



Kablolarda Elektriksel Kısmî Boşalmaların Ölçülmesi ve Yerinin Belirlenmesi

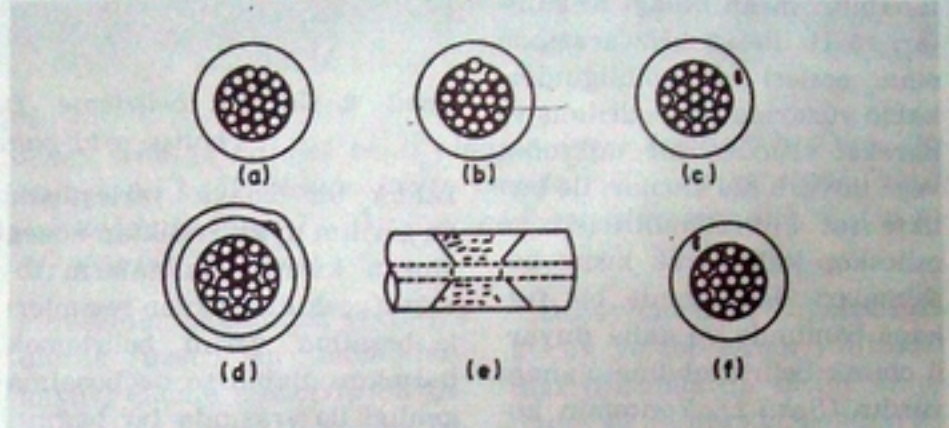
Elektrik Yüksek Mühendisi
(İTÜ Elektrik - Elektronik Fak.)

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim kablolarında, kablonun yalıtımı sırasında yalıtkan içinde veya yalıtkan ile iletken arasında, gaz (hava) ya da sıvı dolu boşluklar veya yabancı maddeler kalabilir (Şekil-1). Kağıt yalıtkanlı kablolar da, yalıtkan kağıdın sarımsı sırasında ne kadar dikkat edilirse edilsin tabakalar arasında boşlukların kalması önlenemeyebilir veya bu boşlukların yağla doldurulması durumunda yağ içinde veya yağın zamanla azalması sonucu tabakalar arasında boşluklar ortaya çıkabilir. Ayrıca kabloların kaldırma, indirme, taşıma ve yerleştirme sırasındaki kıvrılma- larından (bükülmelerinden) 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 (kısa devre eden) 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 dolaşısıyla enerji sisteminde arızalara yol açabilirler.

Yalıtkan ömrüne etkileyen en önemli etkenlerden birisi olan iç kısmi boşalmaların oluşumu hakkında ileri sürülen farklı mekanizmalar sonucu kısmi



Şekil: 1. Bir kablo damarında olabilecek kusurlar:

- Yarı iletken band hatası,
- Örgülü damar iletkenindeki hata,
- Yalıtkan içinde hava boşluğu,
- İki tabaka arasında boşluk,
- Gözenekli yalıtkan,
- Yalıtkan içinde yabancı madde (metal, kağıt, zift parçası gibi.)

boşalmaların ölçülmesinde değişik yöntemler kullanılmış ve standartlar yayınlanmıştır. (TS 2051, IEC 270, BS 4828, ASTM 1868, NEMA 107, VDE 0876 vb.)

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, gaz basıncı ve kimyasal bozulma gibi elektriksel olmayan etkilerdir. Ölçmelerde bu etkilerden en çok kısmi boşalma darbelerinden yararlanılır.

Kısmi boşalma ölçmelerinin amacı, kısmi boşalmaları bulma, ölçme, yerini belirleme ve sonuçları değerlendirmedir. Ölçmeler elektriksel veya elek-

triksel olmayan yöntemler ile yapılabilir.

2. KABLOLARDAKİ KİSMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ELEKTRİKSEL OLMAYAN YÖNTEMLER

2.1. İşitsel (gürültü-akustik) belirleme

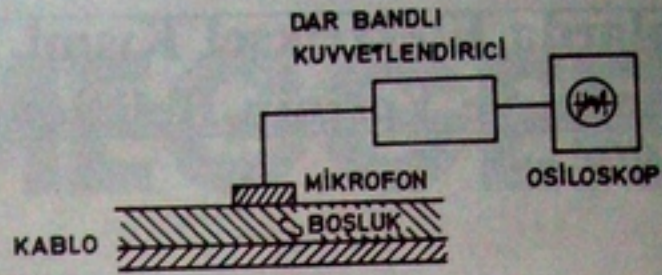
Çok sessiz bir ortamda, kablolarındaki boşalmaların tıslama şeklindeki gürültüsünü kulakla dinleyerek kısmi boşalmaların belirlenmesi çok kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin duyarlılığı, deneyi yapanın kulağına, deney yerinin temel gürültü düzeyine ve sesin kablo yalıtkanında oldukça hızlı zayıflaması nedeniyle kısmi boşalma yeri-

nin kablo yüzeyine yakınlığına çok bağlıdır. Yöntemin özellik- le açık havada olan boşalma- rı belirlemede kullanılması da- ha uygundur. Ölçmelerde, din- leme borusu ve kulaklık kulla- narak insan kulağının daha iyi duyması ve ayırdediciliği sağ- lanabilir. İnsan kulağı frekans- ları 15 Hz ile 20 kHz arasında olan sesleri duyabildiğinden, kablo yüzeyine yerleştirilmiş ve hareket ettirilen bir mikrofon veya duyarlı ses alıcıları ile bir- likte ses kuvvetlendiricileri ve osiloskop kullanarak kısmi bo- şalmaları daha geniş bir fre- kans bandında ve daha duyar- lı olarak belirleyebilme olanağı vardır (Şekil-2). Yöntemin kö- tülüğü mikrofonun hareketi sırasında oluşan sürtünme gür- rültülerinin ölçmeleri etkileme- sidir.

2.2. Görsel (ışık, vizüel veya optik) belirleme

Bu yöntem, ekransız, saydam yalıtkanlı (örneğin politen ya- lıtkanlı) kabloları yalıtkan içindeki veya diğer kabloları (ayrıca ek yerlerinde veya kab- lo başlıklarında) yüzeydeki kısmi boşalmaları belirlemek için kullanılır. Karanlık bir o- dada, gözleri karanlığa alış- mış ve direk kabloya bakan bir gözlemci, gerekirse geniş alan- lı bir dürbünde kullanarak 10 pC'un üstündeki yüzeysel bo- şalmalarla, 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 yöntem- de, uygulanan gerilimin frekan- sı arttırılarak boşalmaların da- ha kolay görülmesi sağlanabi- lir.

Özellikle gözle farkedileme- yen yüzeysel boşalmalar fotoğ- raf yolu ile de belirlenebilir. Bunun için kablo numunesi ka-



Şekil: 2. Gürültü belirleme. Dar bandlı kuvvetlendiricinin fre- kansı, orta bandda ayarlanabilir.

ranlık bir odaya yerleştirilir ve gerilim uygulandıktan sonra oluşan kısmi boşalmaların fo- toğrafi çekilir. Çekilen resimler- le boşalma yerini belirlemek mümkün olabilirse de boşalma genliği ile arasında bir bağıntı kurmak zordur. Özel amaçlar için bazen foto-multiplikatör- ler de kullanılır.

2.3. Sıcaklık ölçme yöntemi

Bu yöntemde, kablo kılıfı bo- yunca belirli aralıklarla termo- kupller yerleştirilerek kısmi bo- şalmaların neden olduğu sıcak- lık artışlarından boşalmaların olduğu zaman ve yer belirlene- bilir. Duyarlılığı az olan bu yön- temde, boşalmaların genliğini kabul edilebilir bir doğrulukla ölçmek mümkün değildir.

2.4. Basınç ölçme yöntemi

Bir kablo iletkeni ile yalıtka- nı arasındaki hava aralığında hava basıncı ölçülerek de kısmi boşalmalar incelenebilir. Oksi- jenin yalıtkan ile kimyasal re- aksiyonu nedeniyle boşalmalar olur olmaz gaz basıncı azalır. Bu yöntemin uygulaması çok sı- nırlıdır.

2.5. Kimyasal bozulmaların ve kısmi boşalma izlerinin incelenmesi

Kısmi boşalmaların neden ol- duğu kimyasal bozulmaların ve yanma izlerinin incelenmesiyle kısmi boşalmaların yeri ve ya- yılımı konusunda oldukça ya- rarlı bilgiler edinilebilir. Bu yolla kısmi boşalmaların yeri çok doğru olarak belirlenebil-

mekle beraber kablonun parça- lanmasını gerektirdiğinden, bu yöntemde fazla kullanılmaz.

3. KABLOLARDA KİSMİ BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ İÇİN ELEKTRİKSEL YÖNTEMLER

Kısmi boşalmaların elektrik- sel yöntemlerle ölçülmesi tah- ribatsız yüksek gerilim deney- lerindendir. Genel olarak bu iş için kullanılacak bir kısmi bo- şalma ölçme düzeninde;

a) Kendi iç gürültüsü mini- mum (kısmi boşalmasız) olan yeterli güçte bir yüksek gerilim kaynağı,

b) Deney cismi (kablo) için- deki veya üzerindeki boşalma- lar sonucu devreden geçen yük akışını üzerinde gerilim darbe- si değişimleri olarak veren bir ölçü empedansı (dört uchlusu),

c) Ölçü empedansının uçla- rındaki değişimin kısmi boşal- ma ölçü aletine uygulanmasını sağlayan koaksiyel bir bağlan- tı kablosu,

d) Kısmi boşalma darbeleri- ni kuvvetlendirip mikrovolt (μV) veya pikocoulomb (pC) cinsinden ölçen ve bir frekans bandında sürekli tarama ile ve- ya belirli bir frekansta örneğin 0,5-1-1,9 MHz de ölçme yapan dar veya geniş bandlı bir kıs- mi boşalma ölçü aleti.

e) Deney cisminde seri veya paralel bağlanan bir kuplaj kondansatörü.

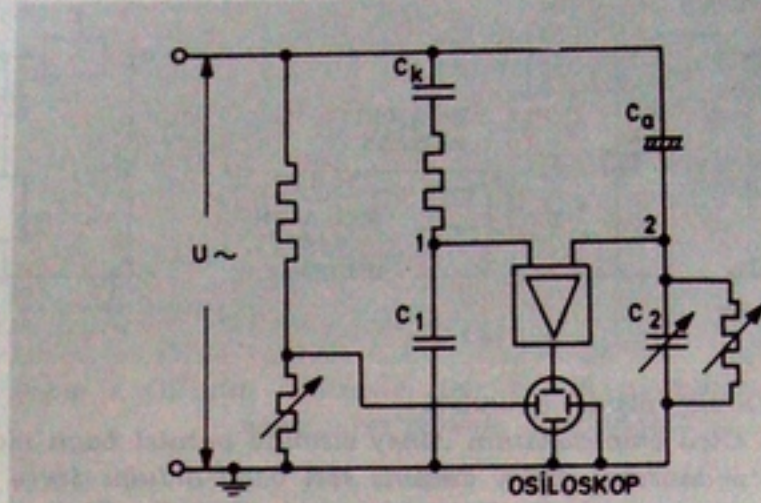
luların) çıkışından alınan işaretlerin farkı bir ölçü aletiyle değerlendirilir. Devre bir yüksek frekans Schering köprüsü olduğundan bu yöntem köprü yöntemi adı verilir.

3.3. Kayıp ölçme yöntemi

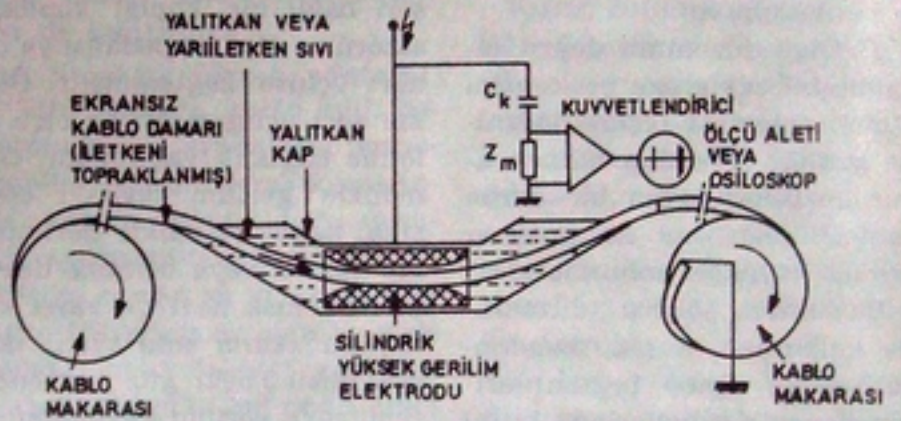
Kısmi boşalma kayıplarının ölçülmesi ile kısmi boşalmaların belirlenmesinde çevrim izleme yöntemiyle bir osiloskoptan yararlanılır. Şekil-5'de görüldüğü gibi köprü devresinde osiloskobun düşey saptırma girişine, köprünün ölçü aletine giden uçlarında ve yatay saptırma girişine ise deney geriliminden bir bölücü (ohmik veya kapasitif) yardımıyla 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 değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca kısmi boşalma kayıplarının, iletkenlik ve dipol kayıplarından ayırtılması gerekir.

4. KABLOLARDA KISMI BOŞALMA ÖLÇMELERİ UYGULAMALARI

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 veya üretimin ona göre ayarlanması ile kaliteli ve uzun ömürlü kablolar elde etme olanağını verir. Fabrika de-



Şekil: 5. Çevrim izleme yöntemi ile kayıp ölçme devresi. (C_a : deney cismi, C_k : kuplaj kondansatörü, C_1 , C_2 : alçak gerilim kondansatörleri, U : yüksek gerilim.)



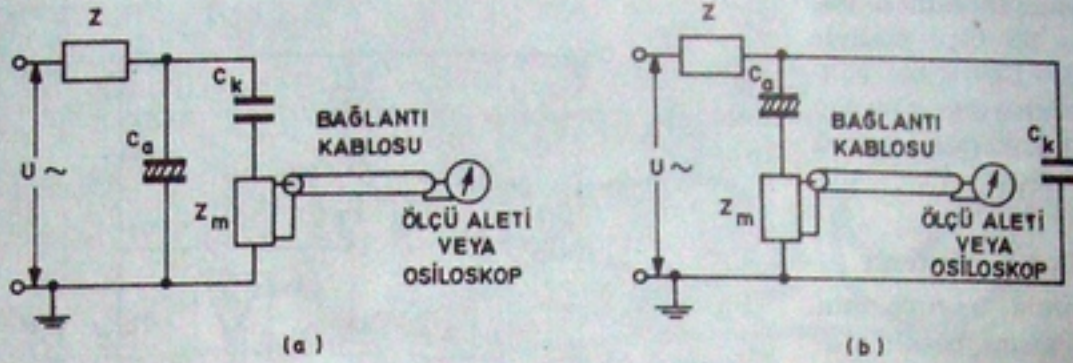
Şekil: 6. Ekransız bir kablo damarının kontrolü.

neyleri genel olarak tam bir kablo veya ekranlı veya ekran-sız kablo üzerinde yapılır. Bu deneyler için değişik deney düzenekleri kullanılmaktadır.

4.1. Ekransız kablo damarının kontrolü

Ekransız (sipersiz) bir kablo damarının kontrolü, örneğin, prensip olarak, kablo damarının ekranı yapılmadan önce, üretim sırasında, damarın, içinde bir yüksek gerilim elektrodu ve yalıtkan veya yarı iletken sıvı bulunan bir yalıtkan kabdan geçirilmesi şeklinde yapılabilir

(Şekil-8). Kullanılan yalıtkan sıvı CCl_4 (karbon tetraklorür) gibi iyi bir yalıtkan veya yüksek dielektrik sabitli ve deiyonize su gibi fazla iletken olmayan bir sıvı olabilir. Bu sıvı, yüksek gerilim elektrodu ile damar yüzeyi arasındaki boşalmaları önler. Yalıtkan sıvının sık sık karıştırılıp, yenilenmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Ölçme, küçük güçlü bir transformatör ve yüksek gerilim elektroduna bağlı dar bandlı bir kısmi boşalma ölçü aleti yardımıyla yapılabilir. Kablo



Şekil: 3. Direkt ölçme devreleri:

a) Ölçü empedansının deney cismine paralel bağlı olduğu devre (solda), b) Ölçü empedansının deney cismine seri bağlı olduğu devre (sağda), (C_a : deney cismi (kablo numunesi), C_k : Kuplaj kondansatörü, Z_m : Ölçü empedansı (dört uçlusu), Z : Ön direnç ve/veya filtre, U : Yüksek gerilimi)

f) Genellikle kullanılması önerilen ve kısmi boşalmaların şeklini ve tekrarlama sıklığını izlemeye ve diğer bozucu işaretlerden ayırtmaya yarayan bir osiloskop ve

g) Ölçü düzeninin doğru ölçülmesini sağlamak ve kontrol etmek amacıyla ölçme düzenine genliği ve sıklığı bilinen ayar darbeleri veren bir darbe üretici olan bir kalibrasyon (ayar) kaynağı, bulunmalıdır.

Bu arada ölçme düzeninde kullanılan, kuplaj kondansatörü ve deney bağlantılarının deney gerilimlerinde kısmi boşalmasız olmasına ve mümkünse deney geriliminin bir elektriksel filtre üzerinden uygulanmasına ve deney yerinin gürültü düzeyini düşürücü (ekranlamak, uygun yer ve zamanda deney yapmak gibi) önlemler alınmasına dikkat edilmelidir.

Kısmi boşalmaların ölçülmesi için kullanılan yöntemleri temel olarak üçe ayırabiliriz:

3.1. Deney cismine seri veya paralel bağlı empedans kullanarak ölçme (direkt ölçme)

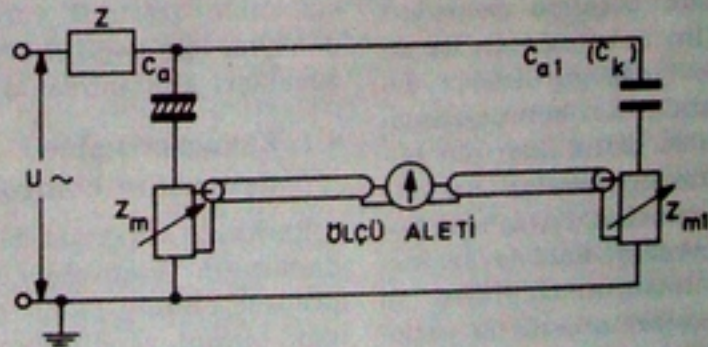
Bu yöntemle ilişkin ölçme devreleri Şekil-3'de gösterilmiştir. Burada bir yüksek gerilim kaynağı, bir empedans üzerinden deney cismine (kablo numunesine)

bağlanmış ve devre toprak üzerinden tamamlanmıştır. Ölçme amacıyla da Şekil-3. a'da deney cisminin uçlarına paralel olarak, birbiriyle seri bağlı bir kuplaj kondansatörü ve ölçü empedansı ya da dört uçlusu bağlanmıştır. Ölçme dört uçlusundan da ölçü aletine bağlantı yapılmıştır. Genellikle gerilim kaynağı çıkışına, deney cisminde herhangi bir atlama veya delinme durumunda, kısa devreye karşı koruyucu (akım sınırlayıcı) olarak Şekil-3'deki gibi bir ön direnç veya gerilim kaynağında gelebilecek bozucu etkileri (yüksek frekanslı parazitleri) ölçü devresine geçirmemek amacıyla bir elektriksel filtre konabilir.

Deney cisminin kapasitesinin küçük ve topraktan yalıtılabildiği durumlarda ölçme empedansı ya da dört uçlusunun deney cismi ile seri bağlandığı devrelerde kullanılabilir (Şekil-3. b).

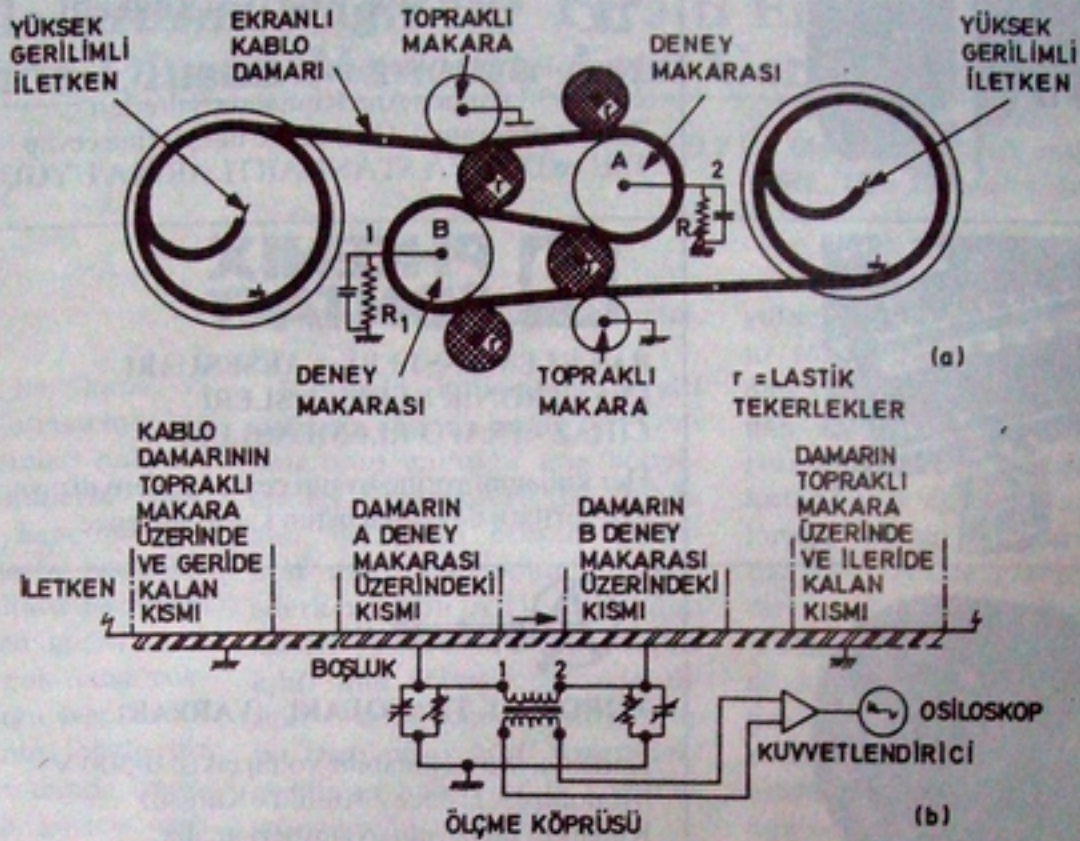
3.2. Köprü yöntemi

Elektriksel gürültülerin fazla olduğu ortamlarda deney yapmak gerektiğinde ve devreye filtre koymanın veya deney alanını ekranlamanın yeterli olmadığı durumlarda Şekil-4'de genel olarak gösterilen köprü devrelerinin kullanılması önerilir. Bu devrede kablo ve kuplaj kondansatörü (veya ikinci bir kablo) birer ölçü empedansı ile seri bağlanıp topraklanmış. Bu empedansların (dört uç-



Şekil: 4. Köprü yöntemi ile kısmi boşalma ölçme devresi:

(Z_m , Z_{m1} : ölçü empedansı, C_a : deney cismi (kablo), C_k (C_k): kuplaj kondansatörü veya ikinci bir kablo, Z : ön direnç ve/veya filtre, U : yüksek gerilim.)



Şekil: 7. Ekranlı bir kablo damarının kontrolü.
a) Deney düzeneği, b) Devre şeması.

damarı, yalıtkan kap ve sıvı içindeki silindirik yüksek gerilim elektrodu içinden geçirilirken elektroda gerilim uygulanır. Deney sırasında damar iletkeni topraklanmış durumdadır. Daha çok kısa kablolarla uygulanan bu yöntemle 1 pC'a kadar duyarlık elde edilebilir.

4.2. Ekranlı kablo damarının kontrolü

Ekranlı bir kablo damarında kısmi boşalmaların belirlenmesi için daha çok köprü yöntemleri kullanılır. Deneyin amacına uygun böyle bir düzeneğe, örneğin, iletkenine gerilim uygulanmış ekranlı kablo damarı, Şekil-7'deki gibi bir köprü devresi oluşturan makaralar arasından geçirilebilir. Şekil-7'de dıştaki makaralar topraklanmıştır. İçteki A ve B deney makaraları R_1 ve R_2 dirençleri ü-

zerinden topraklanmıştır. A ve B deney makaraları üzerinden geçen iletkenine gerilim uygulanmış kablo damarı, $R_1 = R_2$ iken dengede olan damarın C_a ve C_a' kapasiteleri ve R_1 ve R_2 dirençleri ile basit bir köprü oluşturur. C_a veya C_a' 'de bir boşalma olursa, köprü dengesi ani olarak bozulur.

Burada köprü yönteminin kullanılması deney düzeneğinin dengede iken dış parazitlerden etkilenmemesini ve ekranlı olarak çalışabilmesini sağlar.

4.3. Tam bir kablo üzerindeki kısmi boşalma ölçmeleri

Bu ölçmeler, kablolarla kısmi boşalmaların elektriksel yöntemlerle ölçülmesi kısmında anlatılan yöntemlerden birisi kullanılarak yapılabilir.

Buraya kadar anlatılan yöntem ve örneklerde kısmi boşalmaların ölçülmesi yani varlığının belirlenmesi ve genliğinin ölçülmesi anlatılmışsa da özellikle örneklerdeki işlemlerle kısmi boşalmaların yeri de bulunmuş olmaktadır. Kablolarla kısmi boşalmaların yerinin belirlenmesi için burada bahsedilmeyen daha başka yöntemler de vardır.

Sonuç olarak kısmi boşalma ölçmelerinin, kısmi boşalmaların varlığının belirlenmesini, ölçülmesini, yerinin bulunmasını ve zarar ya da tehlikelerinin anlaşılmasını sağlayan kablo deneylerinden olduğu ve yalıtkanların dolayısıyla kabloların ömrüne ve kalitesine etkimesi bakımından kısmi boşalmaların ihmal edilmemesi ve doğru ölçülmesi gerektiği söylenebilir.