

**ELEKTRİKSEL İÇ KİSMİ BOŞALMALARA BOŞLUK BOYUTLARININ ETKİSİ****Can YENİDOĞAN****Özcan KALENDERLİ****İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi****Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarı****80191 Gümüşsuyu / İSTANBUL****Özet**

Son yıllarda kısmi boşalma olaylarının bilgisayar destekli incelenmesi güncellik kazanmıştır. Bu tür çalışmalar yalıtkan içindeki yabancı madde, boşluk gibi kusurlar ile boşalma davranışı arasındaki ilişkileri çok yönlü, hızlı ve kolay bir şekilde inceleme olanağını vermektedir.

Bu çalışmada da uçlarına yüksek gerilim uygulanmış ve içinde dairesel silindrisel hava boşluğu bulunan bir katı yalıtıkandaki kısmi boşalma davranışına boşluk boyutlarının etkisi bilgisayar yardımıyla incelenmiştir. İncelemeler, EMTP (Electromagnetic Transients Program) da, probleme ilişkin bir eşdeğer devre tanımlanarak yapılmış ve tanımlanan bu devre üzerinde, değerleri boşluk çapı ve yüksekliğine bağlı olarak değişen devre kapasiteleri değiştirilerek, boşluk boyutları ile kısmi boşalma olayları arasındaki ilişkileri gözlemleme olanağını veren boşluk uçlarındaki akım ve gerilim değişimleri elde edilmiştir.

**1. Giriş**

Elektriksel kısmi boşalma olayı alan şiddetinin yerel olarak ortamın delinme alan şiddetinden büyük olduğu yerlerde görülen tam olmayan ancak kendi kendini besleyebilen bir boşalma olayıdır. Bu olaya eğrilik yarıçapı, elektrotlar arası açıklığa göre küçük olan elektrotlarda ve yalıtkan maddelerin içinde veya yalıtkan maddeler ile elektrotlar arasındaki küçük boşluk veya aralıklarda rastlanır. Kendini ısı, ışık, elektromagnetik dalga, koku ve kimyasal bozulmalar şeklinde belli eden bu olay yalıtımın dolaşıyla aygıt ve sistemin güvenilirliğine, kalitesine ve ömrüne etki eder /1-4/.

Kısmi boşalmaların varlığının belirlenmesi, ölçülmesi, yerinin bulunması ve olayın değerlendirilmesi işlemleri, etkenlerin çokluğu nedeniyle çok yönlü, hızlı ve kolay bir şekilde, üzerinde kuramsal ve deneysel incelemeler yapma olanağını veren bilgisayar destekli çalışmaların önemini artırmış, kısmi boşalmaların ölçülmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesinde sinir ağlarının kullandığı uygulamalara hız kazandırmıştır /5-7/.

Kısmi boşalmalar, iç ve dış kısmi boşalmalar olmak üzere iki genel grupta incelenebilir. Bu çalış-

mada, katı yalıtkan içindeki hava dolu boşluklarda söz konusu olan iç kısmi boşalmalar göz önüne alınmıştır. Bir katı yalıtkan içindeki kısmi boşalmalara, uygulanan gerilimin türü, değeri, frekansı, yalıtkanın fiziksel ve elektriksel özellikleri, ortam koşulları, sıcaklık, boşluk boyutu, biçimi, sayısı ve yeri gibi bir çok etkenin etki ettiği bilinmektedir /8-10/. Örneğin, boşluğun boyutunu, yüksekliği ve yarıçapı ile; biçimini, gerçekte rasgele olmalarına karşın, yaklaştığı olan küresel, dairesel veya eliptik silindrisel, uzamış veya yassılaştırmış sferoidal gibi bilinen uygun geometrik şekillerle; içindeki ortamın durumunu, genellikle hava olmakla birlikte, başka bir gaz veya yağ ile dolu olarak ve yüzeysel ve hacimsel iletkenlikleri ile göz önüne alarak incelemek mümkündür (Şekil 1). Görüldüğü gibi kuramsal ve deneysel incelenecek pek çok etken bulunmaktadır. Bu da yapılacak çalışmaların zenginlik kaynağıdır.



Şekil 1. Boşluk biçimleri

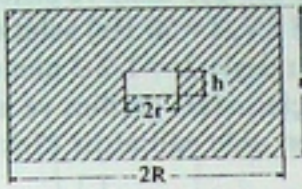
Bu çalışmada da uçlarına yüksek gerilim uygulanmış ve içinde dairesel silindrisel hava boşluğu bulunan bir katı yalıtıkandaki kısmi boşalma davranışına boşluk boyutlarının etkisi bilgisayar yardımı ile incelenmiştir. İncelemeler, EMTP (Electromagnetic Transients Program /11-12/) da, probleme ilişkin bir eşdeğer devre tanımlanarak yapılmış ve tanımlanan bu devre üzerinde, değerleri boşluk çapı ve yüksekliğine bağlı olarak değişen devre kapasiteleri değiştirilerek, boşluk boyutları ile kısmi boşalma olayları arasındaki ilişkileri gözlemleme olanağını veren boşluk uçlarındaki akım ve gerilim değişimleri elde edilmiştir.

**2. Boşluklu Katı Yalıtkan**

Uygulamada, yalıtkan maddelerde yapımları ve kullanımları sırasında arzu edilmeyen yabancı ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

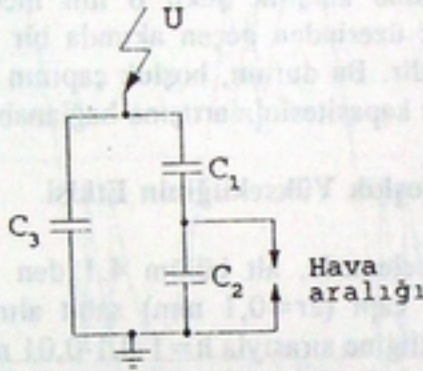


madde ve boşluklar kalabilir veya oluşabilir. İçinde dairesel silindirselsel bir hava boşluğu bulunan bir katı yalıtkanı Şekil 2 deki gibi göz önüne alabiliriz.



Şekil 2. Boşluklu katı yalıtkan

Şekil 2 de a yalıtkanın kalınlığını, 2R disk şeklinde olduğu düşünülen yalıtkanın çapını, h boşluğun yüksekliğini ve 2r boşluğun çapını göstermektedir. Düzlemsel elektrot sistemi arasına yerleştirilmiş ve uçlarına alternatif gerilim uygulanmış boşluklu bir katı yalıtkanın elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3 deki gibi göz önüne alınabilir [1-10].



Şekil 3. Boşluklu bir katı yalıtkanın elektriksel eşdeğer devresi

Şekil 3 de  $C_3$  yalıtkanın boşluksuz (sağlam) kısmının eşdeğer kapasitesi,  $C_2$  boşluğun kapasitesi ve  $C_1$  boşluğa seri katı yalıtkan parçalarının eşdeğer kapasitesini göstermektedir.  $C_2$  ye paralel bağlı hava aralığı, boşluktaki boşalma davranışını veren elektrot sistemidir. Çalışmalarımızda yalıtkan ve boşluk biçimleri dairesel silindirselsel alınmış ve eşdeğer devredeki kapasitelerin hesabında kenar etkileri olmayan düzlemsel elektrot sisteminin kapasite hesabı kullanılmıştır. Düzlemsel elektrot sistemli bir kondansatörün kapasitesi, S elektrot kesiti, d dielektrik kalınlığı ve  $\epsilon$  yalıtkanın dielektrik sabiti olmak üzere,

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Buna göre eşdeğer devredeki silindirselsel geometrilili düzlemsel elektrot sistemleri olarak göz önüne alınabilecek kapasitelerin

değerleri,

$$\begin{aligned} C_1' &= \frac{\epsilon_{r1} \epsilon_0 \pi R^2}{a_1'} \\ C_1'' &= \frac{\epsilon_{r1} \epsilon_0 \pi R^2}{a_1''} \\ C_1 &= \frac{C_1' \cdot C_1''}{C_1' + C_1''} \end{aligned} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_{r2} \epsilon_0 \pi R^2}{h} \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{\epsilon_{r1} \epsilon_0 \pi (R^2 - r^2)}{a} \quad (4)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Bu bağıntılarda  $C_1'$ ,  $C_1''$  sırasıyla boşluğa seri üst ve alt yalıtkan parçalarının kapasiteleri,  $a_1'$ ,  $a_1''$  de bu parçaların kalınlıklarıdır. Boşluğa seri üst ve alt yalıtkan parçalarının çapları, boşluğun çapına (2r) eşittir.  $C_1$  kapasitesi  $C_1'$  ve  $C_1''$  kapasitelerinin seri eşdeğeridir.  $\epsilon_{r1}$  katı yalıtkanın,  $\epsilon_{r2}$  boşluk içindeki ortamın (hava için  $\epsilon_{r2}=1$ ) bağıl dielektrik sabitleri olup  $\epsilon_0=8,86 \cdot 10^{-12}$  F/m dir. Bağıntılardaki boşluğa ilişkin yükseklik (h) ve çap (2r) büyüklükleri değişken, diğer büyüklükler sabit alınarak boşluk boyutlarıyla devre kapasitelerinin değişimi hesaplanabilir dolayısıyla kapasite uçlarına düşen gerilimlerin değişimleri kapasitif gerilim dağılımından elde edilebilir.

### 3. Model Devre

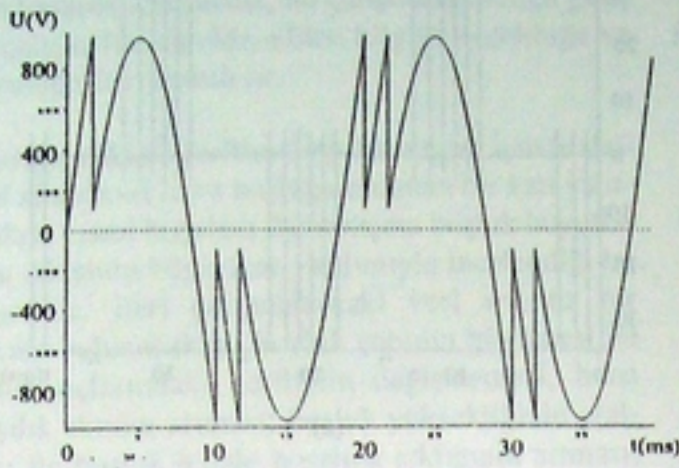
Boşluklu bir yalıtkanın boşluk içindeki hava, boşluk uçlarındaki gerilim dolayısıyla elektriksel alan şiddeti boşluk içindeki ortamın (havanın) delinme gerilimine veya alan şiddetine ulaştığında delinir. Kısmi boşalma denilen bu delinmeden sonra boşluk uçlarındaki gerilim, hızla boşalma sönme gerilimi ( $\pm U_0$ ) olarak adlandırılan ve literatürde yaklaşık 100 V mertebesinde olduğu belirtilen bir değere düşer [1]. Yalıtkan maddeye uygulanan gerilimin boşluk uçlarına düşen kısmı, boşlukta boşalma başlangıç gerilimini ( $\pm U_1$ ) yi aştığı sürece tekrarlanan boşalmalar oluşur. Bu temel boşalma davranışı dikkate alınarak Şekil 4 de verilen bir model devre geliştirilmiştir.

Şekil 4 de gösterilen ve tarafımızdan geliştirilen model devrede,  $C_1$ ,  $C_2$  ve  $C_3$  yukarıda sözü edilen basitleştirilmiş eşdeğer devredeki kapasiteleri,

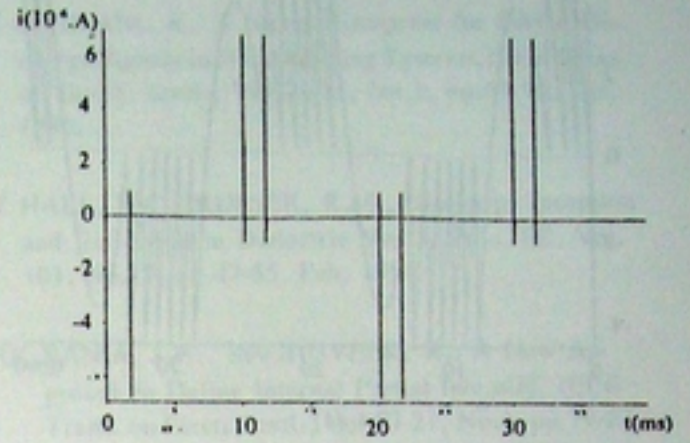




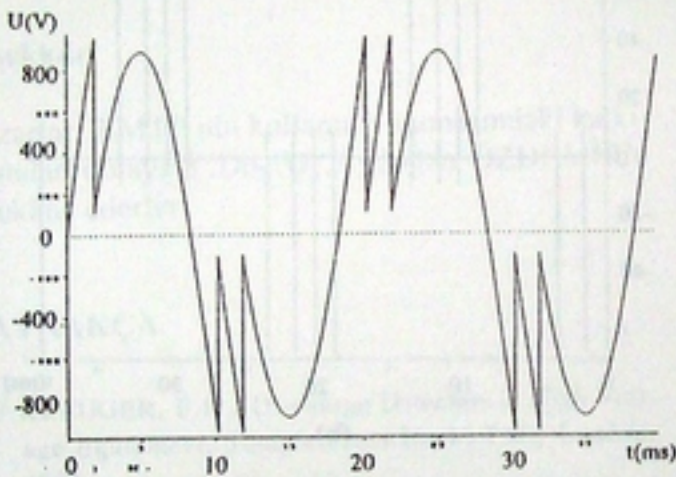




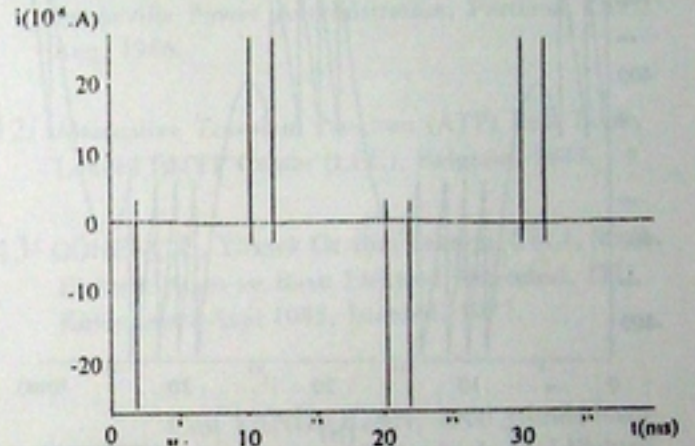
(a)



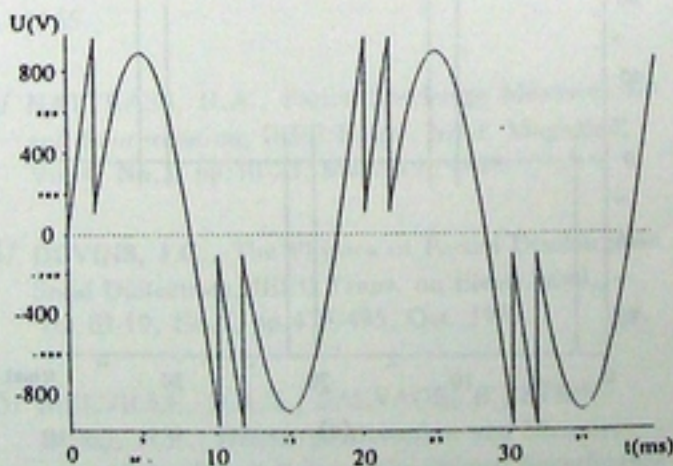
(a)



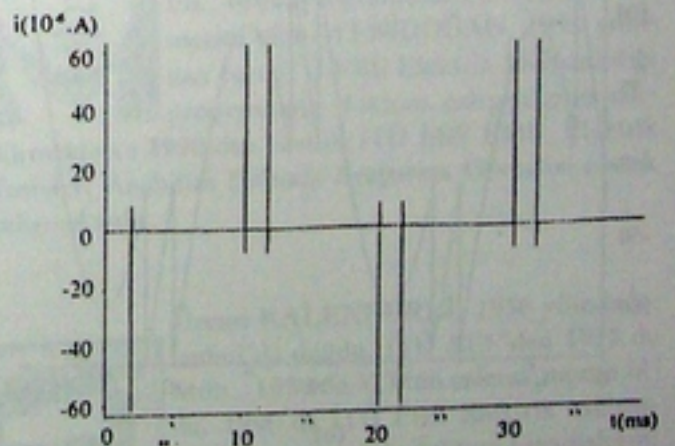
(b)



(b)



(c)

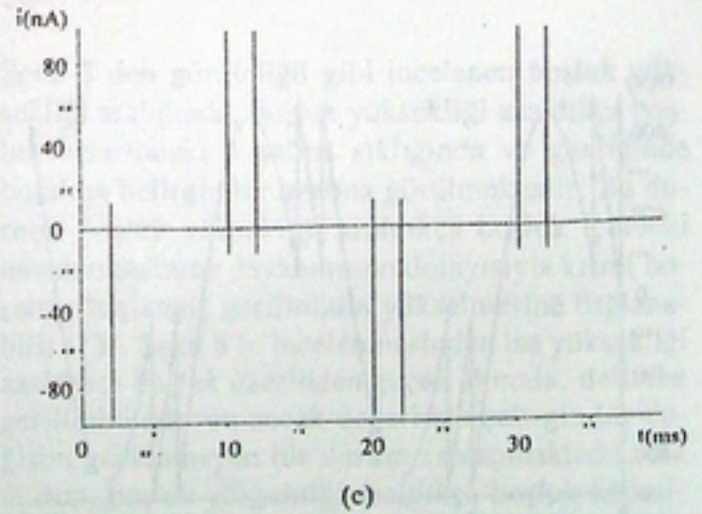
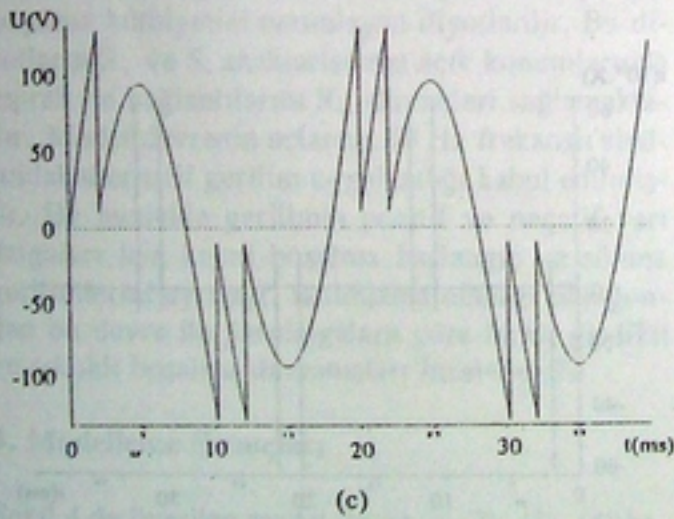
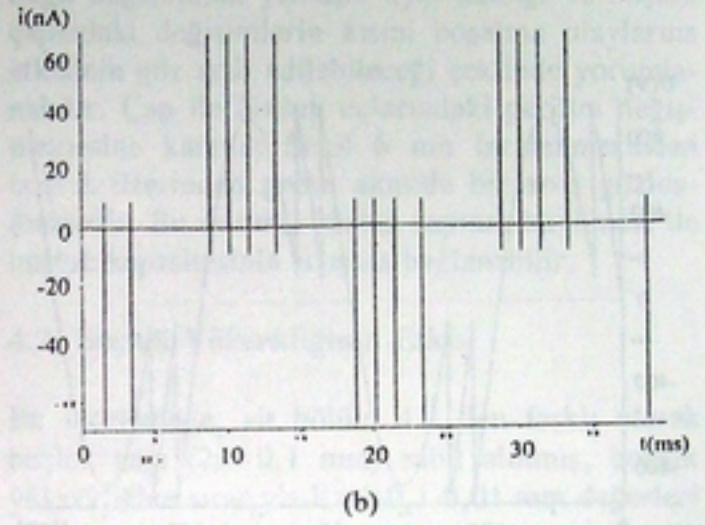
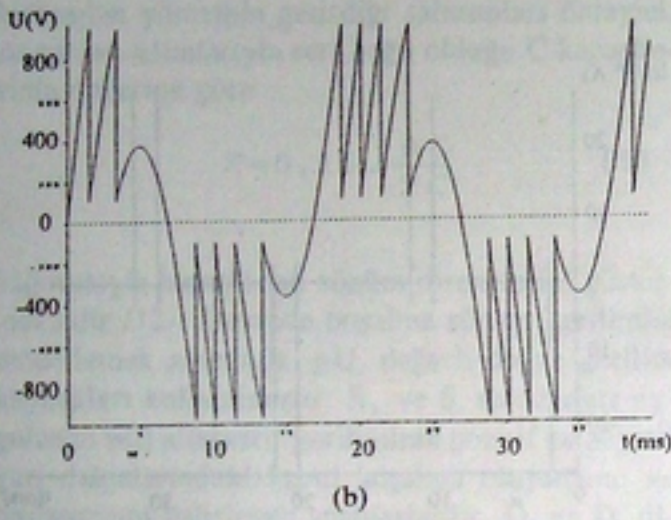
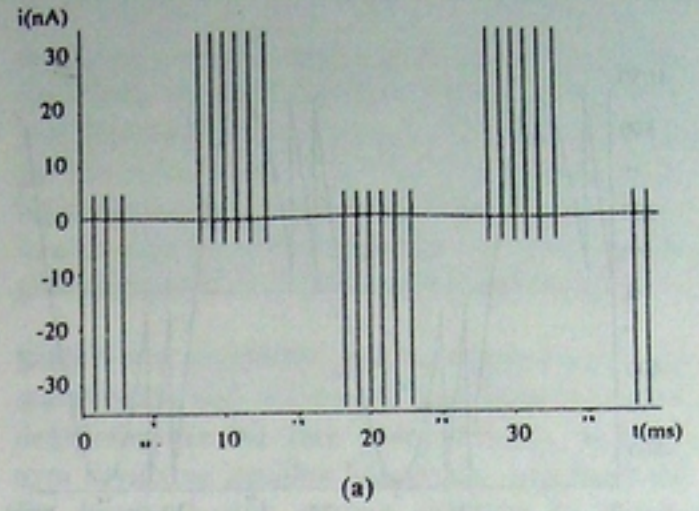
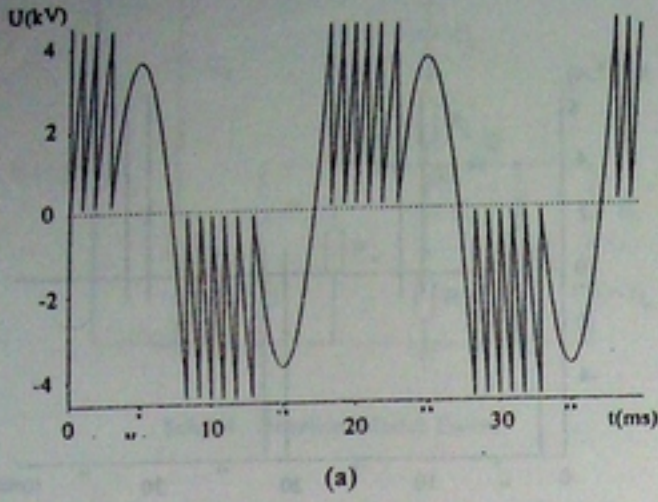


(c)

Şekil 5. Farklı boşluk çapları ( $2r$ ) için boşluk uçlarındaki gerilimin zamanla değişimi  
a)  $2r=1$  mm  
b)  $2r=2$  mm  
c)  $2r=3$  mm

Şekil 6. Farklı boşluk çapları ( $2r$ ) için boşluk üzerindeki akımın zamanla değişimi  
a)  $2r=1$  mm  
b)  $2r=2$  mm  
c)  $2r=3$  mm





Şekil 7. Farklı boşluk yükseklikleri ( $h$ ) için boşluk uçlarındaki gerilimin zamanla değişimi

- a)  $h=1,00$  mm
- b)  $h=0,10$  mm
- c)  $h=0,01$  mm

Şekil 8. Farklı boşluk yükseklikleri ( $h$ ) için boşluk üzerindeki akımın zamanla değişimi

- a)  $h=1,00$  mm
- b)  $h=0,10$  mm
- c)  $h=0,01$  mm



olan elektriksel kısmi boşalma olayı çekiciliğini sürdürmektedir. Yapay sinir ağlarının ölçme ve değerlendirme aşamalarında kullanılmaları çalışmalarının başarılı olabilmesi, bu çalışmada olduğu gibi, yan çalışmalardan elde edilen bilgilerin çokluğu ve doğruluğu ile orantılıdır.

Uçlarına yüksek gerilim uygulanmış ve içinde dairesel silindirik hava boşluğu bulunan bir katı yalıt-kandaki kısmi boşalma davranışına boşluk boyutlarının etkisinin bilgisayar yardımıyla incelendiği bu çalışmada, ileri çalışmalarda veri artışına bir katkıda bulunacaktır. Boşluk çapının büyümesi ile boşluk uçlarındaki gerilimin değişmemesi, buna karşılık akımın artması; boşluk yüksekliğinin azalması ile boşluk içinde boşalma sıklığının artması, buna karşılık akımın fazla değişmemesi sonuçları genişletilerek kullanılabilir.

### Teşekkür

Yazarlar, EMTP nin kullanımı aşamasındaki katkılarından dolayı Y.Doç.Dr.Aydoğan ÖZDEMİR'e teşekkür ederler.

### KAYNAKÇA

- /1/ KREUGER, F.H., Discharge Detection in High Voltage Equipment, Temple Press Books Ltd., London, 1964.
- /2/ MASON, J.H., Discharge Detection and Measurement, Proc.IEE, Vol.112, No.7, pp.1407-1423, July 1965.
- /3/ NATTRASS, D.A., Partial Discharge Measurement and Interpretation, IEEE Electr. Insul. Magazine, Vol.4, No.3, pp.10-23, May/June 1988.
- /4/ DEVINS, J.C., The Physics of Partial Discharge in Solid Dielectrics, IEEE Trans. on Electr.Insul., Vol.EI-19, No.5, pp.475-495, Oct. 1986.
- /5/ MELVILLE, D.R.G., SALVAGE, B., STEINBERG, N.R., Discharge Detection and Measurement Under Direct Voltage Conditions: Significance of Discharge Magnitude, Proc. IEE, Vol.112, No.9, pp.1815-1817, Sep. 1965.
- /6/ OKAMOTO, T., TANAKA, T., Novel Partial Discharge Measurement Computer-Aided Measurement Systems, IEEE on Electr. Insul., Vol.EI-21, No.6, pp.1015- 1019, Dec. 1986.
- /7/ GULSKI, E., KREUGER, F.H., Computer Aided Analysis of Discharge Patterns, Phys. D: Appl. Phys.23, pp.1569-1575, 1990.
- /8/ SCHIFANI, R., A Novel Histogram for Partial Discharge Signals in HV Insulating Systems,IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol.EI-21, No.1, pp.89-99, Feb. 1986.
- /9/ HALL, H.C., RUSSEK, R.M., Discharge Inception and Extinction in Dielectric Voids, Proc.IEE, Vol. 101, No.79, pp.47-55, Feb. 1954.
- /10/ BANIA, J.W., RAGHUVVEER, R., A New Approach to Define Internal Partial Intensity, IEEE Trans. on Electr.Insul., Vol.EI-21, No.1, pp.79-87, Feb. 1986.
- /11/ DOMMEL, H.W. et al, Electromagnetic Transients Program Reference Manual, EMTP Theory Book, Bonneville Power Administration, Portland, Ore., Aug. 1986.
- /12/ Alternative Transient Program (ATP) Rule Book, Leuven EMTP Center (LEC), Belgium, 1987.
- /13/ GÖNENÇ,İ., Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1, Statik Elektrik Alanı ve Basit Elektrod Sistemleri, İTÜ Kütüphanesi Sayı:1085, İstanbul, 1977.



Can YENİDOĞAN, 1966 yılında İstanbul'da doğdu. 1988 yılında İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisliği Bölümü (EMB)den Müh., 1991 de İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE) Elk. Müh. programından Y.Müh. olarak mezun oldu. YENİDOĞAN, 1991 yılından beri İTÜ FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1990 dan beri de İTÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



Özcan KALENDERLİ, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İTÜ EEF'den 1978 de Müh., 1980 de Y.Müh. olarak mezun oldu. 1990 da İTÜ FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını tamamladı. İTÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda 1979-1980 arasında Müh., 1980-1991 arasında Y.Müh. olarak çalışan KALENDERLİ, 1991 den beri aynı Bölümde Y.Doç. olarak görev yapmaktadır. KALENDERLİ, çalışmalarını ağırlıklı olarak yüksek gerilim tekniği konularında sürdürmektedir.