

YILDIRIM DÜŞMESİ NEDENİYLE İZOLATÖRLER ÜZERİNDE OLUŞAN AŞIRI GERİLİMLER

Asım KAYGUSUZ¹ M. Salih MAMIŞ² Erhan AKIN³

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi

İnönü Üniversitesi, 44069, Malatya

³Bilgisayar Bölümü, Mühendislik Fakültesi

Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ

¹e-posta: akaygusuz@inonu.edu.tr ²e-posta: smamis@inonu.edu.tr

³e-posta: eakin@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektrik Direği Modeli, EMTP, Yıldırım Analizi

ÖZET

Bu çalışmada direklere yıldırım düşmesi sonucu izolatörlerin maruz kaldığı aşırı gerilimler Electromagnetic Transients Program (EMTP) kullanılarak analiz edilmiştir. Enerji iletim sistemlerinde yıldırımların çoğunun direklere düşmesi nedeniyle izolatör üzerindeki gerilimin doğru olarak hesaplanması için metal direklerin doğru olarak modellenmesi gerekir. Bu çalışmada elektrik direği uniform olmayan yapıda ele alınarak, çok fazlı bir iletim hattına düşen yıldırım nedeniyle izolatör üzerindeki aşırı gerilimler hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Yıldırım düşmesi sonucu enerji iletim sistemlerinde meydana gelen izolatörlerin kırılması ve iletkenlerin kopması elektrik kesintilerinin önemli sebeplerindendir. Bunun yanında enerji dağıtım sistemleri ve şalt sahalarındaki aygıtlar ile jeneratörler, hatlara ve direklere düşen yıldırımlardan etkilenmektedir. Bu nedenlerden dolayı yıldırım düşmesi sonucunda meydana gelen aşırı gerilimlerin hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Yıldırımın faz iletkenlerine düşmesi sık karşılaşılmayan bir durumdur. Yıldırım genellikle elektrik direklerine ve toprak iletkenlerine düşmektedir [1]. Yıldırım dalgası incelenirken elektrik direği için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda basit hat modelleri kullanılmakla birlikte, daha doğru sonuçlar almak için elektrik direğinin parametreleri yüksekliğe göre değişen uniform olmayan hatlar ile modellenmesi gereklidir [1]. Dikkate alınması gereken diğer bir husus da hatlar arasındaki ortak endüktansın etkisidir.

Elektrik tesislerindeki yıldırım aşırı gerilimlerinin analizi için deneysel çalışmalar yapılmış olmasına karşın, deneylerin pahalı ve tekrarlanması zor bir işlem olmalarından dolayı nümerik yöntemler kullanılarak yapılan bilgisayar simülasyonları bu amaç için daha elverişlidir ve daha yaygındır [1-9]. Elektrik direklerinin yıldırım analizi ilk olarak elektromanyetik alan teorisi kullanarak, direğin konik ve silindirik bir şekil temelinde yapılan hesaplama ile türetilen

matematiksel modele dayanmaktadır [2]. Daha sonra Kawai uzun ve kısa dikey iletkenler üzerinde deneysel çalışmalar yapmış, çalışmalarını sonucunda iletkenin karakteristik empedansı ile dalga yayılım hızı hakkında bazı tespitlerde bulunmuştur. [3]. Diğer taraftan Chisholm ve Chow laboratuvar ortamında basit modeller kullanarak yine iletkenlerin karakteristik empedansı ve yayılım sabiti konusunda çalışmalar yapmıştır [4]. Ayrıca, yapılan çalışmalarında yıldırımın iletkene düşme açısının etkisini incelemiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise daha önceki çalışmalara ek olarak direğe bağlı koruma iletkeninin etkisi de dahil edilmiş ve bu doğrultuda Ishii ve diğ. tarafından nümerik yöntemlerde kullanılmak üzere direk için çok katlı bir model geliştirmiştir [5]. Almeida ve Barros direğin sonlu farklı iletim hattı modelini kullanarak EMTP simülasyonu ile direğin rampa fonksiyonu şeklindeki yıldırım akımına cevabını incelemiştir [6]. Ishii ve Baba nümerik elektromanyetik alan analizi (NEC2) kullanarak uzun yapıdaki elektrik direğinin yıldırım dalga karakteristiğini ölçmüşlerdir [7]. Daha sonra toprak iletkeninin bağlı olduğu ve olmadığı durumlar için elektrik direğinin frekans domeninde yıldırım analizi yapılmıştır [8,9].

Bu çalışmada elektrik direğine yıldırım düşmesi durumunda, direğin uniform olmayan yapıdaki modeli kullanılarak, çok fazlı enerji iletim sistemindeki izolatörler üzerinde oluşan aşırı gerilimler EMTP ile analiz edilmiştir. Yıldırım bir elektrik direğine düştüğünde, direğin tepesinden temelinde doğru bir dalga yayılımını meydana gelmekte ve direğin tepesinde aşırı gerilimler oluşmaktadır. Güç sistemlerinde bu yayılan dalgaların analizi için EMTP programının kullanımı elverişli görülmektedir.

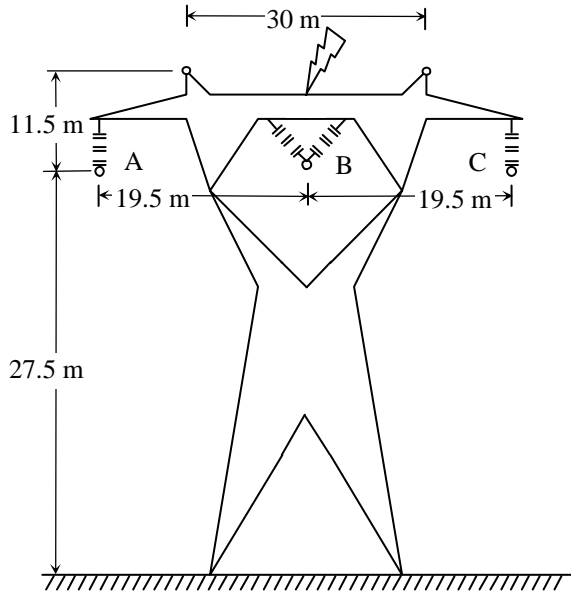
2. DİREK MODELİ

Burada ele alınan direk modeli uniform olmayan iletim hattı modellenmesi temelinde dayanmaktadır. Bu modelde direk eşit uzunluktaki parçaya bölünerek, her bir bölümü için birbirinden farklı karakteristik empedanslar tanımlanmıştır. Elektrik direğinin

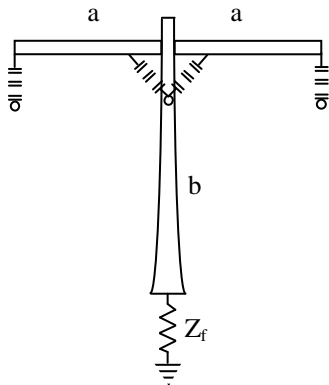
değişen karakteristik empedansları direğin üst bölümünde 220Ω ve direğin temelinde ise 150Ω olarak alınmıştır [5]. Bu değişim üssel fonksiyon olarak ifade edilmiş ve bu fonksiyon

$$Z_0(x) = 150e^{qx} \quad (1)$$

şeklinde dir. Burada q direğin yüksekliğiyle ilgili bir sabittir ve x ise yer seviyesinden ölçülen yüksekliktir. Bu formül direğin uniform olmayan yapısını göstermek için yeterlidir. Direğin topraklama direnci ise 17Ω dur. Uygulama için ele alınan direğin yapısı, direğin boyutları, faz ve toprak iletkenlerinin arasındaki mesafeler Şekil 1'de görülmektedir ve bu tür direk yapısı ülkemizde iletim hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Direğin yapısı, faz ve toprak iletkenlerin pozisyonları.



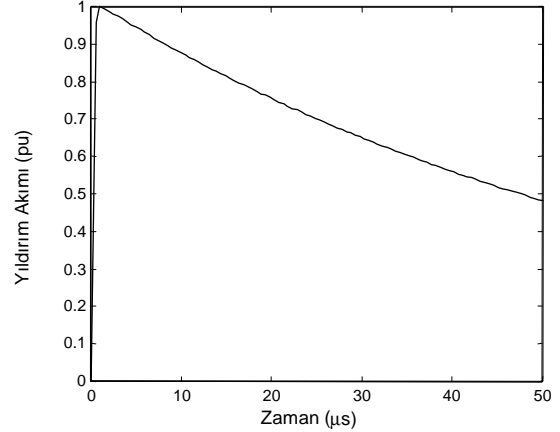
Şekil 2. Direğin basit modeli.
a: 19.5 m uniform hat
b: 39 m nonuniform hat

3. UYGULAMA

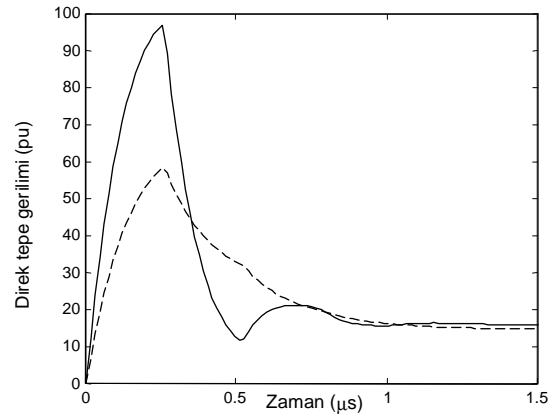
Uygulama için ele alınan direğin yüksekliği 39 m' dir ve l direğin yüksekliği olmak üzere $q = \frac{1}{l} \ln \frac{Z_{üst}}{Z_{alt}}$

formülünden $q=0.0098$ olarak bulunmuştur. Direğin uniform olmayan yapısını ifade etmek için 15 eşit parçaya bölünmüştür. Direğe uygulanan yıldırım akımı çift üssel fonksiyondur ve matematiksel olarak $i(t) = 1,0177(e^{-1.5 \times 10^4 t} - e^{-6 \times 10^6 t})$ şeklinde ifade edilmiştir. Kaynak empedansı 400Ω , direktteki dalga yayılım hızı ışık hızındadır ($300 \text{ m}/\mu\text{s}$). Toprak iletkeninin yarıçapı 0.88 cm , faz iletkenlerinin eşdeğer yarıçapı 24.14 cm dir. Analizde kolaylık olması amacıyla iletim hattı direğe göre simetrik olduğundan sadece yarısı alınmıştır. Bu işlem iletim hattındaki iletkenlerin karakteristik empedansının yarı değerinin $Z_0/2$ alınmasıyla yapılır [10].

Yapılan EMTP analizi sonucunda A, B ve C fazlarının izolatörlerinde oluşan gerilimlerin tepe değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu tablodan görüldüğü üzere A ve C fazları birbirinin simetrisi olduğundan izolatörleri üzerindeki gerilim değeri 34.5 p.u. birbirinin aynısı olarak hesaplanmıştır. B fazının izolatörü üzerindeki gerilim değeri ise daha yüksektir ve 40.2 p.u. olarak bulunmuştur.

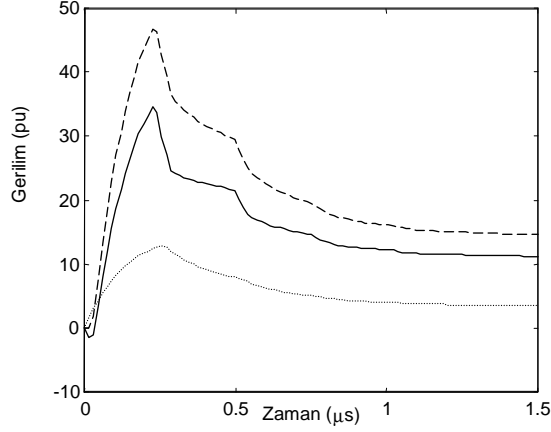


Şekil 2. Uygulanan yıldırım akımı (1/50).



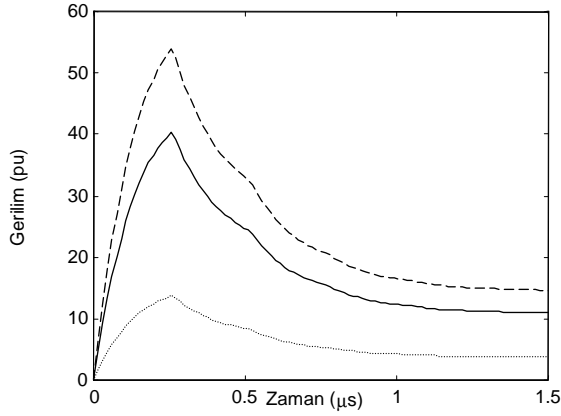
Şekil 3. Toprak iletkeninin etkisi.

— toprak iletkeni yok
--- toprak iletkeni var



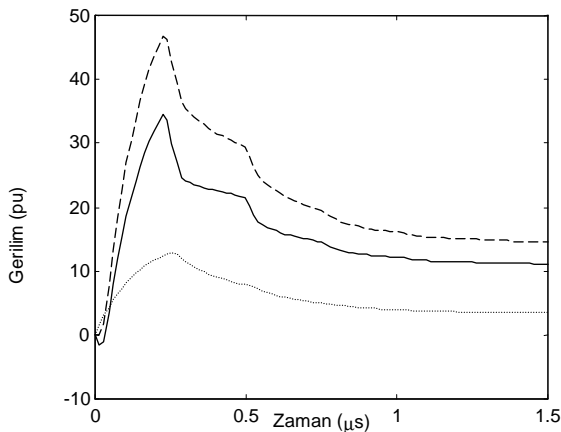
Şekil 4. A fazındaki gerilimler.

— izolatör
 --- direk faz pozisyonu
 fazda endüklenen



Şekil 5. B fazındaki gerilimler.

— izolatör
 --- direk faz pozisyonu
 fazda endüklenen



Şekil 8. C fazındaki gerilimler.

— izolatör
 --- direk faz pozisyonu
 fazda endüklenen

Tablo 1. Yıldırım nedeniyle izolatörlerde oluşan aşırı gerilimler.

	İzolatördeki en yüksek gerilim değeri (p.u.)
A fazı	34.5
B fazı	40.2
C fazı	34.5

4. SONUÇ

Bu çalışmada Electromagnetic Transients Program (EMTP) kullanılarak direklere düşen yıldırım sonucunda izolatörlerin maruz kaldığı aşırı gerilimler hesaplanmıştır. Elektrik direği uniform olmayan yapıda ele alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların kullanılması, iletim sisteminin aşırı gerilimlere karşı koruma ve izolasyon seviyesinin belirlenmesi için yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ueda T., ve diğ., A comparison between two tower models for lightning surge analysis of 77 kV system, IEEE TRANS., 2000.
- [2] Sargent M., Darveniza M., Tower surge impedance, IEEE TRANS., PAS-88, (5), pp. 680-687, 1969.
- [3] Kawai, M., Studies of the surge response on a transmission line tower, IEEE TRANS, PAS-83, pp. 30-34., 1964.
- [4] Chisholm W.A., Chow Y.L., Strivastava K.D., Lightning surge response of transmission towers, IEEE TRANS., , PAS-102, (8), pp. 3232-3242, 1983.
- [5] Ishii, M ve diğ., Multistory transmission tower model for lightning surge analysis, IEEE TRANS. ON POWER DEL., vol. 6, no. 3, pp. 1327-1335, 1991.
- [6] Almeida M. E., Correia De Barros M. T., Tower modelling for lightning surge analysis using Electro-Magnetic Transient Program, IEE PROC.-GENER, TRANSM. DISTRIB., Vol. 141, No.6, 1994.
- [7] M. Ishii, Y. Baba, Numerical electromagnetic field analysis of tower surge response, IEEE TRANS. ON POWER DEL., vol. 12, no. 1, pp. 483-488, 1997.
- [8] Mamiş M.S., M. Köksal, Lightning surge analysis using nonuniform, single-phase line model, IEE PROC. -GENER. TRANSM. DISTRIB., Vol. 148, No. 1, 2001.
- [9] Kaygusuz A., Mamiş M.S. , Akın E., s-domain analysis of lightning surges on transmission towers, FIRST INT. CONF. ON TECHNICAL AND PHYSICAL PROBLEMS IN POWER ENG. (TPE), Bakü, Azerbaycan, 2002.
- [10] Kaygusuz A., Mamiş M.S. , Akın E., s-domain analysis of lightning surge response of a transmission tower with phase conductors, INT. CONFERENCE ON POWER SYSTEMS TRANSIENTS IPST'03, Hong Kong, 2003 .