

BÜYÜK AÇIKLIKLARDA ELEKTRİKSEL BOŞALMA OLAYI

Şule EMRE

İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Gümüşsuyu / İSTANBUL

Özcan KALENDERLİ

İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Gümüşsuyu / İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada havada, normal atmosfer basıncında, büyük açıklıklarda, düzgün alan içinde bulunan çubuk-çubuk elektrot sisteminde boşalma olayları incelenmiştir. Bu amaçla birbirine paralel iki düzlem elektrot arasına düşey konumda çubuk-çubuk elektrot sistemi yerleştirilerek kurulan model düzen üzerinde artı ve eksi kutbıyetli darbe gerilimleri ile bir dizi deney yapılmış ve deneylerde düzlem elektrotlar arası açıklık ve üstteki çubuk elektrodun boyu ve yeri sabit kalmak üzere alttaki çubuk elektrodun boyu ve yeri değiştirilerek atlama geriliminin değişimi ve boşalmanın oluşumu izlenmiştir. Atlama gerilimi değişiminin alttaki çubuk elektrodun boyunun değişimi ile ters orantılı, konumunun değişimi ile orantılı olduğu saptanmıştır. Boşalma olaylarının alttaki çubuk elektrodun belli bir uzaklığından sonra çubuk-düzlem elektrotlar arasında da olduğu gözlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, we have been investigated the discharge phenomena between rod-rod electrode systems in the uniform field in long air gaps at atmospheric pressure. Therefore, rod-rod electrode systems have been located between two parallel plane electrodes and experiments are carried out by applying the impulse voltages in positive and negative polarities in the high-voltage laboratory. In these experiments, the position and the height of the lower rod electrode have been changed. We obtained the sparkover voltages and observed the development of discharges. It is observed that variations of sparkover voltages are proportional and inverse proportionally to the height and position of lower rod electrode respectively, and the discharges may also occur between the rod-plane electrodes.

1. GİRİŞ

Büyük açıklıklarda boşalma olaylarının oluşumunun ve gelişiminin küçük açıklıklardaki boşalma olaylarından farklılıklar göstermesi bu olayın incelenmesi üzerine çalışmaları arttırmıştır [1]-[4]. Bu çalışmada da düzgün alan içine yerleştirilmiş çubuk - çubuk elektrot sisteminde, büyük açıklıklarda elektriksel boşalma olayları kuramsal ve deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen durum, büyük açıklıklarda boşalma türünün en belirgin örneği olan yıldırım boşalmasına benzemektedir. Bu durum göz önüne alınarak kullanılan deney düzeni ile yıldırımın yeryüzündeki binalara düşmesi modellenmiş ve bu model üzerinde deneyler yinelenerek sonuçları bu çalışmada verilmiştir. Deneylerde elektrot açıklığı, elektrot konumu ve uygulanan gerilimin kutbiyeti değişken olarak alınmıştır. Deneysel çalışmada ele alınan durum kuramsal olarak kanal boşalması kuramı ile açıklanabilir. Bu nedenle incelenen durumun kuramsal değerlendirilmesi bakımından öncelikle bu kuram hakkında bilgiler verilmiştir.

2. KANAL BOŞALMA TEORİSİ

Basınç (p) ile elektrot açıklığı (a) çarpımının ($p.a$) 500 cm.mmHg'dan büyük olduğu yüksek basınçta (atmosfer basıncı veya daha yüksek) ve büyük açıklıklarda, boşalma olayları, kanal boşalma teorisi ile açıklanabilmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan elektrot sistemi, düzlem elektrotlar arasına yerleştirilmiş büyük açıklıklı çubuk-çubuk elektrot sistemi olup olayın havada ve atmosfer basıncında incelenmesi nedeniyle de sistemin boşalma olayları bakımından davranışı düzgün olmayan alanda (çubuk - çubuk ve çubuk - düzlem durumlarında) kanal boşalması bilgileri ile açıklanabilir [5]-[8].

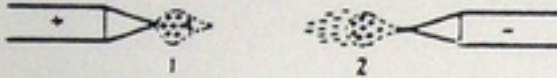
2.1. Düzgün Olmayan Alanda Kanal Boşalması

Düzgün olmayan alanda boşalma, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotta başlar ve bu elektrodun kutbiyetine bağlı olarak gelişir. Buna göre bu çalışmada incelenen durumda karşılaşıldığı gibi bir çubuk-düzlem elektrot sisteminde boşalma çubuk elektrotta başlar ve çubuk elektrodun kutbiyetine göre iki farklı durumda gelişir.

Eksi çubuk - artı düzlem elektrot durumunda, ilk elektron çığı doğrudan doğruya katottan başlar ve anot doğrultusunda büyür. Bu sırada çığ gövdesindeki artı iyonlar, elektrik alanını katot yönünde kuvvetlendirirken, anot yönünde de zayıflatırlar. Bunun sonucu, iyonlaşma bölgesi katoda doğru kayar, dolayısıyla kanalın anot yönünde gelişmesi güçleşir. Fakat buna rağmen boşalmanın başlaması isteniyorsa, gerilimin yükseltilmesi gerekir. Gerilimin yükseltilmesi durumunda, artı yüklerin anot yönündeki alanı zayıflatıcı etkisi azalır ve bir kanalın oluşması söz konusu olur. Kanal tamamen geliştikten sonra, çığ birinci iletken plazma ile dolar ve bu, katodun anoda doğru yaklaşması şeklinde etkir. Sonuçta plazmanın ucunda elektrik alanı tekrar büyür ve dolayısıyla bu bölgeden anoda doğru yayılan yeni bir elektron çığı meydana gelir. İkinci çığ belirli bir yolu gittikten sonra ikinci bir kanalcık meydana gelir ve bu, birinci kanal cığın anot ucuna kadar uzanır. Böylece olay, plazma ile dolan iletken kanal anoda varıncaya kadar sürer. Görülüyor ki, eksi çubuk elektrottan başlayan kanal, toplam kanalın yayılma doğrultusuna zıt yönde gelişen bir sıra kanalcıktan oluşur.

Artı çubuk - eksi düzlem elektrot durumunda ise boşalma olayı başka bir karakter gösterir. Burada birinci çığ, çubuk elektrottan belirli bir uzaklıkta oluşur ve çubuk elektroda doğru gelişir. Çığın elektronları artı çubuk elektrotta nötrale olurken, artı iyonlar da eksi düzlem elektrot yönünde

elektrik alanını kuvvetlendirirler. Bundan sonra iyonlaşma bölgesi eksi düzlem elektroda doğru kayar ve kanalın gelişmesi kolaylaşır. Burada ikinci bir çığın meydana gelmesi için birinci kanal parçasının tam gelişmesine, yani birinci elektron çığının tamamen plazma ile dolmasına gerek yoktur, çünkü birinci çığın artı yükleri iyonlaşma olasılığı büyük olan yüksek alan şiddetli bölgeyi içe doğru genişletir ve yeni elektron çığlarının oluşumunu kolaylaştırır. Sonunda ikinci çığın başı plazmanın başına kadar yaklaşır ve ikinci çığın elektronları da artı çubuk elektrotta nötralize olurlar. Böylece çubuk elektrottan itibaren iletken kanalın gelişmesi, büyük bir hızla, sürekli biçimde olur ve eksi çubuk durumundakinden daha küçük bir gerilime gereksinim gösterir. Bu durumda kanal, toplam kanalla aynı doğrultuda gelişen birçok kanal parçasından meydana gelir.



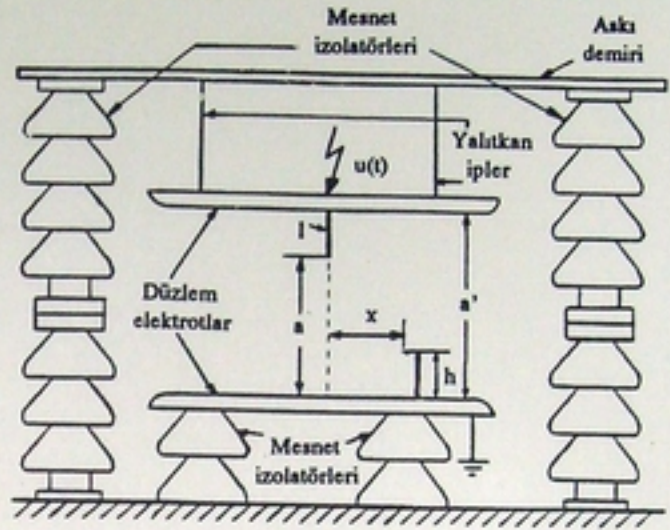
Şekil 1. Çubuk-çubuk elektrot sistemi.

Şekil 1'de görüldüğü gibi çubuk - çubuk elektrot sisteminde 1 bölgesinde elektronlar artı çubuk tarafından çekilip nötraliye olduklarından, bu bölgede pozitif yük fazlalığı vardır. Dolayısı ile artı çubuk, eksi çubuğa doğru uzamış gibi etkir. 2 bölgesinde ise elektronlar iyonlaşma bölgesinden hızla uzaklaşırlar ve bu bölgede yine artı yük fazlalığı olur. Fakat bu yük fazlalığı eksi çubuk elektrot önünde boşalmanın bütymesine engel olur. Sonuç olarak delinme gerilimi artı çubuk - eksi düzlem elektrot sistemindekenden büyük, fakat eksi çubuk artı düzlem elektrot sistemindekenden küçük olur. Bu çalışmada incelenen düzende alttaki çubuk elektrodun, üstteki çubuk elektrodun eksenine göre konumu değiştirildiğinde yukarıda kuramsal olarak açıklanan durumlar belirgin olarak gözlenmiştir.

3. DENEYLER

3.1. Deney Düzeni

Düzgün alan içine yerleştirilmiş çubuk-çubuk elektrot sisteminde büyük açıklıklarda elektriksel boşalma olaylarını incelemek amacıyla İ.T.Ü. Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda bir dizi deney yapılmıştır.



Şekil 2. Model düzen.

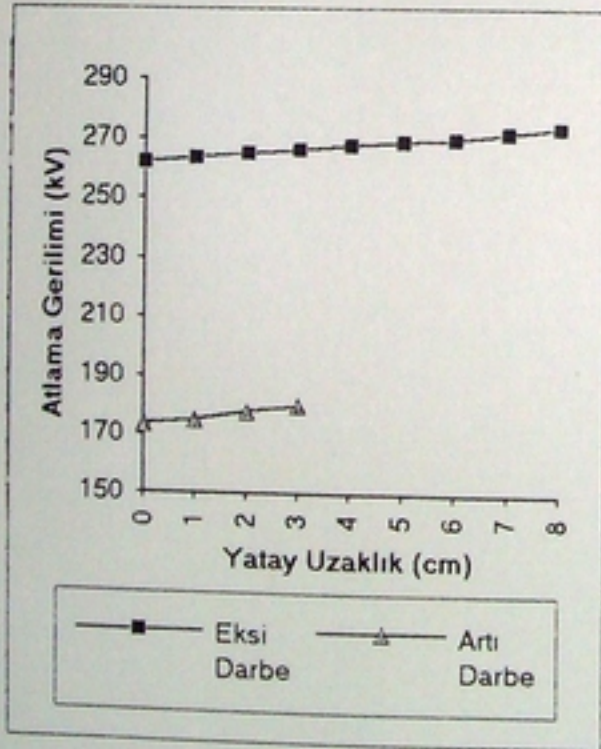
Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, 50 cm elektrot açıklıklı 100x185 cm² boyutlarında, birbirine paralel iki düzlem elektrot arasına 20 cm elektrot açıklıklı düşey konumda çubuk - çubuk elektrot sistemi yerleştirilmiştir (Şekil 2). Alttaki düzlem elektrot ile toprak arasına ölçü direnci bağlayabilmek amacıyla alttaki düzlem elektrot mesnet izolatörleri üzerine yerleştirilmiştir. Üstteki düzlem elektrot, yerden yalıtımını sağlamak ve elektrot açıklığını ayarlayabilmek amacıyla, dört adet 154 kV'luk mesnet izolatörü üzerine tutturulan askı demirlerine yalıtkan iplerle asılmıştır. Model düzen, darbe gerilimlerinin elde edildiği ve ölçüldüğü 1 MV, 50 kJ'luk Marx bağlamı tipinde altı katlı bir darbe üretici ve ölçme düzenine bağlanmıştır. Üstteki düzlem elektrodun ortasına yerleştirilmiş olan çubuk

elektrodun uzunluğu (l), atlamalar bu elektrodun ucundan olacak şekilde, deneysel olarak saptanmıştır.

Deneyler, kutbiyet etkisini incelemek amacıyla hem artı hem de eksi kutbiyetli, 1,2/50 μ s lik standart darbe gerilimleri ile yapılmıştır. Her deneyden önce sıcaklık, basınç ve nem ölçülerek ortam koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

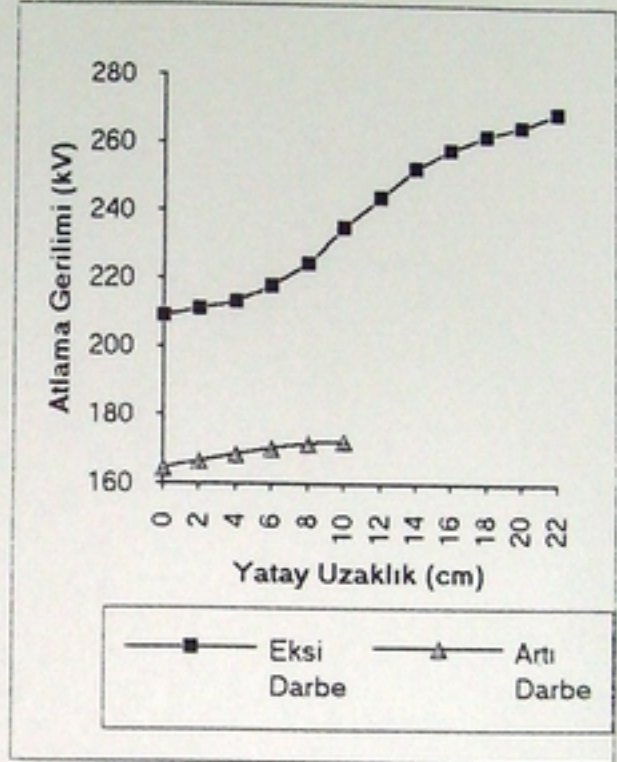
3.2. Deney Sonuçları

Bu model elektrot düzeninde düzlem elektrotlar arası açıklık (a') sabit tutulmuş, alttaki çubuk elektrodun yüksekliği (h) ve üstteki çubuk elektrodun eksenine göre uzaklığı (x) değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında alttaki çubuk elektrodun yüksekliği 1,3 cm ile 5,3 cm



Şekil 3. 1,3 cm yüksekliğindeki çubuk elektrot için artı ve eksi darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.

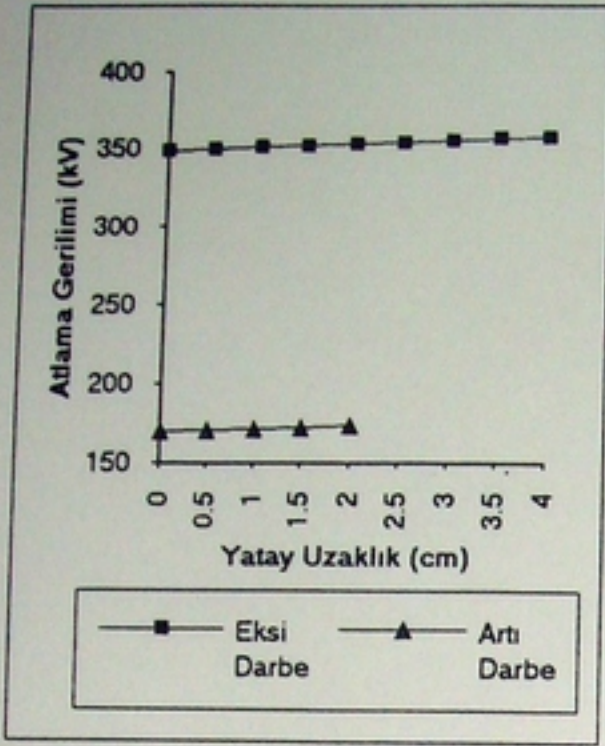
arasında değiştirilmiştir. Çeşitli yükseklikler ve uzaklıklar için çubuk elektrotlar arasındaki %50 atlama gerilimleri saptanmıştır. Bu amaçla model düzene her elektrot durumu için belirli sayıda darbe gerilimi uygulanmış ve uygulanan darbelerin %50 sinin deney düzeninde atlama oluşturduğu gerilimler ölçülmüştür. Boşalmalar çubuk elektrot ile düzlem elektrot arasında olmaya başladığında, deneye son verilmiştir.



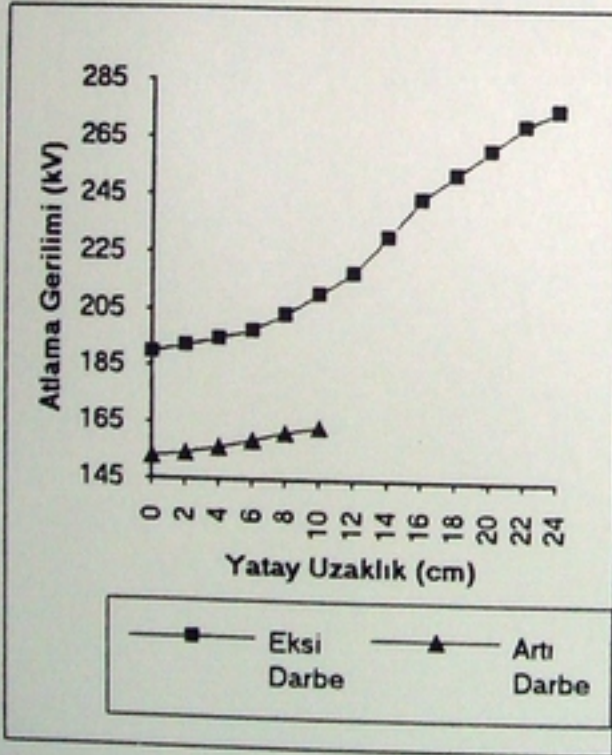
Şekil 4. 5,3 cm yüksekliğindeki çubuk elektrot için artı ve eksi darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.

Şekil 3'te 1,3 cm, Şekil 4'te 5,3 cm yüksekliğindeki çubuk elektrotlar için artı ve eksi kutbiyetli darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin, üstteki çubuk elektrodun eksenine olan yatay uzaklığa göre değişimleri verilmiştir.

Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde olay, yıldırım boşalmasının örneklenmesi gibi alınarak, alttaki çubuk elektrot yerine yine farklı yüksekliklerde bina biçiminde



Şekil 5. 1,3 cm yüksekliğindeki bina modeli elektrot için artı ve eksi darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.



Şekil 6. 5,3 cm yüksekliğindeki bina modeli elektrot için artı ve eksi darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.

elektrotlar yerleştirilmiştir. Burada üstteki düzlem elektrot yüklü bir yıldırım bulutunun, alttaki topraklı düzlem elektrot yeryüzünün ve üstteki çubuk elektrot da yıldırımın pilot boşalmasının karşılığı gibi düşünülmüştür. Çubuk - çubuk elektrot sistemi için yapılan çalışmalar bu durum için yinelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

4.SONUÇLAR

Düzlem elektrotlar arasına yerleştirilmiş çubuk - çubuk ve çubuk - bina modeli elektrotların, üstteki çubuk elektrodun boyu ve düzlem elektrotlar arası açıklık sabit kalmak üzere alttaki elektrotların çeşitli yükseklik ve açıklıkları için boşalma olaylarının, kutbiyetin etkisi de göz önünde bulundurularak deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Artı darbe geriliminde alttaki çubuk elektrodun üstteki çubuk elektrodun eksenine göre yatay açıklığı arttıkça %50 atlama gerilimi de artmaktadır. Ancak uygulanan gerilimin bu kutbiyeti için boşalma, belirli bir yatay açıklıktan sonra, çubuk elektrotlar arasında değil, üstteki düzlem elektrot ile alttaki çubuk elektrot arasında olmaktadır. Yani buna göre artı kutbiyetli yıldırımların binalara düşme olasılığı, binaların yıldırımın öncü boşalmasına (üstteki çubuk elektroda) yakınlığı ile artmakta, ancak öncü boşalma binalardan uzaklaştıkça atlama gerilimi ve olasılığı hızla azalarak çok dar bir bölgeden sonra sifıra düşmektedir.
- 2) Eksi darbe geriliminde de yatay açıklık arttırıldıkça, %50 atlama gerilimi artmaktadır. Bu durumdaki atlama gerilimi değerleri, artı darbe gerilimindekilere

göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir.

3) Eksi darbe geriliminde alttaki çubuk elektrodun yatay açıklığı, herhangi bir çubuk - düzlem arası boşalma olmaksızın artı darbedekine göre daha fazla artırılabilir. Eksi darbe gerilimi durumunda alttaki çubuk elektrodun belli bir açıklığından sonra boşalmalar alttaki çubuk elektrot ile üstteki düzlem elektrot arasında olmaktadır. Yani bu durum eksi kutbiyetli yıldırımların binalara düşme olasılığının, yıldırımın genliği arttıkça artmakta olduğu ve artı kutbiyetli yıldırma göre daha geniş bir bölge içinde yıldırım düşme olasılığını sürdürmekte olduğu şeklinde yorumlanabilir.

4) Alttaki çubuk elektrodun, dolayısıyla binaların yüksekliğinin de boşalmaların (yıldırımların) bu elektrotlara (binalara) atlama olasılığında payı vardır. Yüksek elektrotlara (binalara) yıldırımların düşme olasılığı her durumda alçak binalara göre daha yüksektir. Ayrıca, özellikle yıldırımı modelleyen düzen üzerinde deneyler sırasında da gözlemlendiği gibi yıldırımların bina modellerinin yalnızca en yüksek noktalarına değil, bazı durumlarda yan yüzlerine de düştüğü görülmüştür. Bu durum, modellerin üstteki çubuk elektrottan (öncü boşalmadan) uzak olduğu, yani boşalmalarda kararsızlıkların görülmeğe başladığı uzaklıklarda gözlenmiştir. Uygulamada, yüksek binaların yıldırma karşı korunmasında bu durumun göz önüne alınması gerekir.

KAYNAKÇA

- [1] SUZUKI, T., MIYAKE, K., KISHIZIMA, I., Study on Experimental Simulation of Lightning Strokes, IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-100, No.4, pp.1703-1711, Apr. 1981.
- [2] DELLERA, L., GARBAGNATI, E., Lightning Stroke Simulation by Means of The Leader Progression Model, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.4, pp.2009-2022 and pp.2023-2029, Oct. 1990.
- [3] SUZUKI, T., MIYAKE, K., SHINDO, T., Discharge Path Model in Model Test of Lightning Strokes to Tall Mast, IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-100, No.7, pp.3553-3562, July 1981.
- [4] EMRE, Ş., Yıldırım Boşalmaları ve Etkinlik Bölgelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1992, İstanbul.
- [5] KHALIFA, K., High-Voltage Engineering, Theory and Practice, Marcel Dekker, Inc., 1990, New York.
- [6] BEYER, M., BOECK, W., MÖLLER, K., ZAENGL, W., Hochspannungstechnik, Theoretische und Praktische Grundlagen, Springer Verlag, 1986, Berlin.
- [7] ZAENGL, W., Hochspannungstechnik, Die Blitzentladung, Eidgenössische Technische Hochschule, 1985, Zürich.
- [8] PEISER, R., Hochspannungstechnik, Kapitel 1-2, Technische Universität, 1990, Berlin.

Şule EMRE, 1968 yılında İstanbul'da doğdu. 1986'da İstanbul Erkek Lisesi'nden mezun oldu. 1990'da İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisliği Bölümü (EMB)yi Bölüm birincisi, Fakülte ikincisi olarak pekiyi derece ile Ord.Prof.Bedri KARAFAKİOĞLU ödülünü kazanarak bitirdi. 1992'de İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE), Elk.Müh. programından Y.Müh. olarak mezun oldu. EMRE, 1992 yılından beri İ.T.Ü. FBE Elk. Müh. programında doktora çalışmalarını sürdürmektedir.



rını sürdürmekte ve 1991 den beri İ.T.Ü. EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Özcan KALENDERLİ, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İ.T.Ü. EEF'den 1978'de Müh., 1980'de Y.Müh. olarak mezun oldu. 1990'da İ.T.Ü. FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını çalışmalarını tamamladı. İ.T.Ü. EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda 1979-1980 arasında Müh., 1980-1991 arasında Y.Müh. olarak çalışan KALENDERLİ, 1991'den beri aynı



Bölümde Yrd. Doç. olarak görev yapmaktadır. KALENDERLİ, çalışmalarını ağırlıklı olarak yüksek gerilim tekniği konularında sürdürmektedir.