

TOPRAKLAMA AĞLARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Hayri YILDIRIM, Özcan KALENDERLİ, Belgin TÜRKAY Mehmet ÇELİKAY

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80191 Gümüşsuyu / İSTANBUL

P.T.T. İst. Yakası Telefon Baş Müd.
Yapı İşleri Müdürlüğü
Gayrettepe / İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada, sayısal elektostatik alan hesabından bilinen yük benzetim yönteminin topraklama ağlarının, bilgisayar destekli analizinde kullanımı önerilmekte ve açıklanmaktadır. Yöntemin üstünlüğü ve uygulama kolaylıkları, boyutları sabit tutulan bir topraklama ağında göz sayısı değişimi ile topraklama direncinin ve potansiyel dağılımının değişiminin incelendiği bir uygulama ile gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Topraklama ağları, toprağa gömülü birbirine bağlanmış çok sayıda paralel ve dik iletkenlerden oluşan ve enerji sistemlerinde, transformatör merkezlerinde topraklama direnci ile adım ve temas gerilimini küçük tutmak amacı ile kullanılan topraklama düzenleridir. Bir arıza sırasında akan arıza akımları nedeniyle bir topraklama ağının potansiyeli yükselir. Bu durumda, topraklama direncinin ve potansiyel dağılımının güvenlik bakımından uygun olması önemlidir /1/.

Topraklama ağlarının analizinde iki tür problemle karşılaşılır. Bunlardan biri topraklama ağının herbir kolundan toprağa akan akım değerinin bulunmasıdır. Diğeri ise kol akımlarını kullanarak yeryüzeyindeki potansiyel dağılımının veya herhangi bir noktadaki potansiyelin hesaplanmasıdır. Bu problemlerin analitik ve yaklaşık olarak hesabına ilişkin literatürde pek çok karmaşık denklem ve yöntem bulunmaktadır /2/,/3/.

Bir topraklama ağının tasarımında ağ boyutları ve biçimi, göz sayısı, gömülme derinliği, toprağın özellikleri gibi birçok parametrenin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu

değerlendirmeyi gerçek boyutlardaki ağ üzerinde deney yaparak gerçekleştirmek hem zor hem de zaman alıcı ve pahalı bir yoldur. Bunun kolay, kısa ve ekonomik yolu, örneğin, ölçekli küçük modeller üzerinde deney yapmak veya sayısal yöntemlerle bilgisayarda hesap yapmaktır. Son yıllarda topraklama ağlarının analizinin ve tasarımının bilgisayarla yapılmasını sağlayan sayısal yöntemler gözdedir.

Bu çalışmada da topraklama ağlarının analizinde sayısal elektostatik alan hesabından bilinen yük benzetim yönteminin kolaylıkla kullanılabileceği gösterilmiştir.

2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİ (YBY)

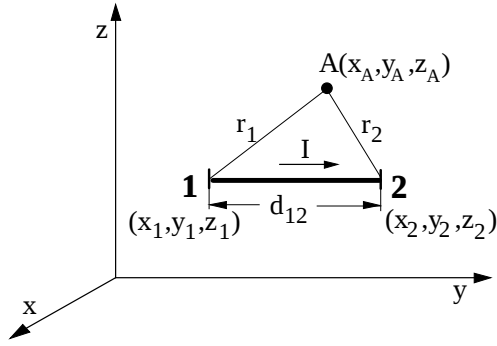
Yük benzetim yöntemi, ilkesi, bir elektrot sisteminde gerçek elektriksel yüklerin yarattığı elektostatik alanın, elektrotların içerisine yerleştirilen belirli sayıda ayrık benzetim yükü ile elde edilmesine dayanan bir sayısal yöntemdir. Benzetim yüklerinin tipi elektrotların ve alanın yapısına uygun olarak seçilir. Elektrot yüzeyi üzerinde yük sayısına eşit sayıda alınan noktada elektrot potansiyeli bilinen olarak alınır ve bilinmeyen yük değerleri ortaya çıkan lineer denklem sistemi çözümlenerek hesaplanır. Bu yük değerleri kullanılarak herhangi bir noktadaki potansiyel, yüklerin bu noktada yarattıkları potansiyellerin toplanması ile bulunur /4/.

Yalıtkan bir ortamdaki elektostatik alan ile iletken bir ortamdaki akım alanı arasında benzerlik vardır. YBY'nin topraklama ağlarının analizinde kullanılmasında bu benzerlikten yararlanılmıştır.

YBY'nin dairesel silindrsel iletkenlerden oluşmuş topraklama ağlarının analizinde

kullanımında iletkenlerin sonlu çizgisel akım kaynağı gibi alınabileceği göz önünde tutulmuştur. Bir sonlu çizgisel akım kaynağının herhangi bir A noktasında oluşturduğu potansiyel,

$$V_A = \frac{I}{4\pi\chi d_{12}} \ln \left(\frac{r_1 + r_2 + d_{12}}{r_1 + r_2 - d_{12}} \right) \quad (1)$$



Şekil 1. Sonlu çizgisel akım kaynağının bir noktada oluşturduğu potansiyelin hesabı.

bağıntısı ile hesaplanır (Şekil 1). Bu bağıntı, elektrostatikten bilinen sonlu çizgisel yükün potansiyel bağıntısında q yükü yerine I akımı ve ϵ dielektrik katsayısı yerine toprağın χ özgül iletkenliği yazılarak elde edilmiştir. Bu denklemde r_1 ve r_2 , A noktasının, uzunluğu d_{12} olan sonlu çizgisel yükün uçlarına olan uzaklıklardır. Bu uzunluklar

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

3. TOPRAKLAMA AĞLARININ YÜK BENZETİM YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Topraklama ağının kollarındaki akımların bulunmasında ağdaki iletkenler sonlu uzunlukta parçalar olarak göz önüne alınmış ve her bir koldaki akım yoğunluğunun sabit olduğu fakat koldan kola farklı olabileceği kabul edilmiştir. Eğer ağ, dikdörtgen veya kare şeklinde ise her bir kol, iletkenlerin kesiştiği noktalar arasındaki parça olarak alınır. Daha yüksek doğruluk için bu kollar daha küçük parçalara da bölünebilir.

Topraklama ağlarının yük benzetim yöntemi ile analizinde ağın her bir kolunun içinde sonlu çizgisel bir akım kaynağının bulunduğu

düşünülür. Ağdaki kollarıdan akan bilinmeyen $I_1, I_2, \dots, I_n$ akımlarını hesaplamak için ağ iletkenlerinin yüzeyinde her bir kolun orta noktasında potansiyeli bilinen bir nokta seçilir. Ağdaki bütün kolların potansiyellerinin aynı olduğu kabul edilmiştir. Buna göre, ağdaki tüm çizgisel akım kaynakların bu noktalarda oluşturdukları potansiyellerin o noktaların potansiyeline eşit olması gerektiği ilkesinden yararlanılarak yazılan denklemlerden

$$[R] \cdot [I] = [V] \quad (3)$$

şeklinde bir lineer denklem sistemi elde edilir. Bu denklemde $[R]_{n \times n}$ (1)'de I'ye çarpan olarak gelen terimlerinden oluşan direnç katsayıları matrisi, $[I]_{n \times 1}$ bilinmeyen kol akımları ve $[V]_{n \times 1}$ bilinen iletken potansiyelleridir. n ise bilinmeyen akım sayısıdır. Bu denklem sistemi çözülerek her bir koldan toprağa akan akım ve toplam akım hesaplanır. Topraklama ağlarının analizinde ağın potansiyeli genelde bilinmez. Bilinen büyüklük ise ağdan geçecek toplam akım (kısadevre akımı)'dır. Eğer hesaplanan toplam akım beklenen kısadevre akımından küçükse sınır noktalarının potansiyeli artırılarak lineer denklem sistemi yeniden çözülür ve bilinmeyen akım değerleri elde edilerek benzetim tamamlanmış olur /5-6/.

Topraklama ağının kol akımları hesaplandıktan sonra ağın dışındaki herhangi bir P noktasındaki potansiyel

$$V_P = [R_P] \cdot [I] \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada $[R_P]$ matrisi, ağ ile potansiyeli hesaplanacak nokta arasındaki geometrik uzaklıkları da içeren direnç katsayıları matrisidir. Bu şekilde ağın yeryüzeyinde yarattığı potansiyel dağılımı bulunabilir. Göz potansiyeli ve adım gerilimi hesaplanırken sonlu çizgisel akım kaynaklarının yeryüzeyine göre görüntüleri de hesaba katılır.

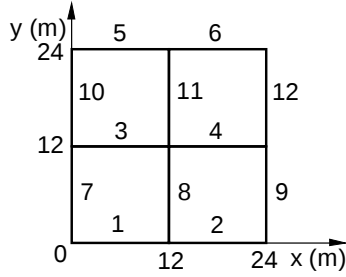
Ağın topraklama direnci, lineer denklem sistemi akımlar için çözüldükten sonra

$$R = \frac{U}{\sum I_i} \quad (5)$$

denkleminde kolayca hesaplanır. Burada U ağın potansiyeli, ΣI_i de ağdan toprağa akan toplam akımdır.

4. UYGULAMA

Yöntemin doğruluğunu ve kolaylığını göstermek için yapılan uygulamada 24 m x 24 m boyutunda bir topraklama ağının bir, dört (Şekil 2) ve dokuz gözlü olması durumunda topraklama direnci, göz (temas) potansiyeli ve adım gerilimi hesaplanmıştır.

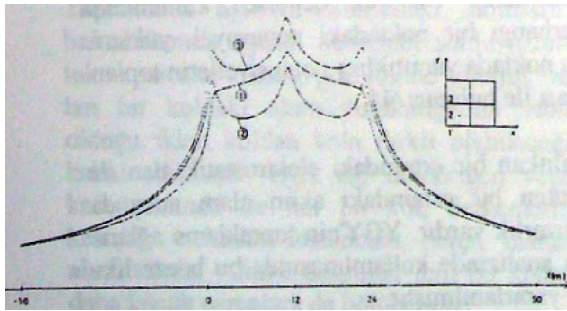


Şekil 2. Dört gözlü topraklama ağı.

Hesaplarda toprağın özgül direnci 100 ohm.m, ağın yerleştirilme derinliği 0,5 m, ağın iletken yarıçapı 0,7 cm ve ağın potansiyeli 15000 V olarak alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

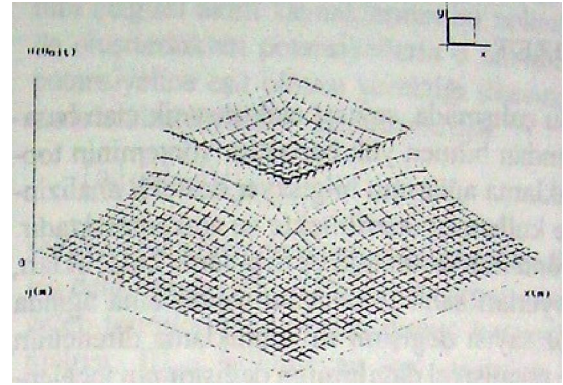
Çizelge 1. Hesap sonuçları.

Topraklama Ağı	1x1 Kare Ağ	2x2 Kare Ağ	3x3 Kare Ağ
Toprağa akan akım (A)	6019,52	6932,31	7410,08
Topraklama direnci (ohm)	2,492	2,164	2,024
Göz potansiyeli (V)	7031,66	9906,56	12124,9
Göz potansiyeli (%)	46,87	66,04	80,83
Göz gerilimi (V)	7968,33	5093,43	2875,06
Göz gerilimi (%)	53,12	33,95	19,17

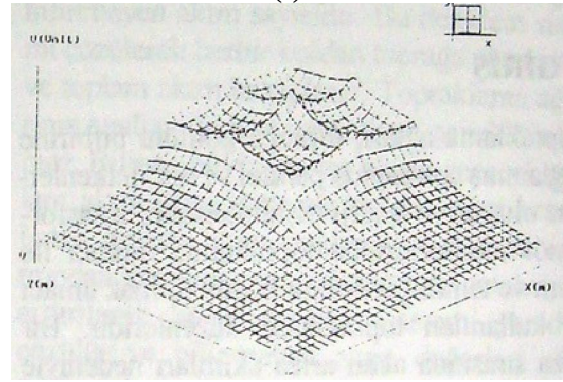


Şekil 3. Dört gözlü ağın yeryüzeyinde oluşturduğu potansiyelin üç farklı (1, 2, 3) kesitte x-ekseni doğrultusundaki değişimi.

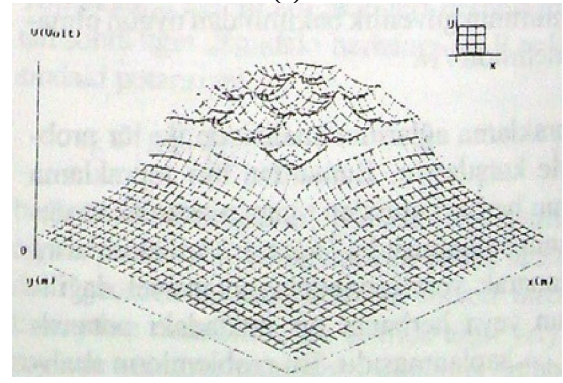
Şekil 3'te, örnek olarak dört gözlü ağ için elde edilen, yeryüzeyinde bir kaç kesitte potansiyelin x-ekseni doğrultusundaki değişimleri gösterilmiştir. Aynı ağda farklı göz sayıları için yeryüzeyindeki potansiyel dağılımları elde edilmiş ve üç boyutlu olarak bilgisayarda çizdirilmiştir (Şekil 4).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Bir (a), dört (b) ve dokuz (c) gözlü topraklama ağlarının yeryüzeyinde oluşturduğu potansiyel değişimi.

Hesaplar geliştirilen ve yük benzetim yöntemine dayanan bilgisayar programı ile yapılmıştır. Çözümde toprağın tek tabakalı ve homojen bir yapıda olduğu kabul edilmiştir.

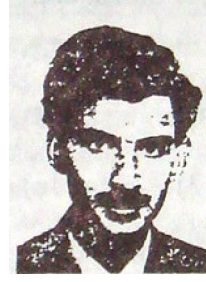
5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan görüldüğü gibi, toprak içine yatay olarak yerleştirilmiş ve silindrisel iletkenlerden oluşan herhangi bir geometrik yapıdaki topraklama ağlarında topraklama direnci, temas ve adım gerilimi analizi yük benzetim yöntemi ile kolaylıkla ve yüksek doğrulukla yapılabilmektedir.

Yapılan uygulamada aynı boyuttaki bir ağda göz sayısı arttıkça temas ve adım gerilimi düşmekte, topraklama direnci azalmaktadır. Ayrıca gömülme derinliği attıkça direncin ve göz potansiyelinin düştüğü görülmüştür. Önerilen yöntemin topraklama ağlarının analizinde ve tasarımında kolayca uygulanabilir olduğu açıktır.

6. KAYNAKÇA

- /1/ KHALIFA, M., High-Voltage Engineering, Chapter 13: Grounding Systems, Marcel Dekker Inc., New York, 1990.
- /2/ HEPPE, R.J., Computation of Potential at Surface Above an Energized Grid or Other Electrode Allowing for Non-uniform Current Distribution, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-98, No.6, pp. 1978-1987, Nov./Dec. 1989.
- /3/ MELIOPOULOS, A.P., COKKINIDES, G.J., An Advanced Computer Model For Grounding System Analysis, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.8, No.1, pp.13-20, January 1993.
- /4/ MALİK, N.H., A Review of the Charge Simulation Method and its Applications, IEEE Trans. on El. Ins., Vol.24, No.1, pp. 3-20, February 1989.
- /5/ SATO, S., ZAENGL, W.S., Effective Grounding Mesh Calculation Technique, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, No.1, pp. 173-182, January 1988.
- /6/ ÇELİKİYAY, M., Enerji Sistemlerinde Topraklama Ağlarının Bilgisayar Destekli Analizi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 1995.



Hayri YILDIRIM, 1965 yılında İskenderun'da doğdu. 1988'de İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisliği Bölümü (EMB)'den mühendis, 1992'de İTÜ Fen Bilimleri

Enstitüsü (FBE)'den Yük. Müh. olarak mezun oldu. YILDIRIM, 1992 den beri İTÜ FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1989'dan beri İTÜ EEF EMB Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



Özcan KALENDERLİ, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İTÜ EEF'den 1978 de Müh., 1980'de Yük. Müh. olarak mezun oldu. 1990 da İTÜ FBE'de doktora çalışmalarını tamamladı. İTÜ EEF EMB'de 1979-1991 yılları arasında mühendis olarak çalışan KALENDERLİ, 1991'den beri de yardımcı doçent olarak görev yapmaktadır.



Belgin TÜRKAY, 1960 yılında İstanbul'da doğdu. 1982'de İTÜ EEF EMB den mühendis, 1984'te İTÜ FBE'den Yük. Müh. olarak mezun oldu. 1993'te İTÜ FBE'de doktora çalışmalarını tamamladı. İTÜ EEF EMB'de 1982-1994 yılları arasında Araş. Gör. olarak çalışan TÜRKAY, 1994'ten beri de yardımcı doçent olarak görev yapmaktadır.

Mehmet ÇELİKİYAY, 1969 yılında İskenderun'da doğdu. 1991'de YTÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden mühendis, 1995'de İTÜ FBE'den yüksek mühendis olarak mezun oldu. Halen PTT'de kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.