım ölçümleri için birçok avantaja sahip özel akım transformatörlerdir [21].

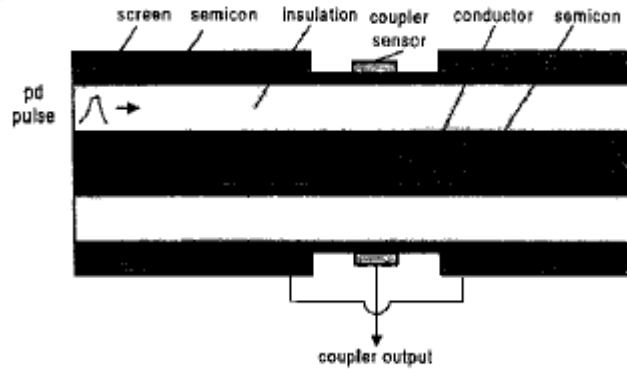
3.4.2. Kapasitif Sensör

Bir güç sisteminin yalıtım kalitesi, fabrikadaki kaliteli üretim sürecine ve test edilmesine bağlıdır. Kablo ek noktalarında ve kablo başlıklarında, beklenmeyen arızalar meydana gelmektedir. Bu nedenle kabloların ek yerleri ve kablo başlıkları şebeke tarafından enerjilendirilmeden önce elektriksel ve elektriksel olmayan ölçme yöntemleriyle test edilse de kurulumdan sonra da çevrimiçi kısmi boşalma testleri gerekmektedir. Sistemin çalıştığı süre boyunca oluşabilecek ani arızaları önlemek için de periyodik olarak izlenmeleri gerekmektedir. Çevrimiçi izlemenin ortaya çıkan yeni hataları algılaması önemlidir. Kapasitif sensör bunun için çözüm sağlamaktadır. Kablonun kısmi boşalma ölçümü için dış metal topraklama ekranının bir bölümünü çıkarılarak kapasitif sensör kabloya bağlanır. Bu sensör, kısmi boşalma darbelerini tespit eden bir anten olarak da düşünülebilir. Kapasitif sensör yalıtım sistemine etki etmez çünkü dış yarı iletkenin etrafına takılarak kablonun iç elektrik alan dağılımını etkilemez. Rogowski bobininin ve kapasitif sensörün hata bağlantısı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



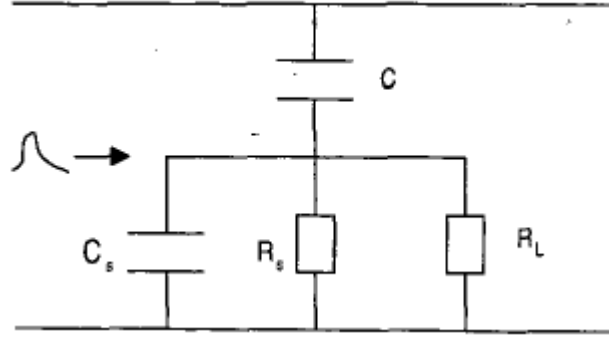
Şekil 3.8. Rogowski bobini ve kapasitif sensörün hatta bağlantısı.

Kablonun kılıfı 100mm uzunluğunda bir kısım çıkarılır ve açıkta kalan kablonun dış yarı iletkenin etrafına 40 mm genişliğinde özel kalay bir bant ile sarılır. Bu kalay bant kapasitif sensör görevi görür. Bu bant için kalay ve alüminyum gibi malzemeler kullanılır. Kuplörün yüksek potansiyel elektrotu, kablonun kılıfına takılarak kablonun dahili alan dağılımı etkilenmez [31-33]. Kapasitif kuplör Şekil 3.9.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Kapasitif kuplör.

Kuplörün düşük potansiyel elektrodu, kompleks frekans yapısına sahip yarı iletken tabakanın daha düşük iletkenliği sebebiyle dış metal topraklama ekranlaması olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.9'daki kapasitif kuplörün eşdeğer devresi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kapasitif kuplörün eşdeğer devresi.

Kablonun metre başına C_0 kapasitansı ve ℓ_c kuplörün uzunluğu, kuplörün C kapasitansını oluşturur. R_s ise kapasitif sensör ve yarıiletken kablonun metal kılıf arasındaki direncini göstermektedir. C_s kapasitif sensör ile kılıf arasındaki kaçak kapasitansı gösterirken R_L ise ölçüm devresinin giriş empedansıdır. C_0 kapasitansı için kullanılacak Denklem (3.5) olarak gösterilmiştir;

$$C_0 = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r \ell_c}{\ln \frac{D_1}{D_0}} \quad (3.5)$$

D_1 : Kablo dış yarı iletken ekranın kalınlığı hariç olarak yalıtımın çapıdır.

D_0 : İç yarı iletken ekranının kalınlığı dahil iletkenin çapıdır.

ϵ_0 : 8,85pF/m olan havanın dielektrik sabitidir.

ϵ_R : Bağlı dielektrik sabitidir.

ℓ_c : Kuplörün uzunluğu.

C_0 kapasitansının tanımlandığı Denklem (3.5)'de, kuplör eşdeğer devresinin iç ve dış yarı iletken tabakalarının etkisi dikkate alınmamıştır. Koaksiyel güç kablolarında sinyal zayıflamasına ve bozulmasına, frekansa bağlı yarı iletken ekranlamaların neden olduğu kayıplardan kaynaklanır. XLPE kablusunun yarı iletken tabakalarının dielektrik sabiti, genellikle frekansın artmasıyla azalır [22-24].

3.4.3. Rogowski Bobini

Elektrik güç sistemlerinde, yüksek gerilim kabloları daha yaygın kullanılmaktadır. Yüksek gerilim kablusunda arızalar meydana gelebilir ve yalıtımının bozulmasına neden olur. Kablolarda arıza meydana geldiğinde tüm elektrik sisteminin güvenirliliği etkileneceğinden, işletim kabloların değiştirilmesi ve bakımın gerekli olup olmadığını

$$V_{rc}(t) = -M \frac{di_p(t)}{dt} \quad (3.6)$$

M bobin endüktansdır. μ_0 ise boşluk geçirgenliğidir. Sırasıyla Denklem (3.7) ve Denklem (4.8)'te belirtilmiştir;

$$M = \frac{\mu_0 N h}{2\pi} \ln \frac{a}{b} \quad (3.7)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad (3.8)$$

N : Bobindeki sarım sayısı,

h(m) : Bobin iskeletinin yüksekliği,

a(m) : Bobin iskeletinin iç yarı çapı,

b(m) : Bobin iskeletinin dış yarı çapı.

Laplace domeninde Rogowski bobininin çıkış gerilimi (V_{out}), Denklem (3.9)'de verilmiştir;

$$V_{out} = V_{rc} \left[\frac{Z}{s^2 L_s Z C_s + s(L_s + R_s Z C_s) + (R_s + Z)} \right] \quad (3.9)$$

Rogowski Bobini Çeşitleri

Rogowski bobinlerinin kullanımı, bağlantı şekli ve duyarlılık özellikleri vardır. Uygulamalara göre bu özelliklerden bazıları ön plana çıktığı için Rogowski bobinin çeşitleri meydana gelmiştir. Bunlar; esnek rogowski bobini, rijit rogowski bobini ve BDK rogowski bobinidir.

Esnek Rogowski Bobini

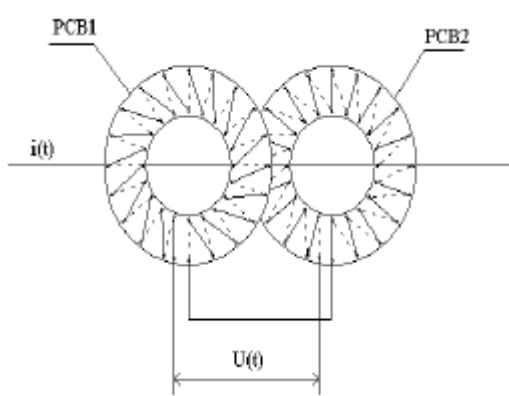
Bobin telinin iskelet üzerine muntazam sarılmasıyla bükülebilen esnek bir yalıtım malzemesi kullanır. İletken etrafına bir halka şeklinde bükülerek ölçüm alınır. Fakat bu bükülme işlemi, sarımların ölçüm hassasiyetini düşürür. Bu nedenle uygulamalarda kullanılma tercihleri düşüktür.

Rijit Rogowski Bobini

Esnek Rogowski bobine göre; daha kolay deforme olmazken, sarım muntazam dağılım yapısını tek düze olarak korur. Bu yüzden ölçümün doğruluğunu arttırmak daha kolaydır. Rijit Rogowski bobini, bobin çerçevesi bölümünün şekline göre dikdörtgen, dairesel ve elipsel olarak üç şekle ayrılır. Dairesel çerçeveli rijit Rogowski bobini; dikdörtgen ve elipsel çerçevelilere göre ölçüm hassasiyeti daha yüksektir. Ancak dikdörtgen çerçeveli rijit Rogowski bobini, ölçmeler için standart ölçüm kriterlerini karşılar ve seri üretimde hazırlanması daha kolay olduğu için maliyet açısından bu bobinler daha çok tercih edilmektedir.

BDK Rogowski Bobini

Baskılı devre kartı (BDK) Rogowski bobini olarak bilinir. Ölçüm hassasiyeti esnek ve sert Rogowski bobinlerine göre çok yüksek olmasına rağmen hassas bir yapısının olması nedeniyle laboratuvar deneyleri dışında kullanılması zordur. Tasarım ilkesine göre BDK Rogowski bobini Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. BDK'nın şematik gösterimi.

Ölçme sırasında meydana gelen gürültüler ölçüm hassasiyetini düşürür. Bu nedenle BDK Rogowski bobini, birbirine ters yönde sarılmış iki ayrı Rogowski bobinin birleşiminden oluşur. İletken etrafından geçen bu iki bobin meydana gelen gürültüleri sönümler. Böylece gürültünün etkisi olmadan doğruluğu yüksek ölçümler alınır. [1]

3.5. Rogowski bobini ve Akım Transformatörünün Mukayesesi

Rogowski bobininde manyetik nüve olmadığı için akım transformatörü ile ayrıldığı en önemli nokta bu özelliğidir. Bunun yanı sıra Tablo 3.1'de Rogowski bobini ve akım transformatörünün mukayesesi gösterilmiştir [27].

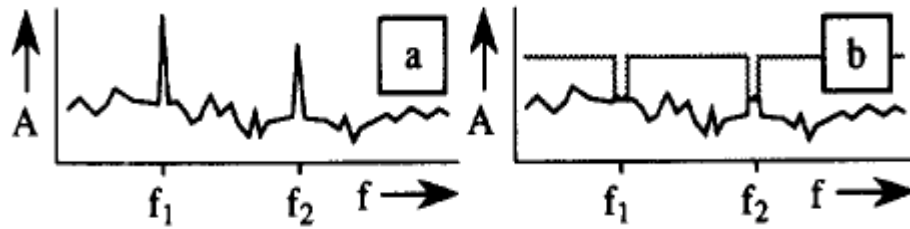
Tablo 3.1. Rogowski bobini ve akım transformatörünün mukayesesi.

ÖZELLİK	AKIM TRANSFORMATÖRÜ	ROGOWSKI BOBİNİ
DOĞRULUK SINIFI	Ölçme : %0,2 - % 1	Ölçme ve Koruma : % 1
	Koruma : % 1 - %3	
DİNAMİK ZORLANMA SINIRI	x 100 In	Sınırsız
LİNEERLİK	In Değerine Bağlı Olarak Kısıtlı Alanda	Geniş Alanda
DOYMA	Mevcut	Söz Konusu Değil
EMC	Etkilenmez	Ekranlı Olduğu İçin Etkilenmez
SEKONDER UCUN AÇIK DEVRE KALMASI	Çok Tehlikeli (Patlama)	Tehlikesiz
ÖLÇÜM YAPTIĞI AKIM ARALIĞI	Geniş In Aralığında Farklı Akım transformatörü Kullanmak Gerekir	Tek Çeşit Akım Sensörü Geniş Aralıkta kullanılabilir.
FREKANS CEVABI	40-60 Hz Aralıkta	1 Hz'den 3Mhz'e kadar Geniş Aralıkta
AĞIRLIK	20-30 kg	2-2,5 kg

3.6. Rogowski Bobininden Elde Edilen Değerlerin Sayısallaştırılması

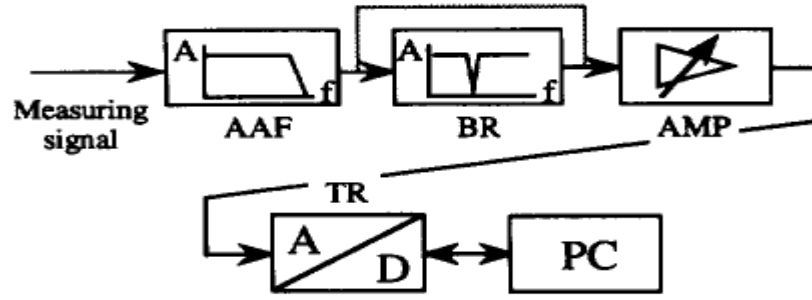
Kısmi boşalma darbeleri, ölçülen iletkenin frekans aralığına denk gelen gürültü sinyalleri ile üst üste gelebilir. Bu, ölçüm hassasiyetinin azalmasını neden olur. Bu gürültü genlikleri, ölçümün frekans aralığına ve ölçüm süresine bağlı olarak sürekli veya ayrık sinyallerdir. Oluşan gürültü genlikleri, kısmi deşarj darbelerinin genliklerinden birkaç kat daha yüksek olabilir hatta bunları tamamen kapatabilir. Ölçülen iletkenin frekans aralığında oluşan gürültü sinyalleri, analog ve dijital yöntemler yardımı ile filtrelenebilir [29,30].

Ayrık Fourier dönüşümü ile bir ölçüm sinyali, zaman domeninden frekans domenine dönüştürüldüğünde, kısmi deşarj darbeleri gürültü sinyallerinden ayrılır. KB darbeleri, sürekli gürültü sinyallerinin aksine geniş bir frekans aralığında sabit bir değer spektrumu gösterir. Çok yoğun, ayrı spektral çizgileri vardır. Dijital filtreleme sırasında, ölçüm sinyalinin frekansı, en yüksek amplitüdü spektral çizgileri bitişik frekansların spektrumuna uyarlayarak manipüle edilir. Şekil 3.13a'daki şematik gösterim, f_1 ve f_2 ayrık gürültü frekanslarına sahip bir frekans spektrumunu göstermektedir. Frekans domenindeki gürültü sinyalinin dijital filtreleme sonucu, Şekil 3.13b'de gösterilmektedir. Hızlı Fourier dönüşümünden sonra f_1 ve f_2 ayrık gürültü frekanslarının genlikleri önemli ölçüde azalır.



Şekil 3.13. (a) ve (b) öncesi frekans spektrumunda frekans dijital filtreleme.

Dijitalleştirilmiş ölçüm sinyalleri, örneğin IEEE-488 arayüzü aracılığıyla iletilip depolanarak kişisel bir bilgisayara aktarılır. Ölçüm sinyali gürültülerinin, filtrelenip bilgisayar üzerine aktarıldığı süreç Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ölçüm sinyalinin işlem süreci.

- AAF : Alçak Geçiren Filtre,
 BR : Bant Durdurma Filtresi,
 AMP : Yükselteç,
 TR : Geçici Kaydedici,
 PC : Bilgisayar.

Rogowski bobini ile ölçülen sinyalin okunabilmesi için sinyalde bulunan gürültülerin filtrelenmesi gerekir. Filtrelenmiş kısmi boşalma sinyal, TR (geçici kaydedici) sayesinde Analog/Dijital dönüştürücüde işlem görür, elde edilen sinyali dinamik aralığını geleneksel sistemlere kıyasla önemli ölçüde artırır ve bilgisayara yüksek hızlı bir veri arayüzü ile sinyalin okunmasını sağlar. Elde edilen bu değerler, bilgisayara aktarılıp Pascal gibi bir yazılım dilindeki programda incelenir [28].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin iletiminde güç kayıplarının azaltılması için yüksek gerilimin kullanılmasıyla yalıtım sorunlarını beraberinde getirmiştir. Son yıllarda üretim deney yöntemlerine ilişkin önemli gelişmeler olmaktadır. Geleneksel yöntemlerdeki maliyet, lineerlik ve kullanım zorluğu yeni araştırmalar için bir sebep olmuştur. Bu araştırmada Modern Ölçme Yöntemleri başlığı altında toplanan akım transformatörü, kapasitif sensör ve rogowski bobini bu gelişimin sonucu olmuştur.

Hazırlanan çalışmada akım transformatörünün, kapasitif sensörün ve Rogowski bobinin avantajlarına değinilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında Rogowski bobininin manyetik bir nüveye sahip olmaması ölçüm cihazının daha uzun ömürlü olmasını, olası bir hat değişikliğinde akım transformatörü gibi değişim maliyetinin fazla olmaması, daha duyarlı, geniş bir bant genişliğinde çalışması ve lineer olmasıyla akım transformatörüne göre avantaja sahiptir. Kısmi boşalma ölçümü için bir güç sistemine bağlantı kolaylığı ile de kapasitif sensörlere göre daha esnek bir kullanım sağlayarak avantaj bulundurmaktadır.

Yapılan literatür taramasında ve elde edilen bulgularla da rogowski bobininin yurt dışında çalışmaları olduğu görülmüştür. Fakat ülkemizde bu ölçme yöntemlerine ilişkin yapılan deneyler oldukça azdır.

Çalışmanın literatür taramasında da görülmüştür ki Rogowski Bobinlerin, Türkçe kaynak sayısı azdır. Bu tez elde edilen araştırmalar neticesinde modern ölçme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak Rogowski bobini üzerine yapılması gereken araştırmalarının ülkemizde de incelenip, gelişimi sağlanması gereği göz önüne çıkartılmak istenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Y. Tian**, Comparison of On-line Partial Discharge Methods For HV Cable Joints, Monlrcripr receimd on 17 July 2001, in fino1 form 26 February 2002
- [2] **Lakdawala, V., Noel, M. M., Basappa, P., Jambula, A.** (2008). Optimization of Complex Electrode for Use in Electrical Measurements, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vancouver, Canada.
- [3] **Lindell, E., Bengtsson, T., Blennow, J., Gubanski, S. M.** (2008). Measurement of Partial Discharges at Rapidly Changing Voltages, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, No. 3, pp. 823-831.
- [4] **Aktepe U.**, Manyetik Alanın Kısmi Boşalmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 455379.
- [5] **Niemeyer, L.** (1995). A Generalized Approach to Partial Discharge Modeling, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 510-528.
- [6] **Pedersen, A., Crichton, G. C., McAllister, I. W.** (1991). The Theory and Measurement of Partial Discharge Transients, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26, No. 3, pp. 487-497.
- [7] **Özkaya M.**, Korona ve Yüzeysel Boşalmalar, Yüksek Gerilim Tekniği Statik Elektrik Alanı ve Boşalma Olayları, 2.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul,272-292,2008.
- [8] **Illias, H., Yuan, T. S., Bakar, H. A. & Mokhlis, H.** (2012). Partial Discharge Patterns in High Voltage Insulation. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Malaysia, December 2-5.
- [9] **Naidu, M. S. & Kamaraju V.** (1995). High Voltage Engineering, McGraw-Hill.
- [10] **Arora, R. & Mosch, W.** (2011). High Voltage and Electrical Insulation Engineering, IEEE Press, New Jersey.
- [11] **Wadhwa C. L.** (2007). High Voltage Engineering, 2nd edn., New Delhi: New Age International.
- [12] **Kreuger F. H.** (1992). Industrial High Voltage -2, Delft University Press, Delft.
- [13] **Özkaya, M.**, Yüksek Gerilim Tekniğinde Deşarj Olayları, 2. baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1-196, (1979).

- [14] **Kuffel, J., Kuffel, E., Zaengl, W. S.**, Yüksek Gerilim Mühendisliği Temelleri (Çeviri), Özşar, Ç., Bodur, A., **TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası**, Emo Yayın No: EG/2008/4, 348-353 / 395-456, (2008).
- [15] TS 2051 EN 60270 “Kablolar-Yüksek Gerilim Deney Teknikleri-Kısmi Boşalma Ölçmeleri” Türk Standardı, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, Nisan (2003).
- [16] **Kuffel, J., Kuffel, E., Zaengl, W. S.**, Yüksek Gerilim Mühendisliği Temelleri (Çeviri), Özşar, Ç., Bodur, A., **TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası**, Emo Yayın No: EG/2008/4, 395-450, (2008).
- [17] **Şimşek, E.** (2014). Elektriksel Kısmi Deşarj Olayı, Prysmiangroup.com. Retrieved Eylül 01, 2014, from http://tr.prysmiangroup.com/tr/business_markets/Teknik-makaleler/elektriksel-kismi-desarj-olayi/
- [18] **Fidan M.**, Harmoniklerden Kaynaklanan Gerilim Bozulmalarının Elektriksel Kısmi Boşalmalar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 301644
- [19] Calibration produres for analog and digital partial discharge measuring instruments, Electra, No.180, Ekim 1998, 123-143.
- [20] **K. Schon and W. Lucas**, Intercomparison of impulse charge measurements, EU Synthesis Report on Project SMT4-CT95-7501,1998.
- [21] http://www.emo.org.tr/ekler/35ea90fec051b35_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7, (Ziyaret tarihi: 06.03.2020)
- [22] **Chang-Young L., Seok-Hyun N., Su-Gil L., Dong-Wook K. and Myung-Kyu C.**, High Frequency Partial Discharge Measurement by Capacitive Sensor for Underground Power Cable System, 0-7803-6338-8/00 2000 IEEE, 1517-1520.
- [23] **Y. Tian, P. L. Lewin and A. E. Davies**, Comparison of On-line Partial Discharge Methods For HV Cable Joints Detection, **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, Val. 9, No. 4, August 2002.
- [24] **Qinghua Z., Liezheng T., Xiaomei O., Yijun L., Tiecheng L., Fan Y., Guowei L. and Junbo W.**, Safety Analysis of Inner Capacitive Coupling Partial Discharge Sensor for 10kV Cable Joints under Lightning Impulse, 978-1-5386-5086-8/18, 2018
- [25] **Veselin S. and Bob H.**, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. “Using Rogowski Coils Inside Protective Relays”, 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers College Station, Texas, 8th -11th April 2013, DOI:[10.1109/CPRE.2013.6822022](https://doi.org/10.1109/CPRE.2013.6822022)
- [26] **Avinash ., Pradeep K., and Jayant G. K.**, Use of Rogowski Coil as Current Transducer for Distance Relay Reach Correction, International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 8, Number 4, December 2016

- [27] **Sabri Ü.**, Rogowski Bobini Akım Sensörleri, Ulusoy Elektrik A.S.
- [28] **U. Schichler, H. Borsi, E. Gockenbach**, Problems and New Solutions for Partial Discharge Measurement on High Voltage Cables under Noisy Conditions, Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Pittsburgh, PA USA, June 5-8, 1994, pp. 67-69
- [29] **M.S. Mashikian** et. al., "Location of Partial Discharges in Shielded Cables in the Presence of High Noise", IEEE Trans. on El. Insulation, Vol. 27, No. 1, 1992, pp. 37-43
- [30] **H. Borsi, E. Gockenbach and U. Schichler**, "Partial Discharge (PD) Measurements under Noisy Condition – Possibilities and Limits of Digital Noise Rejection", 8. ISH, Yokohama, Japan, 1993, Report 60.05
- [31] **D. Pommerenke, R. Jobava and R. Heinrich**, "Electromagnetic Finite Differences Time Domain (FDTD) Modelling of Partial Discharge Coupling Applied to High Voltage Cables and Cable Joints", Proc. of 8th DMMA, pp. 497-502, Edinburgh, UK, 2000.
- [32] **S. Boggs, A. Pathak and P. Walker**, "Partial Discharge XXII: High Frequency Attenuation in Shielded Solid Dielectric Power Cable and Implications Thereof for PD Location", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 12, No. 1, pp. 9-16. 1996.
- [33] **R. A. Chipman**, "Theory and Problems of Transmission Lines", p. 93, Published by McGraw-Hill Book Company, USA, 1968.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Durnasuyu İ.**, Yüksek Gerilim Altında Rogowski Bobini ile Çevrimiçi Kısmi Boşalma Ölçümü, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Kartepe Park Otel, Kocaeli, 01-03 Kasım 2019.



ÖZGEÇMİŞ

İlkokulu ve ortaokulu İstanbul Pendik'te tamamladı. Pendik Lisesi'nden 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında girdiği Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2017 yılı Şubat ayında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yılın haziran ayında Dudullu Organize Sanayi Bölgesi DES sitesi Emikon Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde proje mühendisi asistanı olarak çalışmaya başladı. Halen adı geçen firmada çalışmaktadır.

