

HAVADA ALTERNATİF 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, endüstriyel frekanslı alternatif 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.

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

1. GİRİŞ

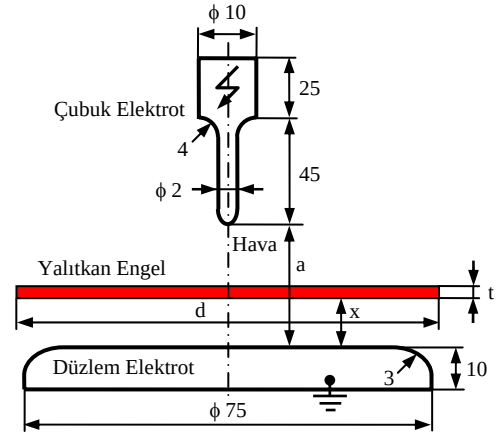
Yalıtkan malzemelerin özellikleri ve yalıtıma etkisi yüksek gerilim teknolojisi açısından büyük önem taşır. Bütün gelişmelere rağmen, bu ortamlarda gözlenen fiziksel olaylar teorik yollarla tamamen açıklanamadığından, deneyler bu alandaki bilimsel araştırmaların esasını oluşturur.

Yüksek gerilimde uygulanan 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 [1-8]. Bu çalışmada, bu durumun ilgi çekiciliği ile, bir çubuk-düzlem elektrot düzeninde araya farklı konumda, kalınlıkta, dielektrik özellikte paravanalar bulunması durumunda, endüstriyel frekanslı alternatif gerilimde, atlama deneyleri yapılmış, havada engelli atlamada engelin etkisi araştırılmıştır.

2. DENEY DÜZENİ

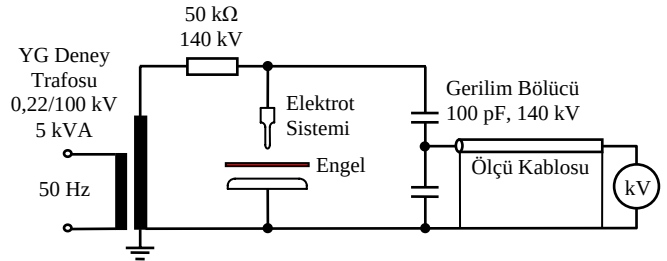
Atlama gerilimi deneylerinde, Şekil 1'de biçimi ve boyutları verilen çubuk düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Çubuk elektrot, 1 mm yarıçapında yarım küresel uca sahip bir elektrottur. Düzlem elektrot ise kenarları yuvarlatılmış disk

şeklinde bir elektrottur. Engelli atlamayı incelemek amacıyla deneylerde PVC (polivinil klorür) malzemeden imal edilmiş, $t = 3$ mm sabit kalınlıklı, $d = 37,5 - 75 - 150$ ve 195 mm çaplara sahip dört farklı çapta disk şeklinde paravana kullanılmıştır.



Şekil 1. Kullanılan çubuk-düzlem elektrot sistemi

50 Hz frekanslı alternatif gerilimle yapılan deneylerde Şekil 2'de devresi gösterilen yüksek gerilim düzeni kullanılmıştır. Çubuk elektroda yüksek gerilim uygulanmış, düzlem elektrot ise topraklanmıştır. Atlama gerilimleri, deney devresine kapasitif bir gerilim bölücü üzerinden bağlanan bir yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 2. Alternatif gerilim deney devresi

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

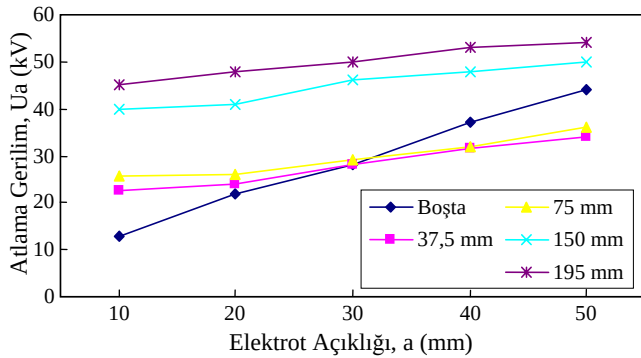
Eldeki paravanalardan birinin düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda ölçümler, sırasıyla $a = 10, 20, 30, 40$ ve 50 mm elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Paravanaların yalıtkan bir destek yardımıyla havada asılı olarak konumlandırıldığı durumda ise elektrot açıklığı 50 mm’de sabit tutulmuş ve paravananın düzlem elektroda olan uzaklığı sırasıyla $x = 10, 20, 30$ 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. Paravananın Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum

Paravanaların atlama gerilimi üzerindeki etkisini görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla öncelikle elektrotlar arasında paravanaların bulunmadığı durumda ölçmeler yapılmıştır. Bu ölçmeler yardımıyla oluşturulan $U_a = f(a)$ eğrisi, Şekil 3’te “Boşta” adlı eğri ile gösterilmiştir.



Şekil 3. Alternatif gerilimde PVC engelin düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda atlama gerilimleri

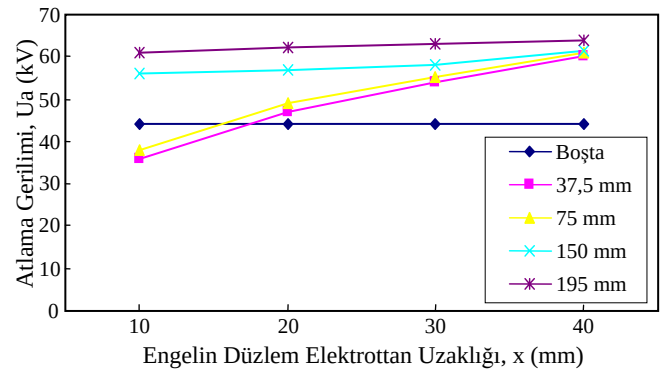
Şekil 3 incelenecek olursa, her durum için elektrot açıklığının artmasıyla birlikte atlama geriliminin de arttığı ve paravanalı durumlarda bu artışın, paravanasız duruma göre daha yavaş gerçekleştiği görülür.

150 ve 195 mm çapındaki paravanaların her elektrot açıklığında atlama gerilimini arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat, 37,5 ve 75 mm çapındaki paravanaların, 30 mm’nin altındaki elektrot açıklıklarında atlama gerilimini azalttığı, ancak, 30 mm açıklıktan itibaren olumlu etkiler göstermeye başladıkları grafiklerde açıkça görülmektedir.

3.2. Paravananın Havada Asılı Olduğu Durum

Deneylerin ikinci kısmında, elektrotlar arasına yerleştirilen paravanaların, havada farklı konumlarda bulunduklarında atlama gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Elektrotlar arasındaki açıklık 50 mm olarak sabit tutularak, paravanalar düzlem elektrottan itibaren, sırasıyla $10, 20, 30, 40$ mm uzaklığa yatay olarak yerleştirilmiştir. Burada da, öncelikle elektrotların arasında paravanaların olmadığı durumda yapılan ölçümlerle bir “Boşta” eğrisi oluşturularak, grafiklerde paravanaların etkisinin daha iyi görülmesi sağlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Alternatif gerilimde PVC engelin havada asılı olduğu durumda atlama gerilimleri

Şekil 4 incelenecek olursa, paravanaların üst elektroda yaklaştırılmasıyla birlikte atlama gerilimi değerlerinin düzgün bir şekilde artış gösterdiği ve ilk durumdakine benzer şekilde $37,5$ ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak 20 mm uzaklıktan itibaren etkili olmaya başladığı görülmüştür.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Paravanaların düzlem elektrodun üzerinde ve havada asılı olduğu durumlarda, atlama gerilimi değerlerinin artan elektrot açıklığıyla birlikte arttığı görülmektedir. Paravanaların düzlem elektrodun üzerinde olduğu duruma ait grafiklerden, $37,5$ ve 75 mm çapındaki paravanaların, küçük elektrot açıklıklarında atlama gerilimini arttırdıkları, belirli bir açıklıktan itibaren, önce herhangi bir etki göstermedikleri, daha sonra ise olumsuz yönde etkilemeye başladıkları görülmektedir. Aynı şekillerden, 150 ve 195 mm çapındaki paravanaların bütün elektrot açıklıklarında atlama gerilimini büyük ölçüde arttırdıkları anlaşılmaktadır. Paravanalı ve paravanasız durumlarda atlama gerilimleri arasındaki farklar, en küçük elektrot açıklığında yaklaşık 3 kat iken, elektrot açıklığının artmasıyla birlikte giderek azalarak, en büyük elektrot açıklığında atlama gerilimi değerleri arasındaki bu fark % 10’a kadar inmiştir.

Paravanaların havada asılı olduğu durumda, atlama geriliminin elektrot açıklığıyla birlikte artışının daha yavaş olduğu görülmektedir. 37,5 ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak, alt (düzlem) elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirildiklerinde atlama gerilimini arttırdıkları anlaşılmaktadır. Burada da, 150 ve 195 mm çapındaki paravanalar, yapılan bütün ölçümlerde atlama gerilimini büyük ölçüde yükseltmişlerdir. 10 mm elektrot açıklığında % 30 oranında görülen bu artış, 50 mm elektrot açıklığında % 50'ye kadar varmıştır.

Deneylerde paravana geometrisinin etkisini incelemek amacıyla daire şekinden başka kare şeklinde paravanalarla da çalışılmıştır. Genel olarak kare ve daire şeklindeki paravanaların aynı boyutlar için benzer etkiler gösterdiği görülmüştür. Yapılan deneylerde, kare şeklindeki paravanaların köşeli yapılarından dolayı, çok küçük farklarla da olsa, daire şeklindeki paravanalara oranla daha düşük gerilimlerde atlamaya neden oldukları saptanmıştır. Sonuç olarak, paravana geometrisinin etkisinin, boyut etkisi yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı görülmüştür.

Yapılan literatür taramalarında karşılaşılan sonuçların, deney sonuçları ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Alternatif gerilimde delinme olayı pozitif yarı dalgada olduğundan burada verilen açıklamalar pozitif doğru gerilimdekine benzer olacaktır. Düzgün olmayan alanlı elektrot sistemlerinde ortaya çıkan bu durumun gerilimin kutbiyeti ile ilgili olduğu diğer araştırmacılar tarafından da saptanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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

Çubuk-düzlem elektrot sistemi ile yapılan deneylerde, paravanalar düzlem elektrot üzerinde iken elektrot açıklığı 10 – 50 mm arasında, paravanalar havada asılı iken 50 mm sabit açıklıkta paravananın konumu alt elektrottan 10 - 40 mm aralığında değiştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Düzgün olmayan alanda boşalma olaylarının incelenmesi sırasında görülmüştür ki, boşalma gerilimine etki eden birçok etkenin varlığı nedeniyle, kuramsal olarak, delinme gerilimi değerlerini hesap edebilmek veya öngörmek çok zordur.
2. Deneylerde atlama geriliminin, paravanalı ve paranasız durumlarda, elektrot açıklığının artmasıyla birlikte düzgün bir şekilde arttığı görülmüştür.

3. Düzgün olmayan alanlı elektrot düzenlerinde tam bir delinme olayı meydana gelmeden önce ortamda uzay yükleri belirdiği ve bu yüklerin dağılımının delinme gerilimini oldukça etkilediği anlaşılmıştır. Yalıtkan paravanaların, alan dağılımını etkileyen bu uzay yüklerinin yayılmasını önleyici bir engel gibi davrandıkları, elektrotlar arasındaki konumlarına bağlı olarak, delinme gerilimini değiştirebildikleri ve bazı koşullarda bu değişimin bir hayli fazlaca olabildiği anlaşılmıştır.
4. Paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda, düzlem elektrot ile aynı veya daha küçük yüzey alanına sahip yalıtkan paravanaların, yalnızca çok küçük elektrot açıklıklarında bir ekran görevi görebildiği anlaşılmıştır.
5. Paravanaların havada asılı olduğu durumlarda, 37,5 ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak, çubuk elektroda çok yaklaştırıldıklarında atlama gerilimi üzerinde yükseltici etkiler göstermeye başladıkları görülmüştür.
6. Kullanılan elektrot sistemi için, 150 ve 195 mm çapındaki silindirik paravanaların, atlama gerilimini paranasız duruma göre büyük ölçüde yükselttiği ve tam bir ekran görevi gördüğü anlaşılmıştır.

Yukarıda özetle sonuçları verilen bu çalışma, bu alandaki uluslararası deneysel araştırmaların bir devamı şeklindedir. Bu çalışmalara ek olarak, ortam sıcaklığının ve basıncının parametre olarak alınması, alanın düzgünsüzlük derecesi değiştirilerek etkisinin incelenmesi ve malzeme türünün etkilerinin araştırılması ile çalışmalara devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] F. V. Topalis and I. A. Stathopoulos, "Barrier Effect on Electrical Breakdown in Non-uniform Small and Medium Air Gaps", *IEEE 6th Int. Conf. Dielectric Materials, Measurements and Applications*, Manchester, pp. 439–442, 1992.
- [4] F. V. Topalis and I. A. Stathopoulos, "Barrier Effect on Electrical Breakdown in Air Gaps: A Theoretical Approach" *9th Int. Symposium on High Voltage Engineering*, Graz, Austria, Vol. 2, pp. 2147-1 - 2147-4, 1995.
- [5] S. Sebo, J. Kahler, S. Hutchins, et al., "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.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.