

6. teknik kongre

ÖZET

Sıvı yalıtkanların delinmesini etkileyen çok sayıda etkenler nedeniyle, çeşitli kuramsal görüşlerin deneysel verilerle sağlanması kolay olmamaktadır. Delinme olaylarının deneysel olarak incelenmesi için nokta elektrot sistemlerinin, küresel ya da paralel-düzlem elektrotlara başlıca iki üstünlüğü vardır: a) Orta gerilimler kullanılarak sıvı içerisinde çok yüksek elektrik alanları elde edilebilir, b) Delinme öncesi deşarjları diğer elektrot sistemlerine göre çok daha yavaş yayılarak olayın fotoğraflık tekniklerle incelenmesi olanakını sağlar.

Bu yazıda sunulan araştırmalardan transformatör yağının, oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında nokta-düzlem ve nokta-nokta elektrotlar kullanılarak delinme öncesi deşarj bölgelerinin oluşum ve yayılması optik yöntemlerle incelenmiş ve deşarjlar üzerinde sıvıdaki metal tozlarının ve erimiş gazların etkileri araştırılmıştır.

Sonuçlar, delinme öncesi deşarj bölgelerinin daha yüksek sıcaklıkta ve sıvı halde olduklarını, net elektriksel yük içerdiğini ve bir iyonlaşma süreciyle yayıldıklarını göstermektedir.

SUMMARY

The theories on the breakdown of liquid dielectrics are not easily verified by experimental results due to the large number of factors involved in the study of liquid breakdown, the point electrode systems has two important advantages over the spherical or uniform field electrodes: a) with moderate applied voltages a very high field can be obtained in the liquid, b) compared to other electrode systems, the prebreakdown discharges propagate with a much smaller velocity enabling the photographic study of the phenomena.

In these investigations, the formation and propagation of prebreakdown disturbance regions and the effects of impurities in transformer oil subjected to non-uniform fields at room temperature and atmospheric pressure are studied by optical methods.

The results indicate that, the prebreakdown disturbance regions were in a liquid state at a higher temperature containing a net space charge and propagating by a collision ionisation process.

SIVI YALITKANLARDA ELEKTRİKSEL DELİNME ÖNCESİ DEŞARJLARIN YAYILMASI

MİRZAHAN HIZAL

UDK: 621.315.615.2:621.317.333

Mirzahan Hızal, Y.Prof.Dr., ODTÜ

Bu yazıda sunulan araştırmalarda, darbe gerilimi altındaki transformatör yağıının delinme öncesi olaylarıyla, metal tozların ve erimiş gazların etkileri incelenmiştir.

2. DELİNME ÖNCESİ OLAYLARI

2.1 Genel

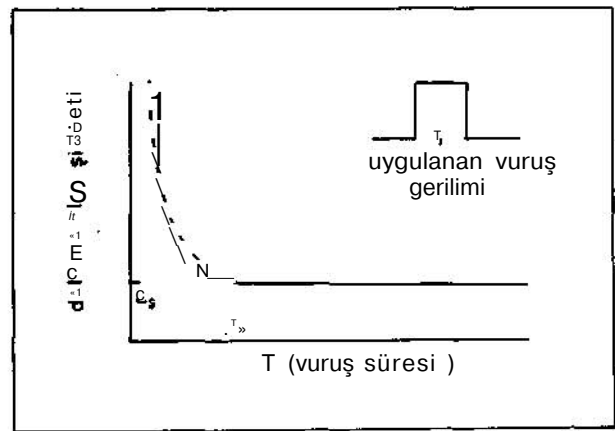
Tüm yalıtkanların elektriksel delinmesi belirli bir zaman gecikmesi ile olur. Darbe geriliminin uygulanmasından delinme sürecinin başlamasına kadar geçen zaman istatistiksel delinme sürecinin süresi ise, biçimsel gecikme olarak tanımlanmıştır. Bu biçimsel zaman gecikmesi süresinde gözlenen olaylara delinme öncesi olayları adını veriyoruz. Çeşitli kuramların bu olaylar üzerinde ileriye sürdükleri görüşler arasında derin ayrılıklar vardır. Biçimsel zaman süresinin çok kısa oluşu nedeniyle, görüşleri uzlaştırmak için yakın zamanlara kadar bu olayların doğrudan deneysel gözlemlerle incelenmesi olanağı bulunmamıştır.

Çeşitli araştırıcıların çalışmaları [7,8], diğeryalıtkanlarda olduğu gibi, sıvılarda da "Delinme Alan Şiddeti / Delinmeye kadar geçen zaman" eğrisinin Şekil 1'de gösterilen genel değışime sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu değışimin delinme olayı ile olan ilişkisi üzerine iki değışik görüş belirtilmiştir. Bunlardan birincisine göre [8], E_0 nin üzerindeki alanlarda delinme tümüyle biçimsel bir sürece sahiptir ve istatistiksel zaman gecikmesi sıfır alınabilir. Ancak, T_0 , bir iyonun elektrod aralığını geçiş zamanı (transit time) olarak hesaplanan iyon hareketleri deneylerle doğrulanmamıştır. Böylece, olayın biçimsel gecikme için kabul edilen yalın bir iyon geçişinden daha karışık olması gerektiği anlaşılmaktadır, ikinci görüşte [9] ise, istatistiksel gecikmenin bazı koşullara bağlı olarak bazen çok yüksek elektrik alanlarında bile, toplam gecikmenin önemli bir

1. GİRİŞ

Sıvı yalıtkanlar, katı ve gaz yalıtkanlardan farklı olarak endüstriyel uygulamada gerçeyalıtkanlık düzeylerinin çok altındaki gerilimlerde çalıştırılırlar. Örneğin, laboratuvar koşullarında delinme alan şiddeti kolayca 1000 kV/cm olabilen transformatör yağı, endüstride 100 kV/cm civarında çalıştırılmaktadır. Bu nedenle, yüksek gerilim aygıtlarındaki sıvı yalıtkan hacmi, ağırlık ve maliyet üzerinde önemli bir etken olmaktadır. Öte yandan, katı ve gaz yalıtkanlardaki elektriksel delinme olaylarının uygulama ve kuram olarak tanımlanmasına karşılık, sıvılarda delinme olayı hakkındaki bilgilerimiz daha yetersizdir ve şimdiye değin genellikle kabul edilebilir bir görüş ortaya konulmamıştır. Bu nedenlerle, sıvı yalıtkanlar ötedenberi gerek endüstriyel, gerekse fiziksel bir araştırma konusu olmuştur.

Sıvılarda, elektriksel delinmeyi açıklamak için ortaya konulan çeşitli kuramlar iki bölümde toplanabilir. Birincisi, sıvıyı homojen bir yalıtkan olarak alan ve genellikle gazlardakine benzer elektronik bir olay ileriye süren görüşleri kapsamaktadır [1,2,3]. İkinci grupta ise, delinmenin bir gaz kabarcığı oluşumu ve büyümesi sonucu olduğu görüşü hakimdir [4,5,6]. Ayrıca sıvı içerisinde kaçınılmaz olarak bulunan yabancı toz, sıvı ve gazların, delinme olayları üzerindeki etkileri, bu kuramlar arasında farklılaşmalara ve hatta çeşkilere konu olmaktadır.



Şekil 1. Sıvı yalıtkanlarda gözlenen darbedelinme karakteristiği

6. teknik kongre

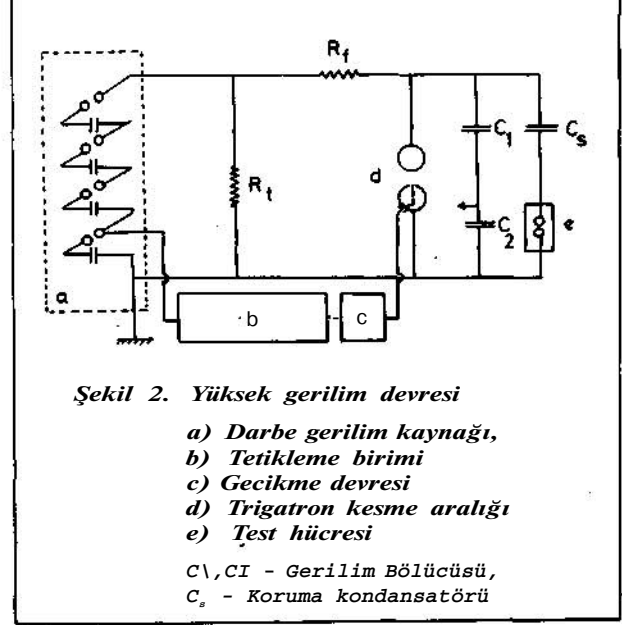
bölümünü kapsayabileceği belirtilmiştir. Birçok araştırmacının çeşitli koşullarda yaptıkları delinme gerilimi ve zaman gecikmesi ölçmeleri, bu görüş ışığında daha gerçekçi bir şekilde açıklanabilmektedir. Sonuç olarak, toplam zaman gecikmesinin istatistiksel ve biçimsel olarak bölünmesinde deney koşullarının ve özellikle, elektrot geometrisi ve yüzey niteliğinin çok etken olduğu anlaşılmaktadır.

Delinme olayı ne olursa olsun, elektrot yüzeyindeki alan şiddetinin artması, istatistiksel gecikmeyi azaltmaktadır. Bunun yanı sıra yakın zamana kadar araştırmacıların çoğu küresel ya da homojen alan tipi elektrotlar kullandıklarından, elektrot yüzeyindeki alanın artırılmasıyla, elektrot açıklığındaki ortalama alan da artmakta ve uygulanan bu yüksek alanlarda hem istatistiksel hem de biçimsel zaman gecikmeleri aynı şekilde küçülmekteydi. Nokta elektrotların kullanılmasıyla, alan çarpını artırılarak (Emaks/ort $\approx 100 \text{ \AA} \gg \text{ \AA} \text{ çir}^{\text{ci}} \text{li-ktaki } i$ düşük bir alana karşılık elektrod yüzeyinde çok yüksek alanlar elde edilebilir. Böylelikle, çok küçük istatistiksel gecikmelerin yanısıra ölçülebilir büyüklükte biçimsel gecikmeler gerçekleştirilebilir. Böyle bir yöntem, saydam sıvı yalıtkanlarda biçimsel delinme sürecinin fotoğraf olarak incelenmesine ve genel olarak delinme olayına ilişkin birçok konuların deneysel verilerle açıklığa kavuşturulmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, yeni geliştirilen yüksek-hız fotoğraf tekniklerinin, sıvılardaki delinme olaylarına uygulanması, ancak son zamanlarda olmuş ve araştırmacılar sadece delinmenin, sıvı içerisinde meydana gelen bir bozulma bölgesinin nokta elektrottan diğer elektrota (düzlem) kadar yayılmasından sonra meydana geldiğini gözlemişlerdir [10,11]. Bu nedenle, aşağıda verilen araştırmalar; yüksek-hız fotoğraf tekniklerinin daha kapsamlı uygulanması ve delinme öncesi gözlenen deşarj bölgelerinin çeşitli koşullar altında yayılma hızlarının ve sıcaklıklarının ölçülmesi için yapılmıştır. Ayrıca, artı bir iğne ucundan yayılan deşarjlar da ilk defa etraflıca incelenmiştir.

2.2 Deneysel Sistem ve Teknikler

2.2.1 Örnekler

Deneyler süresince kullanılan test örnekleri; B.S.S. 148'e uygun [12] transformatör yağından, kapalı bir temizleme ve şartlandırma sisteminde 3- kademeli bir süreçle hazırlanmıştır, önce bu sistem ve test hücresi sırasıyla deterjanlı sıcak su, 1 saat vakum, karbon tetraklorür, 1-saat vakum, saf su ve 1 saat vakum uygulanmasıyla temizlenmiştir. Daha sonra yağ 80°C de gözenekli bir cam süzgeçten (maks. 10-15 pm) vakum içerisine köpüklendirilerek süzülmuş, kurutulmuş ve erimiş gazlardan ayrılmıştır. Bu örnek daha sonra deney koşullarının gerektirdiği şekilde metal tozları (alüminyum) ve hava ya da oksijen ilavesiyle şartlandırılmıştır. Hava ve oksijenin yağda eritilme-



Şekil 2. Yüksek gerilim devresi

- a) Darbe gerilim kaynağı,
- b) Tetikleme birimi
- c) Gecikme devresi
- d) Trigatron kesme aralığı
- e) Test hücresi

C1, C2 - Gerilim Bölücüsü,
Cs - Koruma kondansatörü

sinde, test hücresi süzülmuş ve kurutulmuş, 1 Atm. basınçta gazla doldurulduktan sonra yağ bu ortam içerisine püskürtülmüştür. Metal tozlarının katılmasında ise, örnek, tozları ölçülü olarak içeren bir hücreden geçirilmiştir. Tozların gerçek yoğunluğu, daha sonra mikroskop gözlemiyle saptanmıştır.

2.2.2 Yüksek Gerilim Devresi

Araştırmalarda kullanılan yüksek darbe gerilimleri 0,25/1000 us karakteristiğindedir ve delinme öncesi deşarj süresince örneğe değişmez bir gerilim uygulanmıştır. Elektrod yüzeyleri ve yağ örneği, delinme arkının tahribatından akım sınırlayıcı seri bir kondansatör kullanılarak korunmuştur (Şekil 2).

Delinme öncesi deşarj bölgelerinin fotoğraflarının alınması anında uygulanan gerilim, bir trigatron kesme aralığı kullanılarak kesilmiştir. Böylece deşarjın büyümesi durdurulmuş ve film üzerinde optik netlik elde edilmiştir. Deşarj bölgelerinin aydınlatılması için esas darbe kaynağından belirli bir süre sonra ateşlenen yüksek enerjili ve kısa süreli (<1 ys) bir elektrik arkı kullanılmıştır.

2.2.3 Optik Sistem

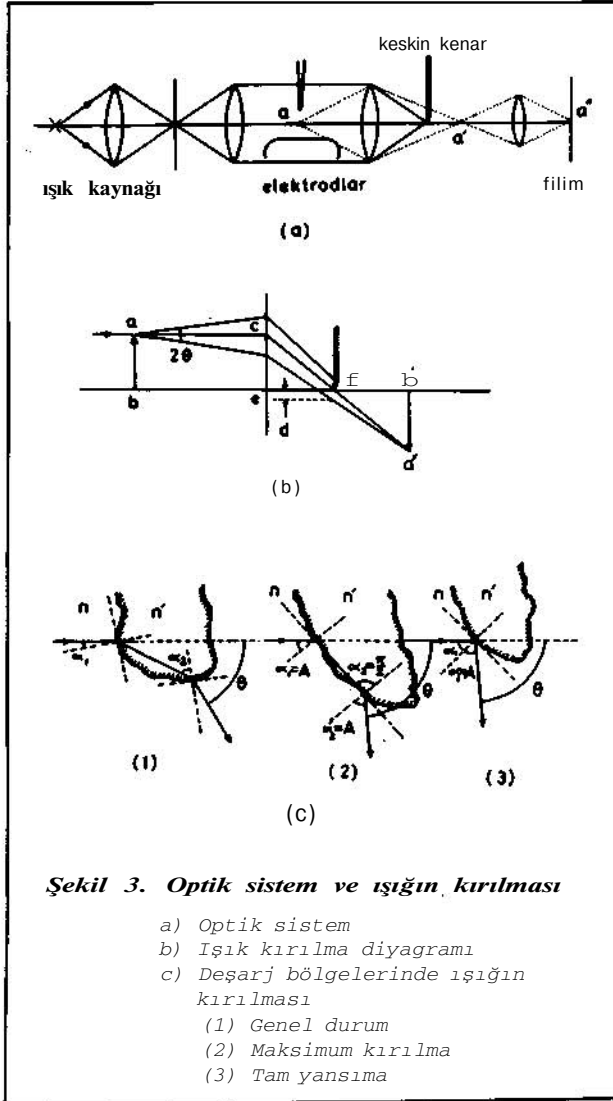
Deneylerde kullanılan optik sistem, saydam bir ortamda oluşan çok küçük kırılma indeksi değişimlerini kaydetmeye yarayan Schlieren yöntemine göre hazırlanmıştır. Bu sistem Şekil 3.a'da gösterilmiştir.

Sistemin ayarlanmasıyla, paralel ışık demeti, keskin kenar tarafında durdurulan bir noktada odaklanmaktadır. Sıvı içerisinde bir (a) noktasındaki

6. teknik kongre

kırılma indeksi herhangi bir nedenle değişecek olursa, buradan geçen ışın kırılarak paralel demetten ayrılacak ve böylece keskin kenarın altından geçerek sırasıyla (a') ve (a'') görüntülerini oluşturacaktır.

Bu araştırmalarda optik sistem, aynı zamanda kırılma indeksindeki değişme miktarını ve üst kırılma açısını ölçerek deşarj bölgelerinin sıcaklığının bulunmasında da kullanılmıştır. Bu yöntem Şekil 3.b'de açıklanmıştır. Bir deşarj bölgesini gösteren (ab) üzerinde oluşan en üst kırılma açısı (0) olarak alınır Şekil 3.b'den görülecektir ki, keskin kenarın (d) kadar aşağı indirilmesiyle (a'b') görüntüsü kaybolacaktır. Deneylerde (d) uzaklığı görüntünün film üzerinde kaybolması anına rastlayan keskin kenar konumu ile ölçülmüştür.



$$O = \text{Arc Tan } (kd)$$

$$k = a'c / (be.a'f)$$

(D)

Aynı zamanda Şekil 3.c'de rastgele alınan deşarj bölgeleri için maksimum kırılma açısı,

$$O = ir - 2A, \text{ Sin } A = n' / n$$

(2)

dir. Burada;

n : yağın normal kırılma indeksi

n' : deşarj bölgesinin kırılma indeksi.

Böylece,

$$n' = n \text{ Sin } [i (\pi - O)]$$

(O)

olur.

Deşarj bölgelerinin sıcaklığının bulunmasında; önce (d) uzaklığı ölçülmüş ve (1) den 0, (3) den n* hesaplanarak kullanılan yağın "kırılma indeksi/sıcaklık" karakteristiğinden tekabül eden sıcaklığa bakılmıştır.

Bu yöntemde yalnızca en ilerideki deşarj kanalının ucu gözlenerek bir ışının ardarda birkaç defa kırılmasından doğabilecek karışıklıklardan kaçınılmıştır.

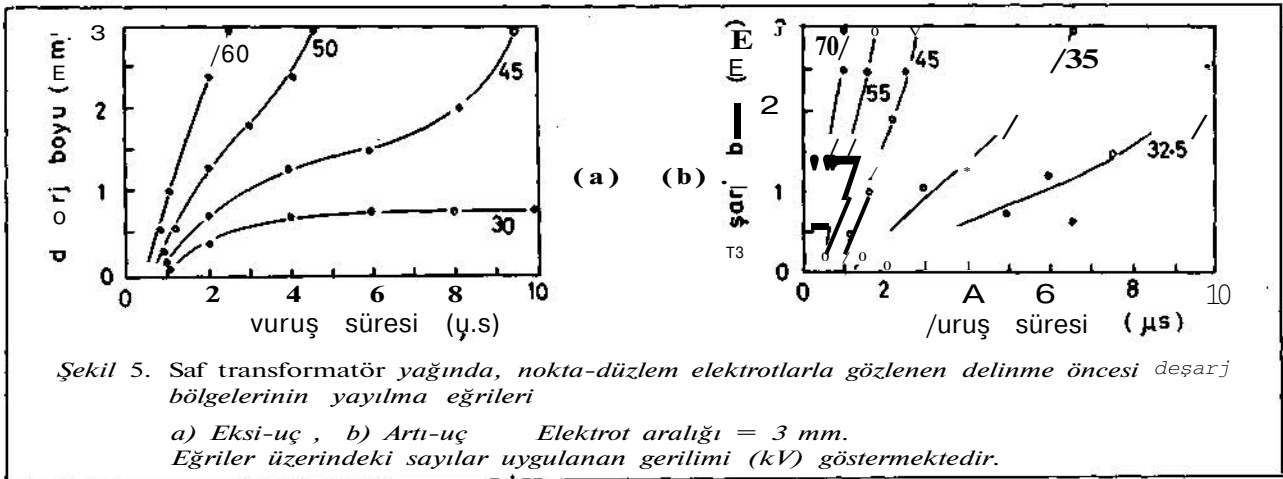
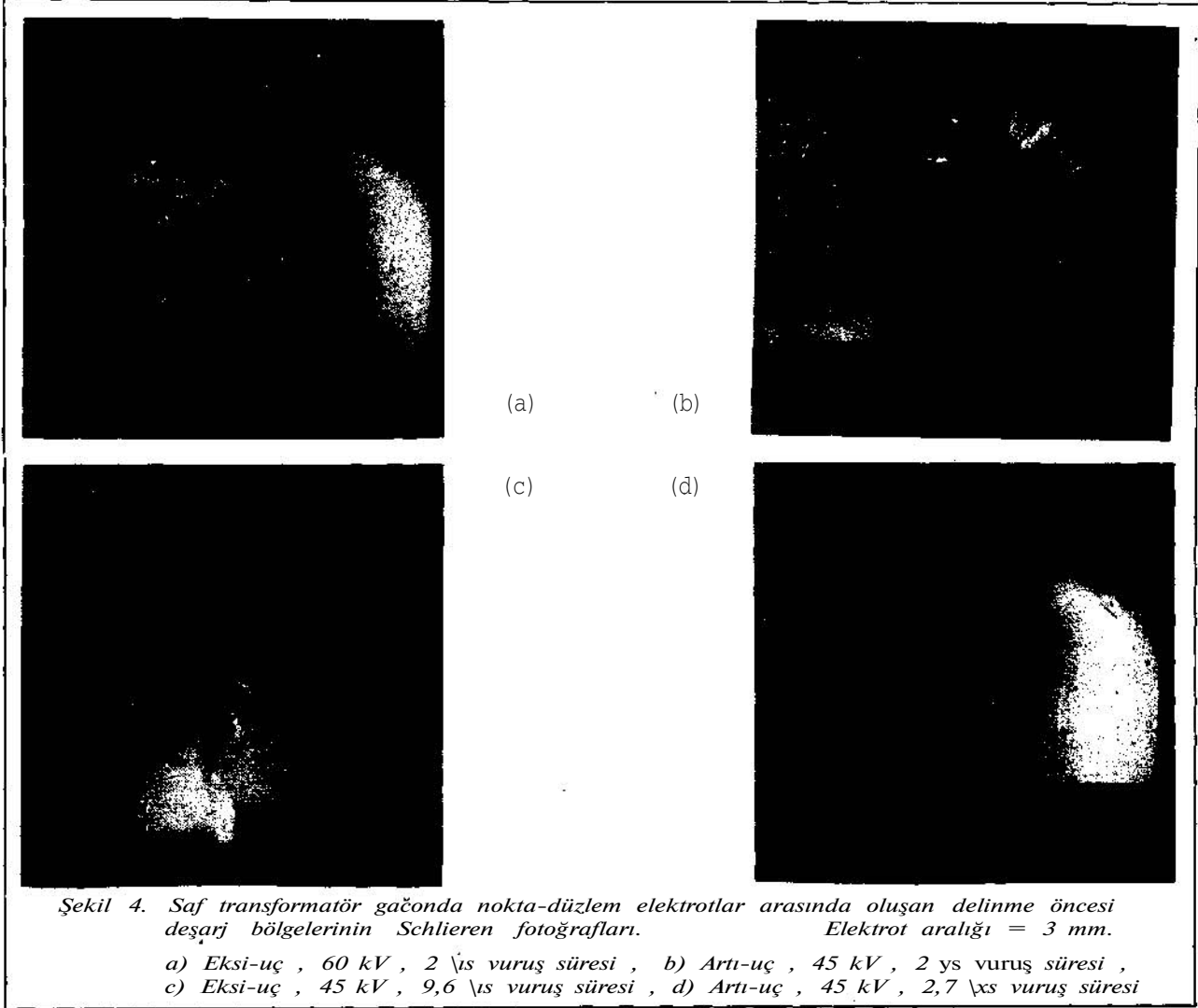
2.2.4 Deneysel Teknikler

Belirli bir sıra deney koşullarında aynı test örneği kullanılmıştır. Nokta elektrotlar için çelik iğneler kullanılmış ve bunların ucu başlangıçta ve her 20 delinmeden sonra-yaklaşık 5 ym'lik bir yarıçapa sivriltilmiştir.

Bir delinme öncesi deşarjin yayılması kaydedilirken, süreleri 0,1 ps'lik basamaklarla artan, aynı büyüklükte bir seri yüksek gerilim vuruşları (darbeleri) uygulanmış ve her vuruşun sonunda elektrod aralığının Schlieren fotoğrafı alınarak deşarj bölgesinin çeşitli büyüme konumlarını test eden bir seri fotoğraflar elde edilmiştir. Ayrıca her vuruşun sonunda yağ karıştırılarak, vuruşun yağa uyguladığı ön-alan (prestressing) etkisi önlenmiştir.

Deşarj bölgeleri sıcaklığının ölçülmesinde, aynı süre ve büyüklükte vuruş serileri uygulanmış ve her vuruştan sonra keskin kenar belirli bir miktar indirilmiştir. Böylece yağda oluşan en üst kırılma açısı, en öndeki deşarj kanalı ucunun görülebildiği son fotoğraftan bulunmuştur. Burada da her vuruşun sonunda yağ karıştırılmıştır.

Araştırmaların bir bölümünde ön-alan etkisiyle şartlanmış örnekler kullanılmıştır. Bu örneklerde uygulanan ön-alan; en küçük delinme geriliminin % 10 altında, uygulanacak test serilimiyle aynı polaritede ve 10 adet 0,25/1000 us vuruş gerilimiyle elde edilmiştir.



3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu araştırmalarda delinme öncesi deşarj bölgesinin fotoğrafları, ışık kaynağı çalıştırılmadığı zamanlar elde edilememiştir. Bu nedenle, bölgelerin kendiliklerinden yaydıkları ışık, gözlenemeyecek kadar azdır ve fotoğraflar yalnızca kaynaktan gelen ve bu bölgelerde kırılmaya uğrayan ışık ile alınmıştır.

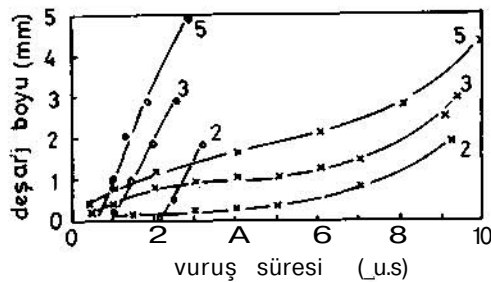
3.1 Nokta - Düzlem Elektrot Sistemi

3.1.1 Gerilim Büyüklüğünün Etkisi

Delinme öncesi deşarj bölgelerinin tipik örnekleri Şekil 4a ve b'de gösterilmiştir. Bu bölgelerin maksimum kanal uzunluğu, giderek artan vuruş sürelerinde ve değişik gerilimlerde ölçülmüştür. Her beş ölçmenin ortalaması "yayılma eğrileri" olarak Şekil 5a ve b'de gösterilmiştir. Bu deneylerden aşağıdaki önemli sonuçlar çıkartılabilir.

Yapılan gözlemlere göre, eksi-nokta için 15 kV ve artı-nokta için 20 kV'un altındaki gerilimlerde deşarj bölgeleri oluşmamaktadır. Bu sonuç çok büyük bir istatistiksel zaman gecikmesini kanıtlamaktadır. Daha yüksek gerilimlerde özellikle, eksi-nokta için istatistiksel gecikme hızla çok önemsiz bir değere düşmüş, bununla birlikte deşarj bölgeleri belirli kısa bir gecikmeden sonra gözlenmiştir. Biçimsel sürecin bir bölümünü kapsadığı sanılan bu gecikme artan gerilimle azalmaktadır. Uygulanan aynı gerilim düzeyinde artı-uç deşarjı daha uzun bir başlangıç gecikmesinden sonra ortaya çıkmış fakat eksi-uçtan başlayan deşarjdan çok daha hızlı ilerlemiştir.

Artı-uç deşarj kanallarının eksi-uçta nazaran çok daha ince olduğu ve elektrik alanının kuvvet çizgileri boyunca yayıldıkları görülmüştür. Eksi-uçtan yayılan daha hacimli deşarj bölgelerinin ise, gerilim azaldıkça kalınlaştıkları saptanmıştır.



Şekil 6. Saf transformatör yağında, nokta-düzlem elektrotlar arasında delinme öncesi deşarjlarının yayılmasına elektrot aralığının etkisi.

o - Artı-uç , x - Eksi-uç

Uygulanan ortalama alan şiddeti = 15 kV/mm. Eğriler üzerindeki sayılar elektrot aralığını (mm) göstermektedir.

Her iki polarite için deşarj bölgesinin elektrot aralığını; elektrotlara yaklaştıkça artan fakat yaklaşık değişmez bir hızla geçtiği gözlenmiştir. Eksi uçta; kritik bir gerilimin altında, deşarjın belirli bir büyüklükten sonra durduğu ve biçimsel gecikmenin çok büyük olduğu görülmüştür.

Eksi-uç deşarjında esas delinme kanalının, deşarj kanallarından birinin anoda ulaşması ile bu elektrottan başladığı (Şekil 4.c) görülmüştür. Artı-uç durumunda ise, deşarj kanallarının elektrot aralığını köprülemesi ile delinme olayı arasında 0,2 ys kadar bir gecikme saptanmıştır. Ayrıca artı-uç deşarj kanallarının katoda yaklaştıklarında daha parlak bir görünüm kazandıkları gözlenmiştir (Şekil 4.d)

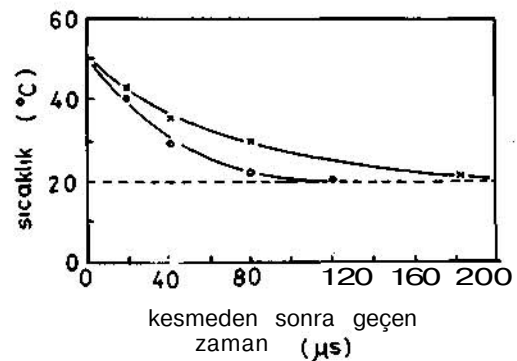
3.1.2 Elektrot Açıklığının Etkisi

Değişik elektrot açıklıkları için elde edilen yayılma eğrileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlardan görüleceği gibi, uygulanan aynı ortalama alanda artan elektrot aralığı, deşarjların görünmesindeki başlangıç gecikmesini artırmış, buna karşılık yayılma hızlarını azaltmıştır.

3.1.3 Sıcaklık Ölçmeleri

Duru örnekler kullanılarak; 35 kV , 2 - 10 ys süreli vuruşlarla ve 3 mm lik elektrot aralığında deşarj bölgelerinin en üst sıcaklığı yaklaşık 48°C bulunmuştur.

Bu deneylerde, uygulanan gerilimin kesilmesinden sonra, deşarj bölgelerinde kırılan ışığın yoğunluğunun giderek azaldığı ve 200 ys kadar deşarj bölgesinin artık filmde gözlenemediği görülmüştür. Deşarj bölgesinin bu yavaş kaybolması sırasında ölçülen sıcaklıklar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Saf transformatör yağında, nokta-düzlem elektrotlar arasında delinme öncesi deşarjlarının sıcaklık/zaman eğrisi

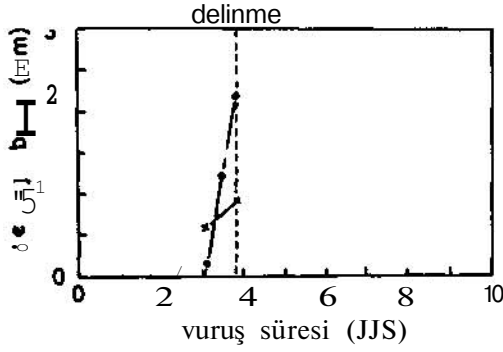
o - Artı-uç , x - Eksi-uç

Elektrot aralığı = 3 mm.

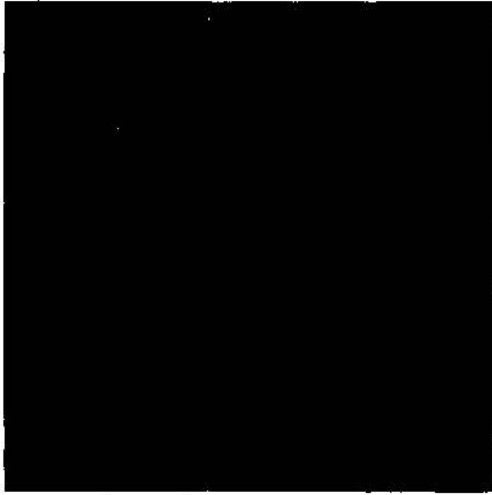
Gerilim = 45 kV

Vuruş süresi = Artı-uç için 2 \is
Eksi-uç için 8 \is

6. teknik kongre



(a)



(b)

Şekil 8.

Saf transformatör yağında, nokta-nokta elektrotlar arasında oluşan delinme öncesi deşarjları ve deşarj yayılma eğrileri

- a) Yayılma eğrileri, o - Artı-uç, x - Eksi-uç
b) Artı ve eksi deşarj bölgeleri.

Gerilim = 45 kV

Vuruş süresi = 3,5 µs

Elektrot aralığı = 3 mm

Bu sonuçlar deşarj bölgelerinin sıvı halinde fakat çevreden daha yüksek bir sıcaklıkta bulduklarını göstermektedir. Gerilimin kesilmesinden sonra, bölgenin kırılma indeksinin ve dolayısıyla sıcaklığının bir soğuma süreciyle çevre sıcaklığına doğru düştüğü anlaşılmaktadır. Artı-uç deşarj bölgesinin kaybolma süresi, eksi-uca göre daha kısadır. Aynı zamanda eksi-uç deşarj bölgesinde kanal uçlarının film üzerinde en son kaybolan yerler olduğu, böylece buraların en yüksek sıcaklıkta bulunduğu gözlenmiştir.

3.2 Nokta - Nokta Sistemi

Bu deneylerde, ayrı ayrı meydana gelen artı ve eksi uç deşarj bölgeleri aynı koşullarda beraberce oluşan deşarjlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Yayılma eğrileri üzerindeki her nokta on ölçmenin ortalamasını göstermektedir. Görüleceği üzere artı-uç deşarj bölgesi eksi-uçtan daha sonra ortaya çıkmış fakat daha büyük bir hızla ilerlemiştir. Böylece nokta-nokta sistemlerde bulunan sonuç burada da görülmüştür. Bununla beraber nokta-düzlem sistemine göre; aynı ortalama alan şiddetinde deşarj başlangıç gecikmeleri ve yayılma hızları oldukça artmıştır.

3.3 Yabancı Maddelerin ve Ön-Alanın Etkileri

Test örneklerine katılan erimiş hava, oksijen ve alüminyum tozlarının etkileri Tablo 1'de gösterilmiştir. Genellikle yabancı maddelerin deşarj bölgelerinin başlaması üzerinde önemli bir etkisi görülmemiş fakat bazı durumlarda yayılma hızlarını etkilemiştir.

Tablodan izleneceği gibi, erimiş hava ve oksijen, ön-alan uygulanan ve uygulanmayan örneklerde yayılma hızlarını etkilememiştir. Katı tanecikler ise, yayılma hızlarını artırarak biçimsel zaman gecikmesini azaltmışlardır. Bu etki, tanecik büyüklüğünün ya da yoğunluğunun artması ya da örneğe ön-alan uygulanmasıyla daha da artmıştır, ön-alanın etkisi ise, ön-alan darbe gerilimlerinin sayısı ile artmaktadır. Ayrıca taneciklerin bulunduğu örneklerde; eğer bir ön-alan uygulanmamışsa, erimiş hava ya da oksijenin varlığı sonuçları fazlaca etkilememiştir. Buna karşılık aynı örneklere ön-alan uygulandığında, erimiş hava ve özellikle oksijenin, deşarj yayılma hızını azalttığı görülür.

3.4 Sonuçların İncelenmesi

3.4.1 Eksi-Uç Düzlem Sistemi

Sıvı yalıtkanlarda elektriksel delinmeyi açıklamak için ortaya atılan gaz kabarcığı kuramlarında [4,5,6,13], delinme için gerekli koşullar; kabarcığın kritik bir büyüklüğe erişmesi ve kabarcık üzerindeki gerilimin "Paschens minimumu" geçmesini kapsar. Böylece kabarcık içerisinde başla-

Tablo 1.

Saf ve yabancı maddeler içeren transformatör yağında nokta-düzlem elektrotlar altında yabancı maddelerin ve ön-alanın etkileri

ön-alan : 20 x 10 kV, 0,25/1000 jxs darbe gerilimi

Erimiş hava : 760 mm Hg eşdeğer kısmi basınç ya da oksijen

*Küçük tanecikler : 1-15 μ m çap, 3
25tanecik/mm*

*Daha küçük tanecikler : 1-15 μ m çap, 3
216tanecik/mm*

*Büyük tanecikler : 50-10 μ m çap, 3
25tanecik/mm*

Gerilim : 45 kV, Elektrot aralığı: 3 mm

| Test Örneği | Deşarjın elektrot aralığını geçiş süresi (ps) | | | |
|--|---|------------|---------|---------|
| | Eksi-uç | | Artı-uç | |
| | normal | ön-alan | normal | ön-alan |
| Saf yağ | 9,6 | 9,6 | 2,6 | 2,6 |
| Saf yağ ve hava | 9,5 | 9,5 | 2,5 | 2,5 |
| Saf yağ ve oksijen | 9,5 | 9,5 | 2,5 | 2,5 |
| Saf yağ ve küçük tanecikler | 7,5 | 6,5 | 2,0 | 1,8 |
| Saf yağ ve daha fazla küçük tanecikler | 5,4 | 4,2 | 1,8 | 1,5 |
| Saf yağ ve büyük tanecikler | 6,0 | 4,5 | 1,8 | 1,4 |
| Saf yağ, hava ve küçük tanecikler | 7,3 | 7,8 | 2,0 | 2,1 |
| Saf yağ, hava ve büyük tanecikler | 5,8 | 5,0 | 1,8 | 1,5 |
| Saf yağ, oksijen ve küçük tanecikler | 7,3 | 8,4 | 1,9 | 2,1 |
| Saf yağ, oksijen ve büyük tanecikler | 6,0 | 5,4 | 1,7 | 1,5 |

yan bir iyonlaşma ve gaz deşarjının, sıvının delinmesine yol açacağı önerilmiştir. Bu yazıda sunulan araştırmalara göre; böyle bir olayın deşarj bölgelerinin yayılma hızında, diğer bir deyişle, yayılma eğrilerinde kritik bir büyüklükten sonra ani bir değişme ve süreksizlik (discontinuity) ortaya çıkaracağı beklenmelidir. Sonuçlar ise, böyle bir süreksizliğin bulunmadığını ve deşarj bölgesinin sürekli bir büyümeyle diğer elektrota kadar uzandığını göstermiştir. Aynı sonuç 5 mm genişlikteki elektrot aralıklarında bile alınmış ve delinmeye götüren olayın aniden değiştiğini gösteren hiç bir kanıt bulunmamıştır. Bu gözlemler, ölçülen kırılma indeksi ve sıcaklık değerleri, delinme öncesi deşarj bölgelerinin, çevreden daha yüksek sıcaklıkta fakat sıvı halde bulunduğunu göstermektedir.

Bir nokta-düzlem sisteminde uygulanan alan şiddeti, elektrot aralığı boyunca çok değişkendir. Deşarj yayılma hızının, alan şiddetine olan bağımlılığı ve elektrot aralığı boyunca değişmediği gözlenmiştir. Böylece, deşarj bölgelerinin uçlarında net bir elektriksel yükün (space charge) bulunduğu ve bu nedenle uygulanan alanın deşarj bölgeleri tarafından bozulduğu (distortion) anlaşılmaktadır.

Deşarj bölgelerinin içerdiği bu elektrik yükü görüşü [14], ayrıca deşarjların kanallar halinde yayılması gözlemleriyle de kanıtlanmaktadır. Nitekim kanal uçlarında uygulanan alan şiddetinin daha fazla oluşu, bunların diğer bölümlerden daha önde oluşunu açıklayabilir. Böyle bir olayda, sıvının kırılma indeksindeki değişme, elektronların sıvı molekülleriyle yaptıkları titreşimsel

çarpışmalar (vibrational collisions) [il,15] sonucu ortaya çıkan enerji ve ısınmaya bağlanmalıdır. Deşarjın yayılmasında ise, başlangıçta eksi uçtan yoğun bir elektron emisyonu ve anota doğru ilerleyen bu eksi yükün bir bölümü elektronlarca yapılan iyonlaştırıcı çarpışmalarla beslenmesi etken olmaktadır.

Böyle bir deşarj olayı, bu araştırmalarda gözlenen bütün etkileri açıklayabilir. Örneğin, iyonlaşmaya neden olan elektron çarpışması yüzdesi, uygulanan alan şiddetine bağlıdır ve gözlemlendiği gibi daha yüksek alanlarda iyonlaşma oranı ve dolayısıyla deşarjın yayılma hızı daha fazla olacaktır. Diğer taraftan daha düşük gerilimlerde iyonlaşma oranı ve buna bağlı olarak deşarj yayılma hızı azalarak elektronların çevreye sızması (diffusion) yoluyla daha hacimli deşarj bölgeleri oluşacaktır. Yine görüldüğü gibi, belirli bir gerilimin altında ortaya çıkan deşarjlar, belirli bir büyümeden sonra bunların uçlarında uygulanan alanın bozulması sonucunda, alan şiddeti azalarak, iyonlaşma oranı ve elektron çoğalması deşarj bölgesini daha fazla ilerletemeyecek yetersiz bir düzeye düşmüş olmalıdır. Buna benzer sonuçlar Chadband ve Wright tarafından da gözlenmiştir.

Araştırmalarda esas delinme kanalının, düzlem-anot-taki deşarj kanallarından birinin buraya ulaşması sonucu başladığı belirtilmişti. Yukarıda açıklanan olayın ışığı altında, eksi yüklü deşarj kanalının anota gelmesiyle buradaki alan şiddetinin ve buna bağlı olarak iyonlaşma oranının çok arttığı kabul edilebilir. Böylece delinme kanalı, yıldırım de-

6. teknik kongre

şarjına benzer bir şekilde varolandeşarj kanalı üzerinden katoda doğru hızla ilerleyen bir artı-iyon kanalı (positive streamer) olmalıdır.

3.4.2 Artı-Uç Düzlem Sistemi

Artı ve eksi uçdeşarjları arasında, yayılma hızının, uygulanan gerilime bağlı olması, kırılma indeksi ve sıcaklık ölçmeleri gibi konularda benzerlikler görülmekle beraber, birçok sonuçlardan bu ikideşarjın başlama ve büyüme olaylarının oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Başlıca önemli farklar; artı-uç kanallarının çok daha ince, düzenli ve aynı gerilimde yayılma hızlarının fazla olmasını kapsıyor. Bu kanalların görünüşü uygulanan gerilimle değişmemekte fakat eksi-uçta olduğu gibi yayılma hızı gerilimle çok artmaktadır. Böylece, elektrot aralığındaki yaklaşık değişmez yayılma hızının yinedeşarj uygulanan alanı önemli ölçüde bozduğu görülmektedir.

Sıvı içerisinde; yabancı maddeler ve çözünmeler (detachment) nedeniyle önemli sayıda elektronlar bulunabilir. Böylece artı-uçdeşarjının başlamasında, bu elektronların art-uçtaki kuvvetli alan bölgesine hareketleri etken olmalıdır. Alan şiddetinin belirli bir değerinden sonra, bu elektronlar, alanda bir iyonlaşma sürecini başlatmaya yeterli enerji kazanacaklardır. Böylece gazlardaki artı-iyon-kanal (streamer) olayına benzer şekilde bir süreç etken olacak ve anottan başlayan artı-iyon kanalları katoda doğru eksi-uçdeşarjından çok daha hızla yayılacaklardır. Gerilimin artırılması ise iyonlaşma oranını ve dolayısıyla yayılma hızını artıracaktır.

Uygulanan aynı gerilimde, artı-uçdeşarjının daha uzun bir başlangıç gecikmesine sahip oluşu, var olan elektronların şiddetli alan bölgesine gelmeleri ve yeterli bir iyon yoğunluğu sağlamaları için gereken zaman nedeniyle olmaktadır.

Artı-uç kanallarının ince oluşu ise,deşarjın yayılması süresince nispeten küçük olan mobilitele ri nedeniyle artı iyonların iyonlaşma konumlarını korumaları ve çevreye sızmamalarıyla açıklanabilir. Aynı zamanda deneylerde gözleendiği gibi, bu kanallar ince olduklarından, içerdikleri sıvı kütlesi de azdır ve eksi-uç kanallarından daha önce soğuyup kaybolmaları beklenebilir.

3.4.3 Elektrot Aralığının Etkisi

Uygulanan aynı ortalama alanda, nokta elektrottaki alan şiddeti, elektrot aralığıyla artmaktadır. Böylece önceki bölümlerde açıklanan olaylar nedeniyle, uygulanan aynı ortalama alan şiddetindedeşarj bölgelerinin görülmesindeki başlangıç gecikmesi, elektrot açıklığı artırıldıkça noktadaki alanın şiddetlenmesi nedeniyle azalacaktır. Aynı nedenle nokta elektrottaki yüksek iyonlaşma ve emisyon oranı daha yoğun bir elektrik yükü üretecek ve dolayısıyla yayılma hızı da o oranda artacaktır.

3.4.4 Nokta-Nokta Elektrotlar

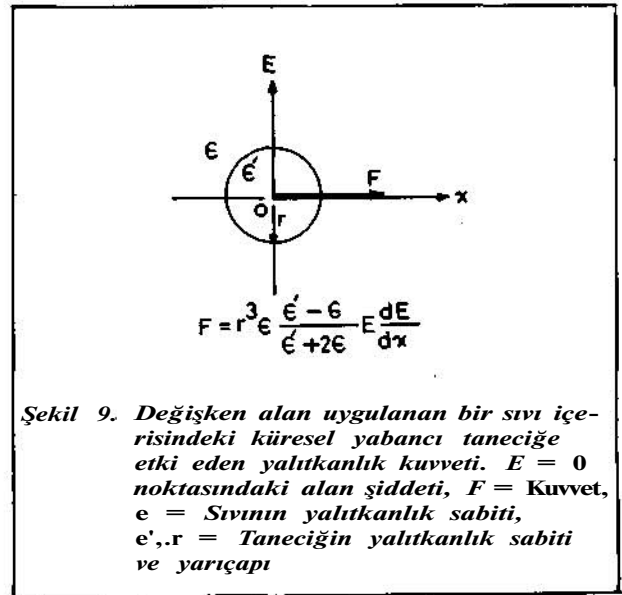
Nokta-nokta sistemle gözlenen sonuçların da yukarıda önerilen olaylarla uyum içinde olduğu anlaşılmaktadır.

Nokta-düzlem sistemle karşılaştırıldığında; görülen başlangıç gecikmelerindeki artış, bölüm 3.4.3 de açıklandığı gibi, nokta elektrottaki alan şiddetinin azalmasına bağlanabilir. Yayılma hızlarının çok daha fazla olması ise nokta-nokta sistemdekideşarj bölgelerinde bulunan artı ve eksi yüklerin elektrik alan şiddetini çok artırmalarıyla açıklanabilir.

3.4.5 Yabancı Maddelerin ve ön Alanın Etkileri

Metal tozlarının etkileri; bunların uygulanan alanı yüzeylerinde toplayarak şiddetlendirmeleri ve böylece esasdeşarj olayını hızlandırmalarıyla ilgilidir.

Ön-alan uygulamalarında; gözlenen etkiler ise, taneciklerin dielektrik kuvvetlerden gelen hareketlerine bağlanabilir (Şekil 9) [16,17]. Yalnız metal tozlarının bulunduğu örneklerde; bu hareket kuvvetli alan bölgelerine doğrudur ve buralardaki tanecik sayısını buna bağlı olarak da,deşarj yayılma hızını artıracaktır. Metal tanecikleri içeren örneklerde, gazlar eritildiğinde, yukarıda açıklananın tersi bir etki görülmüştür. Buna neden olarak, büyük bir olasılıkla gaz moleküllerinin taneciklere bağlanarak onların toplam geçirgenliklerini azaltmak, büyüklüklerini artırmak ve diğer iyonik kuvvetler oluşturmak gibi etkileri gösterilebilir. Böylece taneciklere ön-alan tara-



Şekil 9. Değişken alan uygulanan bir sıvı içerisindeki küresel yabancı taneciğe etki eden yalıtkanlık kuvveti. $E = 0$ noktasındaki alan şiddeti, F = Kuvvet, e = Sıvının yalıtkanlık sabiti, e', r = Taneciğin yalıtkanlık sabiti ve yarıçapı

findan uygulanan ve onları şiddetli alan bölgesine iten kuvvet azalmış ve hatta ters yönde etkilemiş olmaktadır. Ayrıca oksijenin, havadan daha etken olması nedeniyle, eritilen gazın elektronegatif oluşu da bu etkileri artıran bir rol oynamış olabilir. Yağlarda delinme ölçmeleri yapan diğer araştırmacılar [18] oksijenin çok önemli etkisine karşılık erimiş azot ya da karbon dioksitin bir etkisi olmadığını ancak karbondioksitin çok sayıda delinmeden sonra az bir etkisi olduğunu bulmuşlardır.

4. SONUÇ

Bu araştırmalar, darbe gerilimi altındaki sıvılarda delinme olayının temelde elektronik bir süreç olduğu görüşünü kanıtlamaktadır. Diğer taraftan sonuçlar, delinme olayının bir gaz kabarcığının büyümesi ve kritik bir büyüklükten sonra delinmesini öngören açıklamalarına uygun bulunmamıştır.

Sonuçlar genel bir uyum içerisinde göstermiştir ki, nokta elektrot sistemlerinde delinme; yüksek bir alan şiddetinin bulunduğu noktadan başlayan

ve yaklaşık değişmez bir hızla bütün elektrot açıklığını geçen bir deşarj bölgesi sonucunda oluşmaktadır. Bu deşarj bölgesinin, elektron ve sıvı moleküllerinin çarpışmaları süreciyle oluşan zayıf bir iyonlaşma bölgesi oldukları önerilmiştir. Ayrıca eksi-uç deşarjının katotdan elektron emisyonu, artı-uç deşarjının ise yüksek alan bölgesindeki elektron çarpışmalarıyla başladığı, deşarj bölgelerinin sıcaklığının iyonlaşmaya neden olmayan titreşim çarpışmaları sonucu yükseldiği açıklanmıştır.

Yabancı maddelerin genellikle deşarj başlangıcına değil yayılma hızına etkili oldukları görülmüştür. Metal tozları en büyük bir olasılıkla yüzeylerinde alanı şiddetlendirerek bu hızı artırmış, erimiş gazlar ise ancak metal tozlarını da içeren örneklerde ve bir ön-alan uygulanmasından sonra etkili olarak yayılma hızını azaltmışlardır. Yalnız metal tozlarının bulunduğu örneklerde, ön-alan uygulanması bunların etkisini artırmıştır. Elektronegatif gazların metal tozlarına bağlanarak bunları kuvvetli alan bölgelerine toplayan kuvveti azalttıkları açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Lewis, T.J., "The electrical strength and high field conductivity of dielectric liquids", Progress in Dielectrics, C.1, s.117, Heywood, Londra, 1959
- [2] Goodwin, D.W., and K.A.MacFadyen, "Electrical conduction and Breakdown in Liquid Dielectrics" Proc. Phys. Soc. Cilt.B 66 s.85, 815, Londra, 1953
- [3] Swan, D.W., "A review of recent investigations into electrical conduction and breakdown of dielectric liquids" Br.J.Appl.Phys. Cilt.13, s.208, 1962
- [4] Sharbaugh, A.H. and P.K.Ffatson, "Conduction and Breakdown in Liquid dielectrics" Progress in Dielectrics. Cilt.4 s.243, 1962
- [5] Kao, K.C. and J.B.Higham, "The effects of hydrostatic pressure, temperature and voltage duration on the electric strengths of hydrocarbon liquids" J.Electrochem. Soc. Cilt.108, s.522-528, 1961
- [6] Hoover, t/.G. and W.A.Hixson, "Dielectric strength of oil with variations of pressure and temperature" Trans. AIEE. Cilt.68, s.1047-1050, 1949
- [7] Edwards, W.D. Canad.J.Phys.Cilt.29, s.310, 1951
- [8] Crowe, R.W. J.Appl.Phys. Cilt.27, s.156, 1956
- [9] Ward, D.fi. and T.J.Lev/is, "A statistical interpretation of the electrical breakdown of liquid dielectrics" Proc.R.S. Cilt.A 269 s.233, 1962
- [10] Farazmand, B. "study of electrical breakdown of liquid dielectrics using Schlieren optical techniques" Br.J.Appl.Phys. Cilt.12, s.251-254. 1961
- [11] Chadband, W.G. and G.T.tiright, "A prebreakdown phenomenon in the liquid dielectric hexane" Br.J.Appl.Phys. Cilt.16 s.305, 1965
- [12] BS 148: 1959. "Insulating oil for transformers and switchgear"
- [13] Krasucki, Z., "Breakdown of liquid dielectrics" Proc.R.S. Cilt.A 294, s.393, 1964
- [14] Hizal, E.M., "Breakdown mechanisms in liquid dielectrics" Ph.D.Thesis, Univ. of Manchester, 1973
- [15] Lewis, r.J., "Mechanism of electrical breakdown in saturated hydrocarbon liquids" J.of Appi.Phys. Cilt.27-6 s.645, 1956
- [16] Kok, J.A. and M.M.G.Corbey, "Breakdown of liquid insulating and dielectric material" Appl.Sci.Res. CIU.B6, s.197, 1956/57
- [17] Hizal, E.M., "Breakdown of transformer oil subjected to impulse voltages" M.Sc.Thesis, Univ. of Manchester, 1971
- [18] Sletten, A.M., and T.J.Letfifis, "The influence of dissolved gases on the electric strength of n-hexane" Br.J.Appl. Phys., Cilt.14, s.883, 1963