

1. Ulusal Elektrik Mühendisliği Kongresi, Adana, s. 223-242, 25-27 Eylül 1985

KABLOLARDA ELEKTRİKSEL KİSMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ

Özcan Kalenderli

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yüksek Gerilim Laboratuvarı, Gümüşsuyu, İstanbul

ÖZET

Yazıda yüksek gerilim kablolarında elektriksel kısmi boşalmaların önemi, elektriksel ve elektriksel olmayan yöntemlerle ölçülmesi ve bazı uygulama örnekleri kısaca anlatılmıştır.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim kablolarında, kablo yalıtkanının üretimi sırasında, içinde, gaz ya da sıvı dolu boşluklar veya yabancı maddeler kalabilir. Kağıt yalıtkanlı kablolarda, yalıtkan kağıt sarılırken ne kadar dikkat edilirse edilsin tabakalar arasında boşlukların kalması önlenememekte veya bu boşlukların yağla doldurulması durumunda yağ içinde veya yağın zamanla azalması sonucu tabakalar arasında boşluklar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca kabloların kaldırma, indirme, taşıma ve yerleştirme sırasındaki kıvrılmalarından ve işletmede, sıcaklık farkları sonucu olan genleşmelerden kablo içinde boşluklar meydana gelebilir. Çeşitli sebeplerle ve çeşitli yerlerde olabilecek bu tür boşluklarda, genellikle akım darbecikleri şeklinde görülen ve yalıtkanı kısmen köprüleyen kısmi boşalmalar adını verdiğimiz elektriksel boşalmalar olur. Aynı zamanda bir enerji kaybı ve parazit kaynağı olan bu boşalmalar, zamanla kablo yalıtımının bozulup zayıflamasına ve hatta sonuçta delinip hasarına ve dolayısıyla enerji sisteminde arızalara yol açabilirler.

Kısmi boşalmalar, yalıtkanın ömrüne etkileyen en önemli etkenlerden birisi olduğundan, kısmi boşalmalarla ilgili pekçok teorik ve deneysel çalışma yapılmış ve standartlar yayınlanmıştır. Kısmi boşalmaların oluşumu hakkında ileri sürülen farklı mekanizmalar sonucu kısmi boşalmaların ölçülmesinde değişik yöntemler kullanılmıştır.

Kısmi boşalmaların ölçülmesinde boşalmalar sırasında enerji dönüşümü sonucu ortaya çıkan etkilerden yararlanılır. Bu etkiler, akım darbeleri, dielektrik kayıpları ve elektromagnetik dalga yayılması gibi elektriksel etkiler ile ısı, ışık, ses ve kimyasal bozulma gibi elektriksel olmayan etkilerdir. Ölçmelerde bu etkilerden ençok kısmi boşalma darbelerinden yararlanılır. Kısmi boşalma ölçmelerinin amacı, kısmi boşalmaları bulma, ölçme, yerini belirleme ve sonuçları değerlendirmedir. Ölçmeler, elektriksel veya elektriksel olmayan yöntemler ile yapılabilir.

Aşağıda konunun daha iyi anlaşılmasına yardım edecek tanımlar ile elektriksel ve elektriksel olmayan kısmi boşalma ölçme yöntemleri ve bazı uygulama örnekleri kısaca anlatılacaktır.

2. TANIMLAR

Kısmi boşalma veya korona boşalması: Bu terimler iki elektrod arasında bulunan bir yalıtkanın yalnızca bir bölümünde olan ve elektrodları köpürtemeyen elektriksel boşalmaları anlatmak için kullanılır. Elektrodlardan birisi veya her ikisi ile boşalmalar arasında katı, sıvı veya gaz şeklinde yalıtkanlar bulunur. Bu tip boşalmalara şu örnekler verilebilir:

- (1) Katı yalıtkan içindeki boşluk veya deliklerdeki boşalmalar. Bu durumda boşalmalar elektrodlar arasındaki katı yalıtkan içinde olur ve genellikle iç kısmı boşalmalar olarak söylenirler.
- (2) Yüzeysel boşalmalar. Bu durumda ise elektrodlardan en az birisi katı yalıtkan tarafından örtülüdür.
- (3) Yüksek gerilimde sivri uçlardaki boşalmalar. Bu durumda da boşalma iyonize olmamış bir gaz tabakası tarafından diğer elektroddan ayrılmıştır.

Bu boşalmaların hepsi çarpma suretiyle iyonizasyonun söz konusu olduğu boşalmalardır.

Kısmi boşalma genliği (görünen yükü): Kısmi boşalmalar sonucu kablo iletkenine aktarılan yük miktarıdır. Birimi pikocoulomb (pC)'dur. Kısmi boşalma genliği, gerilimle değişen bir büyüklüktür. Bu konuda, kablolarla ilgili Türk Standardları'nda (TS 212, TS 2742 vb.), U_0 , kablunun faz-toprak gerilimi olmak üzere $1,25 U_0$ voltta ölçülen kısmi boşalmalar esas alınmak koşuluyla kısmi boşalma genliğinin polietilen (PE), çapraz bağlı polietilen (XLPE), etilen propilen kauçuk (EPK) ve butil kauçuk (BK) yalıtkanlı kablolarda 20 pC'u, polivinil klorür (PVC) yalıtkanlı kablolarda ise 40 pC'u aşmaması gerektiği belirtilmektedir.

Darbe tekrarlanma sıklığı: Bir saniyedeki ortalama kısmi boşalma darbe sayısıdır.

Kısmi boşalma başlama gerilimi: Bir kabloya uygulanan gerilim yavaş yavaş arttırıldığında, kısmi boşalmaların belirli bir yeğinliği geçmesi için gerekli olan en küçük gerilimdir.

Kısmi boşalma sönme gerilimi: En az kısmi boşalma başlama geriliminden başlayarak uygulanan gerilim yavaş yavaş azaltıldığında kısmi boşalmaların belirli bir yeğnlikten geçerek son bulduğu gerilim değeridir.

Kısmi boşalma başlama ve sönme gerilimi tanımlarında sözü edilen belirli yeğnlik değeri için Amerikan "Insulated Power Cable Engineers Association (IPCEA) Standard T-24-380/1972 (Guide for Partial Discharge Test Procedure)"de 5 pC değeri verilmektedir. Bu değerin verilmesinde ölçmelerin fabrika koşullarında, önlenemeyen elektromagnetik parazitler altında ve imalat uzunluklarındaki kablolarda yapıldığı göz önüne alınmıştır. Kısmi boşalma başlama ve sönme gerilimi tanımları, kısmi boşalmaların görülebilir, duyulabilir veya ölçülebilir olması durumlarından herhangi birisi esas alınarak da verilebileceğinden standard sınır değerler vermek zordur.

3. KISMI BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ELEKTRİKSEL OLMAYAN YÖNTEMLER

3.1. İşitsel (gürültü-akustik) belirleme

Çok sessiz bir ortamda, kablolardaki boşalmaların tıslama şeklindeki gürültüsünü kulakla dinleyerek kısmi boşalmaların belirlenmesi çok kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin duyarlılığı, deneyi yapanın kulağına, deney yerinin temel gürültü düzeyine ve kısmi boşalma yerinin yalıtkan yüzeyinden derinliğine çok bağlıdır. Bu yolla yalıtkan yüzeylerde yaklaşık 40 pC'luk kısmi boşalmalar ölçülebilmektedir. Sesin kablo yalıtkanında oldukça hızlı zayıflaması nedeniyle kısmi boşalma yerinin kablo yüzeyine yakınlığı, ölçme duyarlılığını çok etkilemektedir. Örneğin yalıtkan yüzeyinin 5 mm altındaki 1000 pC'dan daha küçük boşalmaların kulakla ölçülmesi mümkün olamamaktadır. Yöntemin özellikle açık havada olan boşalmaları belirlemek için kullanılması daha uygundur. Ölçmelerde, dinleme borusu ve kulaklık kullanarak insan kulağının daha iyi duyması ve ayırdediciliği sağlanabilir. İnsan kulağı frekansları 15 Hz ile

20 kHz arasında olan sesleri duyabildiğinden, mikrofon veya duyarlı ses alıcıları ile birlikte ses kuvvetlendiricileri ve osiloskop kullanarak kısmi boşalmaları, daha geniş bir frekans bandında ve daha duyarlı olarak belirleyebilme olanağı vardır. Örneğin bir kablo karşısına yerleştirilmiş bir mikrofon ve bir kuvvetlendirici yardımıyla en düşük 5 pC' luk boşalmalar belirlenebilmiştir.

3.2. Görsel (ışık-vizüel veya optik) belirleme

Bu yöntem, ekransız, saydam yalıtkanlı (örneğin politen yalıtkanlı) kablolarda yalıtkan içindeki veya diğer kablolarda (ayrıca ek yerlerinde veya kablo başlıklarında) yüzeydeki kısmi boşalmaları belirlemek için kullanılır. Karanlık bir odada, gözleri karanlığa alışmış ve direk kabloya bakan bir gözlemci, gerekirse geniş alanlı bir dürbün de kullanarak 10 pC'un üstündeki yüzeysel boşalmalarla, 50 pC'un üstünde yalıtkan içindeki boşalmaları gözle görebilir. Karanlığa uyum sağlama süresi her gözlemci için değişebilir olmakla birlikte karanlıkta 5 dakika durduktan sonra ölçme duyarlılığı çok fazla değişmemektedir. Bu yöntemde, uygulanan gerilimin frekansı arttırılarak boşalmaların daha kolay görülmesi sağlanabilir.

Özellikle gözle farkedilemeyen yüzeysel boşalmalar fotoğraf yolu ile de belirlenebilir. Bunun için kablo numunesi karanlık bir odaya yerleştirilir ve gerilim uygulandıktan sonra oluşan kısmi boşalmaların fotoğrafı çekilir. Bu şekilde 1 pC mertebesindeki boşalmaların da bulunabileceği gösterilmiştir. Özel amaçlar için bazen foto-multiplikatorlar de kullanılır. Foto-multiplikatorlar yardımıyla yapılan deneylerde örneğin 2 cm kalınlığında boyanmamış bir politen yalıtkanında 0,5 pC'dan daha küçük boşalmaların gözlenmesi mümkün olmuştur.

3.3. Sıcaklık ölçme yöntemi

Bu yöntemde, kısmi boşalmaların neden olduğu sıcaklık artışlarından yararlanılır. Özellikle emprenye edilmiş kablolarda kablo kılıfı boyunca belirli aralıklarla termokupller yerleştirilerek boşalmayı izleyen sıcaklık artışı ile boşalma anı ve yeri belirlenebilir. Duyarlılığı az olan bu yöntemde, boşalmaların genliğini kabul edilebilir bir doğrulukla ölçmek mümkün değildir.

3.4. Basınç ölçme yöntemi

Bir kablo iletkeni ile yalıtkanı arasındaki hava aralığında hava basıncı ölçülerek kısmi boşalmalar incelenebilir. Oksijenin yalıtkan ile kimyasal reaksiyonu nedeniyle boşalmalar olur olmaz gaz basıncı azalır. Bu yöntemin uygulaması çok sınırlıdır.

3.5. Kimyasal bozulmaların ve kısmi boşalma izlerinin incelenmesi

Kısmi boşalmaların neden olduğu kimyasal bozulmaların ve yanma izlerinin incelenmesiyle kısmi boşalma yerlerinin belirlenmesi mümkündür. Bu yöntem daha çok yağ emdirilmiş kağıt yalıtkanlı kablolarda kullanılır. Kısmi boşalmalardan sonra kalan izler, boşalmanın yeri ve yayılımı konusunda oldukça yararlı bilgiler verebilir. Bu yolla kısmi boşalmaların yeri çok doğru olarak belirlenebilmekle beraber kablonun açılmasını gerektirdiğinden yöntemin uygulaması oldukça sınırlıdır.

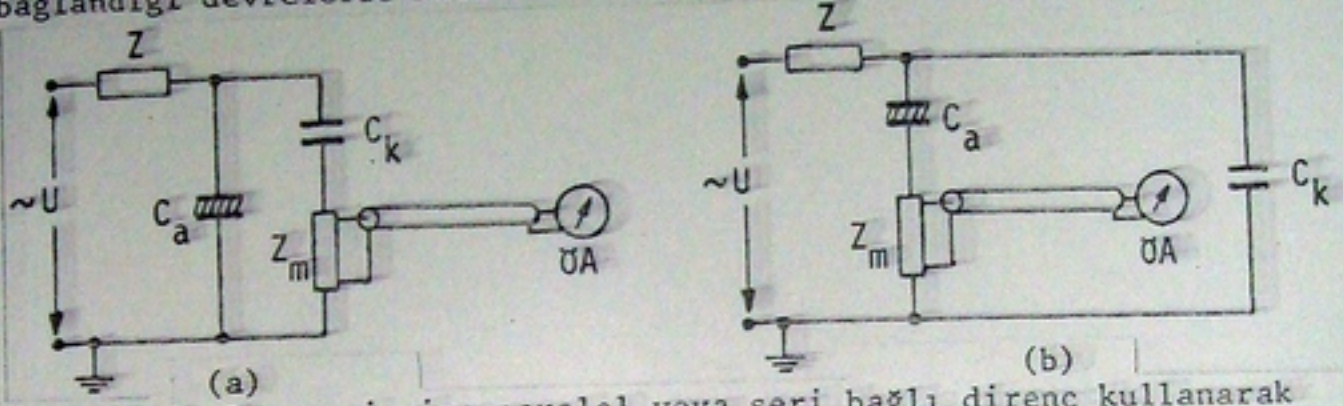
4. KİSMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ İÇİN ELEKTRİKSEL YÖNTEMLER

Bu bölümde yalnızca kısmi boşalma ölçme yöntemleri incelenmiş, kısmi boşalma yerinin belirlenmesi yöntemleri anlatılmamıştır.

4.1. Deney cismine paralel veya seri bağlı direnç kullanarak ölçme

Böyle bir yöntem için kullanılacak genel ölçme devreleri Şekil-1'de gösterilmiştir. Burada bir gerilim kaynağı, bir empedans üzerinden deney cismine bağlanmış ve devre toprak üzerinden tamamlanmaktadır. Ölçme amacıyla da Şekil-1.a'da deney cisminin uçlarına, paralel olarak, birbiriyle seri bağlı bir kuplaj kondansatörü ve ölçme empedansı yada dört uchlusu bağlanmıştır. Ölçme dört uchlusundan da ölçü aletine bağlantı yapılmıştır. Genellikle gerilim kaynağı çıkışına herhangi bir arıza kısa devresinde koruyucu (akım sınırlayıcı) olarak Şekil-1'deki gibi bir empedans (öndirenç) veya gerilim kaynağından gelebilecek bozucu etkileri (yüksek frekanslı bileşenleri) ölçü devresine geçirmemek amacıyla bir filtre konabilir.

Deney cisminin kapasitesinin küçük ve topraktan yalıtılabildiği durumlarda ölçme empedansı yada dört uchlusunun deney cismi ile seri bağlandığı devrelerde kullanılabilir. (Şekil-1.b).

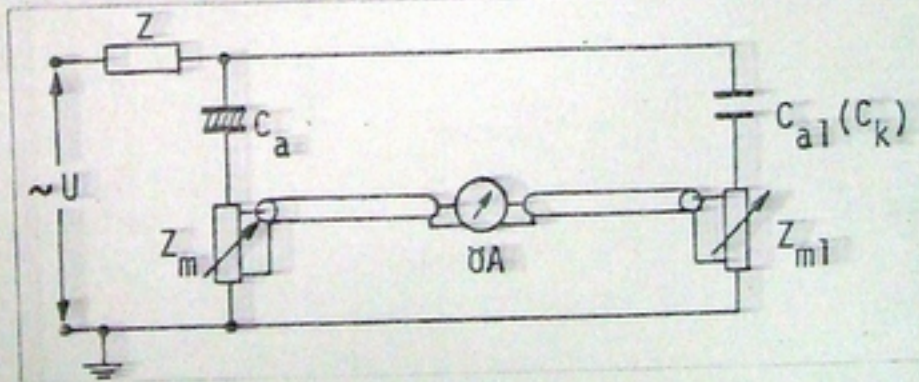


Şekil-1. Deney cismine paralel veya seri bağlı direnç kullanarak kısmi boşalma ölçme devreleri. C_a , deney cismi; C_k , kuplaj kondansatörü; Z_m , ölçü empedansı (dört uchlusu); ÖA , ölçü aleti; Z öndirenç veya filtre.

4.2. Köprü yöntemi

Elektriksel gürültülerin fazla olduğu ortamlarda deney yapmak gerektiğinde ve devreye filtre koymanın veya deney alanını ekranlamanın yeterli olmadığı durumlarda Şekil-2'de genel olarak gösterilen köprü devrelerinin kullanılması önerilir. Bu devrede kablo ve kuplaj kondansatörü (veya ikinci bir kablo) birer ölçü empedansı ile seri bağlanıp topraklanmıştır. Bu dört uçluların çıkışından alınan işaretlerin farkı bir ölçü aletiyle değerlendirilebilir. Devre bir yüksek frekans

Schering köprüsü olduğundan bu yöntem köprü yöntemi adı verilir.

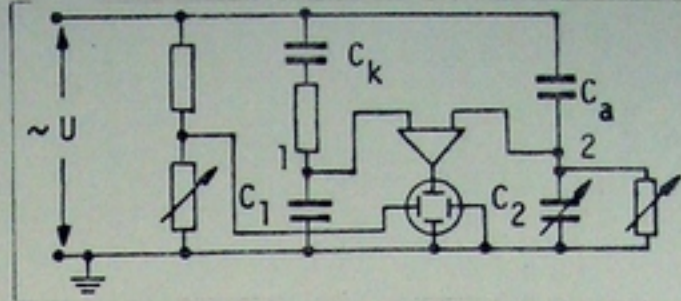


Şekil-2. Köprü yöntemi ile kısmi boşalma ölçme devresi. Z_m ve Z_{m1} ölçü empedansları; C_a , deney cismi; C_k , kuplaj kondansatörü.

4.3. Kayıp ölçme yöntemi

Kısmi boşalma kayıplarının ölçülmesi ile kısmi boşalmaların belirlenmesinde çevrim izleme yöntemiyle bir osiloskoptan yararlanılır. Şekil-3'de görüldüğü gibi köprü devresinde osiloskobun düşey saptırma

girişine, köprünün ölçü aletine giden uçlarından ve yatay saptırma girişine ise deney geriliminden bir bölücü (ohmik veya kapasitif) yardımıyla alınan düşük gerilim uygulanır. Böylece osiloskopta görülen 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 ayırte edilmesi gerekir.



Şekil-3. Çevrim izleme yöntemi ile kayıp ölçme devresi. C_a , deney cismi ; C_k , kuplaj kondansatörü.

Elektriksel kısmi boşalma ölçme devrelerinde kullanılan deney transformatörleri, kuplaj kondansatörleri ve deney bağlantıları deney gerilimlerinde kısmi boşalmasız olmalıdır. Deney gerilimi bir elektriksel filtre üzerinden uygulanmalı ve deney yerinin gürültü düzeyini düşürücü (ekranlamak, uygun yer ve zamanda deney yapmak gibi) önlemler alınmalıdır. Ölçü aleti, kısmi boşalma darbelerini kuvvetlendirip mikrovolt veya pikocoulomb cinsinden ölçen dar veya geniş bantlı bir alet ile boşalmaların şeklini ve tekrarlanma sıklığını izlemeye ve diğer bozucu işaretlerden ayırtetmeye yarayan bir osiloskop olabilir. Ölçmeler, bir frekans bandında sürekli tarama ile yapılabileceği gibi, belirli bir frekansda örneğin 0,5,1 veya 1,9 MHz'de yapılabilir. Ölçmelerden önce ölçmelerin doğruluğu bakımından devrelerin doğru ayarlanmasının çok önemi olup ayarlama (kalibrasyon) başlı başına bir problemdir.

5. KABLOLARDA KISMİ BOŞALMA ÖLÇMELERİNE ÖRNEKLER

Kabloların laboratuvarlarda daha kısa uzunluklarda fakat daha uygun koşullarda ve duyarlı kısmi boşalma deneyleri yapılabilir. Fabrikalarda ise istenen seviyede gürültüsüz deney ortamlarının bulunamaması ve kablo uzunluklarının büyük hatta makaralar halinde olması ölçmeleri zorlaştırır. Bununla beraber, kablolarla kısmi boşalmaların ölçülmesi ve yerinin belirlenmesi, bu yerlerin kablodan çıkarılması veya onarılması ile kaliteli ve uzun ömürlü ürünler elde etme olanağı verir. Fabrika deneyleri genel olarak tam bir kablo veya ekranlı veya ekransız kablo damarı üzerinde yapılır. Bu deneyler için değişik deney düzenekleri kullanılmaktadır.

5.1. Ekransız kablo damarının kontrolü

Ekransız (sipersiz) bir kablo damarının kontrolü, prensip olarak, kablo damarının ekranı yapılmadan önce, üretim sırasında, damarın içinde bir yüksek gerilim elektrodu ve yalıtkan veya yarıiletken sıvı bulunan bir borudan geçirilmesi şeklinde yapılır (Şekil-4). Yalıtkan sıvı, yüksek gerilim elektrodu ile damar yüzeyi arasındaki boşalmaları önler. Ölçme, küçük güçlü bir transformatör ve yüksek gerilim elektroduna bağlı dar bantlı bir kısmi boşalma ölçü aleti yardımıyla yapılabilir. Daha çok kısa kablolarla uygulanan bu yöntemle 1 pC'a kadar duyarlık elde edilebilmektedir.

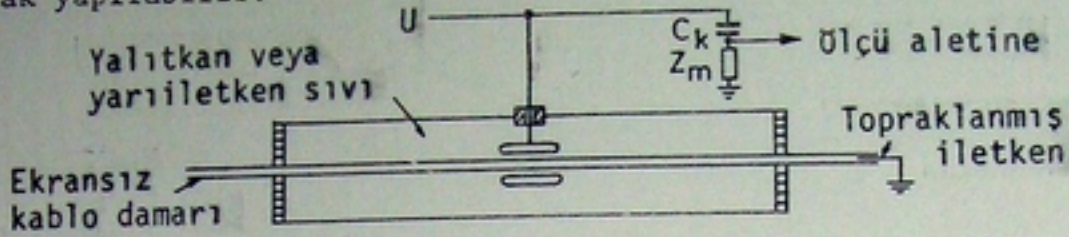
5.2. Ekranlı kablo damarının kontrolü

Ekranlı bir kablo damarında kısmi boşalmaların belirlenmesi

için daha çok köprü yöntemleri kullanılır. Deneyin amacına uygun böyle bir düzende, iletkenine gerilim uygulanmış ekranlı kablo damarı, bir köprü devresi oluşturan makaralar arasından geçirilir.

5.3. Tam bir kablo üzerindeki kısmi boşalma ölçmeleri

Bu ölçmeler, Bölüm 4'de anlatılan yöntemlerden birisi kullanılarak yapılabilir.



Şekil-4. Ekransız bir kablo damarının kontrolü

6. SONUÇLAR

Kısmi boşalma ölçmeleri, kısmi boşalmaların varlığının belirlenmesi, ölçülmesi, yerinin bulunması ve zarar yada tehlikelerinin anlaşılmasını sağlayan tahribatsız kablo deneylerindendir. Ölçmelerde kısmi boşalmaların elektriksel ve elektriksel olmayan etkilerinden yararlanan yöntemler kullanılır.

Deneylerde, kısmi boşalmaların enerjisinin, tekrarlanma sıklığının, boşluk boyutlarının, şeklinin, yerinin, boşluk içindeki gazın basıncının, sıcaklığının ve tüm yalıtkanın kalınlığının ve cinsinin önemi olduğu unutulmamalıdır. Ölçmeler, iç ve dış bozucu etkilerin gideildiği ortamlarda, uygun yöntem ve ölçü aletleri ve mümkünse bir osiloskop kullanılarak yapılmalıdır.

Yazıda, kısmi boşalmaların oluşum mekanizmaları, boşalmalara etkiyen faktörler, kısmi boşalma yerinin belirlenmesi, bozucu etkilerin yokedilme yolları ve çok önemli olan ölçme devrelerinin ayarlanması (kalibrasyonu) ve sonuçların değerlendirilmesi gibi konulara değinilememiştir.

Sonuç olarak; yalıtkanların ömrüne ve kalitesine etkimesi bakımından kısmi boşalmaların ihmal edilmemesi ve doğru ölçülmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] N.B.Timpe, "Partial Discharge Measurements in Distributed Parameter Systems: Cables", Chapter 5 of Engineering Dielectrics Vol.I (Corona Measurement and Interpretation), ASTM-STP 669, Philadelphia USA, 1979, pp.134-175.
- [2] TS 2051, "Elektriksel, Kısmi Boşalmaların Ölçülmesi", Türk Standardları Enstitüsü, Temmuz 1975.
- [3] IEC-Publ.270, "Partial Discharge Measurements", International Electrotechnique Commission, 1968.
- [4] J.H.Mason, "Discharge Detection and Measurements", Proc.IEE, Vol. 112, No.7, July 1965, pp.1407-1423.
- [5] E.Lemke, "A New Method for PD Measurement on Polyethylene Insulated Power Cables", IEEE Third International Symposium on High Voltage Engineering, Milan, 1979, Rapor No.43.13.
- [6] N.Ergan, "Elektriksel Kısmi Boşalmaların Değişik Yöntemlerle Ölçülmesi ve Ölçü Sonuçlarının Karşılaştırılması", İ.T.Ü. Müh.Mim.Fak., Doktora Tezi, 1982.