

HAVADA DOĞRU GERİLİMDE ENGELLİ ATLAMA

Alper KARA¹ Özcan KALENDERLİ²

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
34469 Maslak, İstanbul

¹e-posta: alper@elk.itu.edu.tr ²e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, pozitif ve negatif doğru gerilimde, çubuk-düzlem elektrot sisteminde, elektrotlar arasında bir engelin (paravananın) bulunması durumunda havadaki atlama gerilimini incelemek amacıyla yapılan deneysel çalışmanın bilgisi sunulmuştur. Deneylerde, atlama geriliminin, elektrot açıklığı, engelin konumu, yapısı, boyutları ve geometrisi gibi etkenler ile ilişkisi incelenmiştir. Her durumda az veya çok engelin etkisi görülmüştür. Negatif doğru gerilimde atlama, pozitif doğru gerilimdekenden daha yüksek gerilimlerde meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzgün olmayan alan, Paravana, Atlama gerilimi, Doğru gerilim.

1. GİRİŞ

Yüksek doğru gerilim, hem güç iletiminde hem de yüksek gerilimin endüstriyel uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir gerilim türüdür. Pozitif veya negatif kutuplu olabilen bu gerilimde yalıtkan malzemelerin davranışları güvenli yalıtım açısından önemlidir.

Yalıtımın delinme gerilimini yükseltmek amacıyla genellikle yalıtkan engeller (paravanalar) kullanılır. Engeller yalıtkan bir malzemeden ince levhalar şeklinde imal edilirler ve elektrotlar arasında eş potansiyel yüzeylerden biri boyunca yerleştirilirler. Engellerin kendi delinme gerilimlerinin, sistemin atlama gerilimi üzerinde tek başına büyük bir etkisi yoktur. Uygulanan gerilim atlama gerilimine yaklaştığında engelin elektriksel dayanımı önemli bir rol oynamaya başlar. Kullanılan engellerde delinmeler olabilir. Bu nedenle meydana gelen delinmeler yüzünden ön boşalma kanalları oluşur ve sistemde delinme görülebilir.

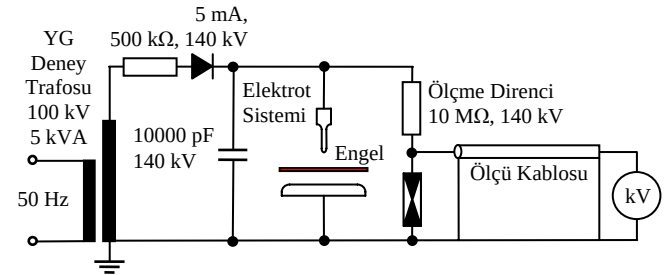
Yüksek doğru gerilimde kullanılan yalıtımların gerilim altındaki davranışlarını saptamak amacıyla ile yapılan araştırmalarda, çubuk-düzlem elektrot düzeni sıkça kullanılır. Düzgün olmayan alana sahip olan bu tür bir elektrot düzeni, uygulamada sıkça karşılaşılan alan durumuna uyması nedeniyle çokça tercih edilir. Genelde bu elektrot sistemiyle, arada farklı yalıtkanların olduğu, farklı gerilim türleri ve ortam koşulları altında atlama ve delinme gerilimini belirleme ve davranış izleme çalışmaları çok yaygındır. Bu çalışmalar içinde, elektrotlar arasında

paravana adı verilen engellerin bulunması durumunda yapılan çalışmalar daha azdır [1-13]. Bu çalışmada, bu durumun ilgi çekiciliği ile, bir çubuk-düzlem elektrot düzeninde araya farklı konumda, kalınlıkta, dielektrik özellikte engeller bulunması durumunda, kutup etkisini de inceleyebilmek için pozitif ve negatif doğru gerilimde, atlama deneyleri yapılmış, havada engelli atlamada engelin etkisi araştırılmıştır.

2. DENEY DÜZENİ

Atlama gerilimi deneylerinde, bir çubuk düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Çubuk elektrot, 70 mm uzunluğunda, 1 mm yarıçapında yarım küresel uca sahip bir elektrottur. Düzlem elektrot ise kenarları yuvarlatılmış 75 mm çapında, 10 mm kalınlığında disk şeklinde bir elektrottur. Engelli atlamayı incelemek amacıyla deneylerde PVC (polivinil klorür) malzemeden imal edilmiş, 3 mm sabit kalınlıklı, 37,5 – 75 – 150 ve 195 mm çaplara sahip dört farklı çapta disk şeklinde paravana kullanılmıştır.

Doğru gerilimle yapılan deneylerde Şekil 1’de devresi gösterilen yüksek gerilim düzeni kullanılmıştır. Çubuk elektroda negatif veya pozitif yüksek doğru gerilim uygulanmış, düzlem elektrot ise topraklanmıştır. Atlama gerilimleri, deney devresine 10 MΩ’luk bir ölçme direnci üzerinden bağlanan bir yüksek doğru gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 1. Doğru gerilim deney devresi

Önce, söz konusu engellerden biri, düzlem elektrot üzerine yerleştirilerek, farklı elektrot açıklıklarında atlama deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada, elektrot açıklığı sabit tutulmuş, engelin konumu değiştirilerek, farklı engel konumlarında deneylere devam edilmiştir.

Eldeki paravanalardan birinin düzlem elektrot üzerine yerleştirdiği durumda ölçümler, sırasıyla 10, 20, 30, 40 ve 50 mm elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Paravanaların yalıtkan bir destek yardımıyla havada asılı olarak konumlandırıldığı durumda ise elektrot açıklığı 50 mm’de sabit tutulmuş ve paravananın düzlem elektroda olan uzaklığı sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 mm olarak değiştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır.

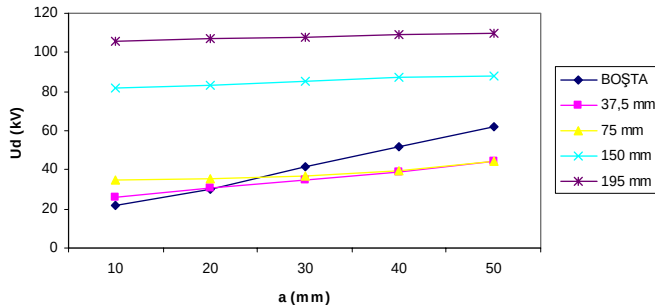
Deneyler, 761 ± 1 mmHg atmosfer basıncına, $19 \pm 1^\circ\text{C}$ oda sıcaklığına, % 65 bağıl neme sahip kuru hava ortamında yapılmıştır. Denenen her bir durum için, 10 kez atlamada ölçülen atlama gerilimi değerlerinin aritmetik ortalaması, atlama gerilimi olarak alınmıştır. Ölçümler sırasında, ortamın ve paravananın elektriksel yüklenmesinden kaynaklanan etkileri en aza indirmek amacıyla, birbirini takip eden iki ölçüm arasında 1 dakika beklenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Pozitif Doğru Gerilim

3.1.1. Engelin Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum

Pozitif doğru gerilimle yapılan deneylerde, öncelikle engelin olmadığı durumda bir “Boşta” eğrisi oluşturularak karşılaştırma yapma olanağı sağlanmıştır (Şekil 2).

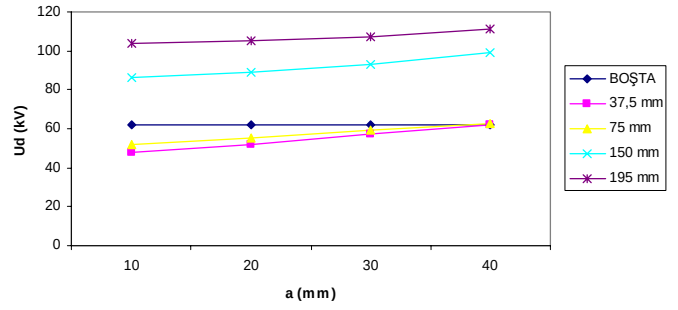


Şekil 2. Pozitif doğru gerilimde farklı çaplarda PVC engellerin düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda elektrot açıklığı ile atlama geriliminin değişimi

Şekil 2’de sunulan deney sonuçlarından 37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin yaklaşık 25 mm elektrot açıklığına kadar atlama gerilimini arttırdığı, daha büyük açıklıklarda ise olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

3.1.2. Engelin Havada Asılı Olduğu Durum

Elektrot açıklığının 50 mm olarak sabit tutulduğu, engelin elektrotlar arasındaki konumunun değiştirilerek atlama gerilimlerinin saptandığı deneylerin sonuçları, Şekil 3’te verilmiştir. 37,5 ve 75 mm çapındaki PVC engellerin, ancak, alt elektrottan 40 mm uzaklaştığı anda atlama gerilimini yükselttiği Şekil 3’ten açıkça görülmektedir.

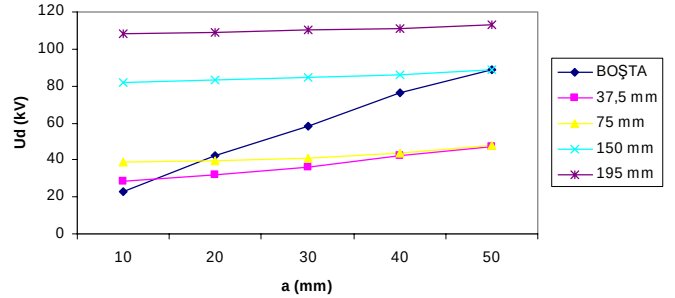


Şekil 3. Pozitif doğru gerilimde farklı çaplarda PVC engellerin havada asılı olduğu durumda, engelin düzlem elektrottan uzaklığı ile atlama geriliminin değişimi

3.2. Negatif Doğru Gerilim

3.2.1. Engelin Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum

Düzlem elektrot üzerine yerleştirilen engellerin negatif doğru gerilimde atlama gerilimi üzerindeki etkisini incelemekten önce, daha önceki deneylerde olduğu gibi, her bir açıklıkta atlama gerilimleri ölçülerek engelsiz durum için bir eğri oluşturulmuştur (Şekil 4). Ortaya çıkan bu eğrinin, pozitif doğru gerilim deneylerinden çıkarılan aynı eğriye göre daha büyük bir hızla artış gösterdiği ve daha yüksek değerlere ulaştığı Şekil 2, 3 ve 4’ten görülmektedir.

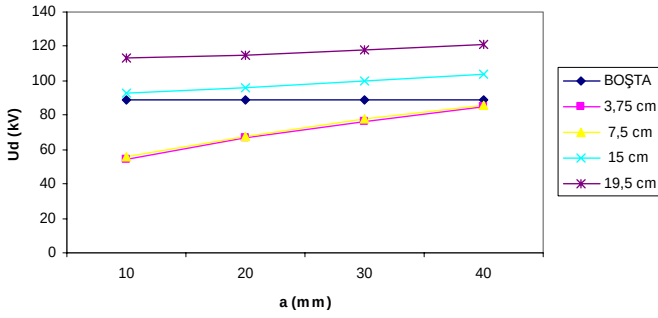


Şekil 4. Negatif doğru gerilimde farklı çaplarda PVC engellerin düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda elektrot açıklığı ile atlama geriliminin değişimi

37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin yalnızca küçük açıklıklarda, 150 ve 195 mm çapındaki engellerin ise her durumda sistemin delinme dayanımını arttırdıkları Şekil 4’ten açıkça görülmektedir.

3.2.2. Engelin Havada Asılı Olduğu Durum

Negatif doğru gerilimde, 37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin ancak, alt elektrottan 1 mm ve daha uzağa yerleştirildiğinde etki etmeye başladığı Şekil 5’ten görülebilir. 150 ve 195 mm çapındaki engellerin ise elektrotlar arasındaki her konumda atlama gerilimini arttırdığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Negatif doğru gerilimde farklı çaplarda PVC engellerin havada asılı olduğu durumda, engelin düzlem elektrottan uzaklığı ile atlama geriliminin değişimi

Genel olarak, paravanaların havada asılı olduğu durumlarda elde edilen gerilim değerlerinin, düzlem elektrot üzerine yerleştirildikleri duruma göre daha yüksek olduğu, gerek pozitif gerekse negatif doğru gerilim deneylerine ait grafiklerden açıkça görülmektedir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Düzgün olmayan alanda, atlama gerilimi üzerinde kutbiyetin etkisini gözlemlemek ve karşılaştırma yapabilmek için pozitif ve negatif doğru gerilimle atlama deneyleri yapılmıştır.

Pozitif doğru gerilim deneylerinden ortaya çıkan sonuçlar incelenecek olursa, düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 ve 195 mm çapındaki engeller her durumda atlama gerilimini yükseltirken, 37,5 ve 75 mm çapındaki engeller 50 mm'lik elektrot açıklığının ancak belirli bölgelerinde atlama gerilimini yükseltici yönde etki etmişlerdir. 37,5 ve 75 mm çaplı engeller, elektrot açıklığı 25 mm'ye varana kadar etkili olabilmiş, daha büyük açıklıklarda ise engelsiz duruma göre havanın daha erken delinmesine neden olmuşlardır.

Engellerin havada yalıtkan bir destek yardımıyla asıldığı durumlarda ise, engeller üst elektroda yaklaştırıldıkça atlama gerilimini daha fazla yükselttikleri açıkça görülmektedir. Atlama geriliminin engelin ancak düzlem elektrottan 40 mm uzaklaştırıldığında engelsiz durumun üzerine çıkabildiği görülmektedir.

Negatif doğru gerilim deneylerinde, engelsiz durumda oluşturulan eğri, önceki durumlara göre çok daha hızlı bir şekilde artarak, 50 mm elektrot açıklığında 90 kV'a kadar ulaşmıştır. Dolayısıyla, engelli duruma ilişkin eğrilerin daha yavaş bir şekilde artış göstermesinin sonucu olarak, büyük elektrot açıklıkları için 37,5 ve 75 mm çapındaki engeller bu eğrinin çok altında yer almıştır. Öyle ki, 50 mm elektrot açıklığında bu engeller, aynı açıklık için engelsiz duruma ilişkin atlama gerilimi değerlerinin ancak % 50'sine ulaşabilmiştir. Düzlem elektrodun üzerinde iken, 37,5 mm

çapındaki engeller 15 mm, 75 mm çapındaki paravanalar ise 20 mm elektrot açıklığına kadar etkili olabilmişlerdir.

Engellerin havada asılı olduğu durumlar için, 37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin, negatif doğru gerilimde, neredeyse hiçbir atlama gerilimini yükseltici etkide bulunmadığı açıkça görülmektedir. Şekil 2, 3, 4 ve 5'ten, 150 ve 195 mm çapındaki engeller her konumda atlama gerilimini arttırırken, 37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin en üst seviye olan, çubuk elektroda 10 mm yaklaştırıldıkları durumda bile, engelsiz durumdaki sonuçların elde edilemediği görülmektedir.

Negatif doğru gerilimdeki atlama gerilimi değerleri, aynı açıklıklardaki pozitif atlama gerilimi değerleri ile karşılaştırıldığında, negatif durumdaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, gerilimin kutbunun atlama gerilimi üzerindeki etkisi ile ilgili ilkelerle uyumludur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düzgün olmayan alana sahip bir elektrot sistemi olan bir çubuk-düzlem elektrot sisteminde, doğru gerilimde, elektrotların arasına yerleştirilen engellerin atlama gerilimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla atlama deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, atlama geriliminin, elektrot açıklığı, engellerin konumu, yapısı, boyutları ve geometrisi gibi etkenler ile ilişkisi incelenmiştir.

Deneylerde, engeller düzlem elektrot üzerinde iken elektrot açıklığı 10 – 50 mm arasında, engeller havada asılı iken 50 mm sabit açıklıkta engelin konumu alt elektrottan 10 - 40 mm aralığında değiştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Düzgün olmayan alanlarda boşalma olaylarının incelenmesi sırasında görülmüştür ki, boşalma gerilimine etki eden birçok etkenin varlığı nedeniyle, kuramsal olarak, atlama gerilimini hesap edebilmek veya öngörmek çok zordur.
2. Deneylerde atlama geriliminin, engelli ve engelsiz durumlarda, elektrot açıklığının artırılmasıyla birlikte düzgün bir şekilde arttığı görülmüştür.
3. Düzgün olmayan alanlı elektrot düzenlerinde tam bir delinme olayı meydana gelmeden önce ortamda uzay yükleri belirlediği ve bu yüklerin dağılımının delinme gerilimini oldukça etkilediği anlaşılmıştır. Yalıtkan ince engellerin, alan dağılımını etkileyen bu uzay yüklerinin yayılmasını önleyici bir engel gibi davrandıkları, elektrotlar arasındaki konumlarına bağlı olarak, atlama gerilimini değiştirebildikleri ve bazı koşullarda bu değişimin bir hayli fazla olabildiği anlaşılmıştır.
4. Engellerin düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda, düzlem elektrot ile aynı veya daha küçük

yüzey alanına sahip engellerin, yalnızca çok küçük elektrot açıklıklarında bir engel görevi görebildiği anlaşılmıştır.

5. Engellerin havada asılı olduğu durumlarda, 37,5 ve 75 mm çapındaki engellerin ancak, çubuk elektroda çok yaklaştırıldıklarında atlama gerilimi üzerinde yükseltici etkiler göstermeye başladıkları görülmüştür.
6. Kullanılan elektrot sistemi için, 150 ve 195 mm çapındaki engellerin, atlama gerilimini engelsiz duruma göre büyük ölçüde yükselttiği ve tam bir engel görevi gördüğü anlaşılmıştır.
7. Kutbiyetin etkisi olarak, negatif doğru gerilimdeki atlama gerilimi değerleri, aynı koşullardaki pozitif doğru gerilimdeki atlama gerilimi değerlerinden daha yüksek ölçülmüştür.

Bu çalışmalara ek olarak, ortam sıcaklığının ve basıncının parametre olarak alınması, alanın düzgünlük derecesi değiştirilerek etkisinin incelenmesi ve malzeme türünün etkilerinin araştırılması ile çalışmalara devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. S. Naidu, V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, Third Ed. 2004.
- [2] L. Ming, M. Leijon, and T. Bengtsson, "Factors Influencing Barrier Effects in Air Gaps", *9th Int. Symposium on High Voltage Engineering*, Graz, Austria, Vol. 2, pp. 2168-1 - 2168-4, 1995.
- [3] D. Koenig and H. Lautenschlaeger, "The Barrier Effect in Air and SF₆-insulated Non-uniform Electrode Configurations", *7th Int. Conf. Gas Discharges and their Applications*, London, pp. 292-295, 1982.
- [4] F. V. Topalis and I. A. Stathopoulos, "Barrier Effect on Electrical Breakdown in Non-uniform Small and Medium Air Gaps", *IEE 6th Int. Conf. Dielectric Materials, Measurements and Applications*, Manchester, pp. 439-442, 1992.
- [5] F. V. Topalis and I. A. Stathopoulos, "Barrier Effect on Electrical Breakdown in Air Gaps: A Theoretical Approach" *9th Int. Symp. on High Voltage Engineering*, Graz, Austria, Vol. 2, pp. 2147-1 - 2147-4, 1995.
- [6] S. Sebo, J. Kahler, S. Hutchins, C. Meyers, D. Oswiecinski, A. Eusebio, and W. Que, "The Effect of Insulating Sheets (Barriers) in Various Gaps the Study of AC Breakdown Voltages and Barrier Factors", *11th Int. Symposium on High Voltage Engineering*, London, Vol. 3, pp. 144-147, 1999.
- [7] F. V. Topalis and M. G. Danikas "Breakdown in Air Gaps with Solid Insulating Barrier under Impulse Voltage Stress" *Facta Universitatis, Ser: Electrical Engineering*, Vol. 18, pp. 87-104, Apr. 2005.
- [8] I. Fofana, A. Beroul and A. Boubakeur, "Influence of Insulating Barriers on Positive Long Air Gaps", *The 11th High Voltage Engineering Symposium*, London, Vol. 3, p. 321, 22-27 August 1999.
- [9] M. Nemamcha, "Effect of a Dielectric Plate on the Discharge in a Needle to Plane System Submitted to AC Voltage", *The 11th High Voltage Engineering Symposium*, London, Vol. 3, p. 175, 22-27 August 1999.
- [10] A. Zouaghi and A. Beroul, "Discharge Structure and Dielectric Strength of Long Oil Gaps in the Presence of an Insulating Barrier", 1997 IEEE Annual Report – Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Minneapolis, pp. 660-663, 19-22 Oct. 1997.
- [11] A. Kara, E. Önal, Ö. Kalenderli, K. Mardikyan, "The Effect of Insulating Barriers on AC Breakdown Voltage in Inhomogeneous Field", *IEEE MELECON 2006 Mediterranean Electrotechnical Conference*, Málaga, Spain, pp. 1206-1208, 16-19 May 2006.
- [12] M. Abdel-Salam, H. Singer and A. Ahmed, "Effect of the Dielectric Barrier on Discharges in Non-uniform Electric Fields, J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 34, pp. 1219-1234, 2001.
- [13] M. Abdel-Salam, H. Singer and A. Ahmed, "On the Static Behaviour of Dielectric Barrier Discharges in Uniform Electric Fields, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 34, pp. 1974-1981, 2001.