

LİNEER OLMAYAN YÜKLERİ İÇEREN ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL KOŞULLARA BAĞLI OLARAK TOPRAK YOLU ANALİZİ

Ercan İZGİ¹, Aslan İNAN², Bedri KEKEZOĞLU³

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş/İSTANBUL
¹izgi@yildiz.edu.tr, ²inan@yildiz.edu.tr, ³kekezoglu@hotmail.com

Anahtar sözcükler: Topraklama, İzolatör kirliliği, Temas Gerilimi, Dengeli ve Dengesiz Yüklenme

ÖZET

Enerji iletim sistemlerinin kararlı ve dengeli çalışması her zaman arzu edilen önemli bir faktördür. Enerji iletim sistemlerinde dengesizlik olmasa bile, izolatör kaçak akımı ve faz-koruma teli karşılıklı kuplaj etkilerinden dolayı belli değerlerde temas ve adım gerilimleri oluşmaktadır. Bu gerilimler zaman zaman standartlarda öngörülen değerlerin üstüne çıkabilmektedir. Özellikle yükün dengesiz ve lineer olmaması durumunda, iletim hattının geçtiği güzergâhtaki yerleşim birimlerinde yaşayan insan ve diğer canlılar için tehlikeli sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu makalede Matlab/Simulink yazılımı ile dengeli ve dengesiz yüklenen lineer olmayan yükleri içeren bir enerji iletim sisteminin çeşitli zemin ve izolatör yüzeyi kirlenme (temiz ve yoğun kirl) özelliklerine göre enerji iletim hattı boyunca direk topraklama (temas) gerilimlerinin analizi yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Enerji iletim hatlarının geçtiği güzergahta yaşayan insan ve diğer canlıların güvenliği kadar iletim sistemini oluşturan ekipmanların da işletme güvenliği önemli bir unsurdur. Bunun sağlanması için çevre faktörlerinin ve güzergah boyunca direk temellerinin zemin karakteristiğinin topraklamaya uygun olması gerekir. İzolatör kir unsurlarının yoğun olduğu ve toprağın öz direncinin yüksek olduğu yerlerde direk topraklama (temas) gerilimleri yüksek değerlere çıkabilmektedir. Özellikle dengeli ve dengesiz lineer olmayan yüklenme durumunda son derece tehlikeli gerilim seviyelerine ulaşılmaktadır.

İletim hattının direk temellerinin bulunduğu zemin yapısının sert olduğu yüksek öz dirençli toprak yapısı, dengesiz ve lineer olmayan yüklenmeden kaynaklanan yüksek temas gerilimleri, çevrede yaşayan insan ve diğer canlılar için ciddi hayati tehlikeler oluşturmaktadır. Dolayısıyla iletim hattı boyunca mümkün olduğu kadar zemin yapısının iletim hattı güzergahı boyunca incelenerek toprak öz dirençlerinin sağlıklı ölçülmesi, lineer olmayan yüklerle ilişkin analiz ve gerektiğinde filtrelemenin yapılması gerekir.

Bu çalışmada, dengeli ve dengesiz lineer olmayan yüklenme durumunda izolatör yüzeyinin temiz ve yoğun kir seviyeleri dikkate alınarak değişik zeminlere ilişkin iletim hattı boyunca direk topraklama (temas) gerilimleri analiz edilmiştir. Bu analizler, iletim hatları ve çevredeki canlıların güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

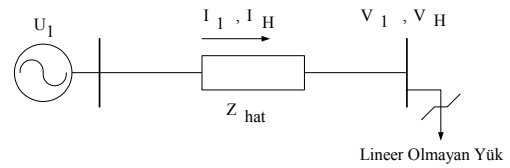
2. LİNEER OLMAYAN YÜKLER

Akım-gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanların (güç elektroniği elemanları, ark fırınları vb.) kullanımına duyulan ihtiyaç nedeniyle, enerji sistemlerinde harmonikler oluşmaktadır. Şekil 1'de harmonik bileşenlerin bulunduğu bir enerji sistemi verilmiştir. Kaynağın sinüsoidal yani gerilimin sadece temel bileşeninin bulunmasına karşılık sisteme bağlı lineer olmayan yük nedeniyle harmonik akım bileşenleri meydana gelecek ve bu akımların sonucunda harmonik gerilim bileşenleri sistemde görülecektir. Harmonik içerikli devreler analiz edilirken süperpozisyon teoremi uygulanarak temel bileşen ve sistemde yer alan diğer harmonik bileşenlerin etkileri tek tek ele alınarak toplanabilir.

Harmonikli bir sistemin efektif akım (I) ve gerilim (V) ifadeleri denklem (1) ile ifade edilir:

$$I = \left[\sum_{n=1}^N I_n^2 \right]^{1/2}, V = \left[\sum_{n=1}^N V_n^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada N , harmonik mertebesini göstermektedir [1].



Şekil 1. Sinüsoidal şebekeye bağlı lineer olmayan yük.

3. TOPRAK YOLU ELEMANLARI

Bir enerji iletim sisteminde toprak yolu elemanları en temel olarak izolatörler, koruma telleri, direkler, topraklayıcı, zemin olarak verilebilir.

3.1 İzolatörler

Enerji iletim hatları ve baraları tespit edildikleri yerlerden toprağa karşı yalıtılmak amacıyla izolatörler kullanılır. Yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler, kuru kir, kuş pisliği ve kimyasal dumanlar; sahil bölgelerinde ise deniz tuzuna maruz kalmaları gibi nedenlerle kirlenirler. Söz konusu bu kirlenmelerin oluşmasında etkili olan çevresel ve iklime dayalı yerçekimi, rüzgar hızı ve yönü, yağış, nem vb. faktörler vardır.

İzolatör kuru ve temiz iken üzerinden hemen hemen hiçbir kaçak akım akmamaktadır. Fakat izolatör yüzeyi, yağmur, sis veya çığ sebebiyle nemlenirse, kir tabakası, içindeki iyonize olan tuzlardan dolayı iletken hale gelir ve uygulanan gerilimle aynı fazda ve izolatör yüzeyi boyunca rezistif karakterli bir kaçak akım akar. Bu kaçak akım, kuru haldeki akımdan çok yüksektir. Bu nedenlerden dolayı enerji iletim hatlarında kullanılan izolatörler seçilirken, iletim hattının geçtiği güzergahın iyi etüt yapılarak belirlenmesi gerekir [2-3].

3.2 Koruma Telleri

Koruma tellerinin; enerji iletim hatlarında yıldırım düşmesi, faz-toprak, faz-faz kısa devreleri ile gerilim atlamaları gibi sebeplerle hatların ve çevrede yaşayan canlıların güvenliği açısından kullanılmalrı bakımından büyük önem taşımaktadır. Faz-koruma teli arasındaki karşılıklı kuplajdan dolayı endüklenecek gerilim, direğin temas gerilimini arttırmaktadır.

Faz ile koruma teli arasındaki karşılıklı kuplajdan dolayı endüklenen gerilim, zeminin düşük veya yüksek öz dirence sahip olmasıyla orantılıdır. Yüksek öz dirence sahip sert zeminlerden geçen bir iletim hattının direk temas gerilimleri de yüksek olmaktadır. Bu sebepten dolayı, iletim hattının düşük öz dirence sahip güzergahtan geçip geçmediği çok önemlidir.

Koruma telinin empedansı Carson denklemlerine göre [Ω/km] şu şekildedir:

$$Z_g = \left(\frac{l}{kq} \right) + 9,87 \cdot 10^4 \cdot f + j0,0029 \cdot f \cdot \log \left(\frac{658,9 \cdot \sqrt{\rho/f}}{GMRI} \right) \quad (2)$$

Burada; f : şebeke frekansı, l : koruma telinin uzunluğu, k : koruma telinin özgül iletkenlik katsayısı, q : koruma telinin kesiti, ρ : zeminin öz direnci, $GMRI$: koruma telinin geometrik ortalama yarıçapıdır .

3.3 Direkler

Enerji iletim hatlarında kullanılan direkler, genellikle arazinin engebeli oluşu ve hattın gerilim seviyesinin yüksek olması sebebiyle, civatalı, galvanizli çelik kafes şeklinde yapılırlar.

3.4 Topraklayıcı

Enerji iletim hatlarında çelik kafes direkler, yıldırım düşmesi, kaçak akım, faz-toprak kısa devresi gibi tehlikeli durumlardan dolayı topraklanırlar. Bu topraklama için genelde çubuk topraklayıcı kullanılır. İletim hattının tüm direkleri için topraklama yapılır. Çubuk topraklayıcının direnci, toprak öz direnci, çubuk boyu ile çubuğun çapına bağlı olarak

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{4.l}{d} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır [3]. Burada;

R : Çubuk topraklayıcının direnci [Ω]

ρ : Toprağın (zeminin) öz direnci [$\Omega \text{ m}$]

l : Çubuk topraklayıcının uzunluğu [m]

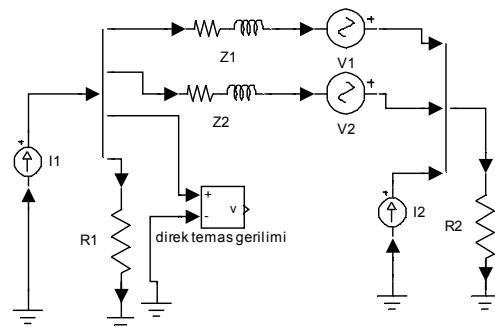
d : Çubuk topraklayıcının çapı [m]

3.5 Zemin

Zemin (toprak), enerji iletim hatlarında toprak yolunun en önemli elemanıdır. Literatürde koruma teli ve karşılıklı kuplaj empedansının hesaplanmasında kullanılan Carson denklemlerinde toprak öz direnci dikkate alınmıştır [4].

Bu çalışmada izolatörler, zincir tipinde olup, 12 elemandan oluşmaktadır. Direkler, tek devre-çift koruma teli olup iletim hattını oluşturan fazların yerden aynı yükseklikte (seviyede) olduğu öngörülmüştür. Koruma telinin malzemesi galvanizli çeliktir.

Şekil-1'de kullanılan herhangi iki direk arasındaki toprak yolu modeli gösterilmiştir.

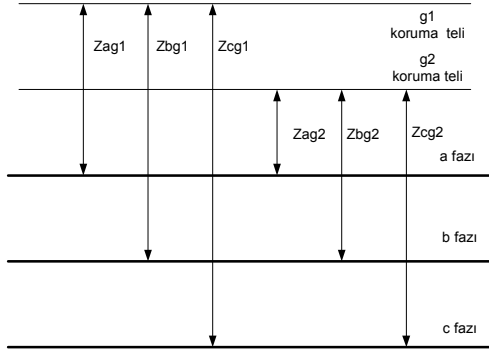


Şekil-2. İki direk arası toprak yolu modeli

Şekil-2'deki modele ilişkin parametreler aşağıda verilmiştir:

- $R1, R2$: Direklerin topraklama dirençleri [Ω]
- $Z1$: 1. Koruma teli empedansı [Ω/km]
- $Z2$: 2. Koruma teli empedansı [Ω/km]
- $V1$: 1. Koruma telinde endüklenen gerilim [V]
- $V2$: 2. Koruma telinde endüklenen gerilim [V]
- $I1, I2$: İzolatörlerden akan kaçak akımlar [A]

Şekil-3’de faz iletkenleri ile koruma telleri arasındaki karşılıklı kuplaj gerilimlerinin durumu gösterilmiştir. Burada a, b, c faz; g1, 1.koruma telini, g2, 2. koruma göstermektedir.



Şekil-3. Faz-koruma teli arası kuplaj

Faz iletkenin empedansı,

$$Z_{hat} = R + j2\pi f.L \quad [Ω/Km] \quad (4)$$

şeklinde. Burada R, hattın omik direncidir; L hattın self endüktans değeri olup değeri

$$L = 2.10^{-4} \log(GMD/GMR2) \quad [H/km.faz] \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada GMD, fazlar arası geometrik ortalama mesafeyi (m), GMR2, faz iletkeninin geometrik ortalama yarıçapını (m) ifade eder.

Faz-koruma teli arasındaki karşılıklı kuplaj empedans değeri Carson denklemlerine göre,

$$Z_{faz-g} = 9,87.10^{-4} f + j0,0029f \cdot \log(658,9 \sqrt{\frac{\rho}{f}} / D_{faz-g}) \quad (6)$$

şeklinde. Burada, D_{faz-g} , faz iletkeni ile koruma koruma teli arası uzaklığı göstermektedir. Fazın koruma teli üzerinde endüklemediği gerilim ise,

$$V_{faz-g} = Z_{faz-g} \cdot I_{faz} \cdot D_a \quad (7)$$

şeklinde verilir. Burada, D_a , direk açıklığıdır.

Tüm fazlar için (6) ve (7) no.lu denklemler uygulanırsa,

$$V_M = V_{ag} + V_{bg} + V_{cg} \quad (8)$$

elde edilir. Burada V_M , a,b,c fazlarının bir koruma teli üzerinde endüklemediği toplam gerilimdir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama kısmında Şekil-2’de verilen model, Matlab/Simulink yazılımı ile tüm hat boyunca simüle

edilmiştir. Simülasyonda 163 direkli yaklaşık olarak 50 km uzunluğunda 100 MVA, 154 kV’luk bir enerji iletim hattı göz önüne alınmıştır.

Simülasyon modelinde faz akımları aşağıdaki Tablo-1’e göre alınmıştır. Lineer olmayan yük modelinde iletim hatlarında sadece en etkin olan 3. harmonik bileşeni göz önüne alınmıştır [5].

Tablo-1. Faz akımlarının değerleri

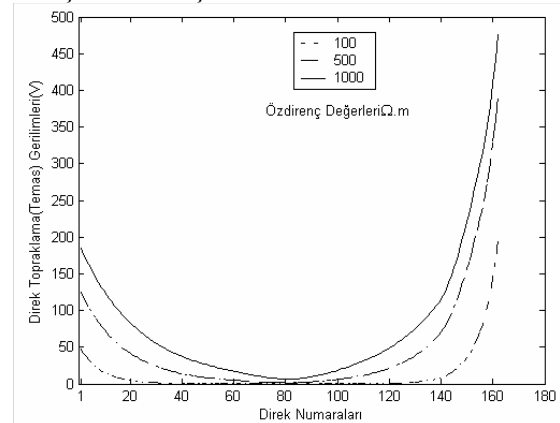
Faz akımları	I_a	I_b	I_c
Dengeli	$375 \angle 0^\circ$	$375 \angle -120^\circ$	$375 \angle 120^\circ$
Dengesiz	$350 \angle 0^\circ$	$375 \angle -110^\circ$	$400 \angle 110^\circ$
Dengeli 3.harmonik bileşeni	$10 \angle -40^\circ$	$10 \angle -40^\circ$	$10 \angle -40^\circ$
Dengesiz 3.harmonik bileşeni	$8 \angle -40^\circ$	$10 \angle 45^\circ$	$12 \angle 60^\circ$

İletim hatlarında direk açıklığının mümkün olduğunca eşit yapılması istenir [6]. Dolayısıyla bu çalışmada, direk açıklığı 300 m olarak tüm direkler arasında eşit alınmıştır.

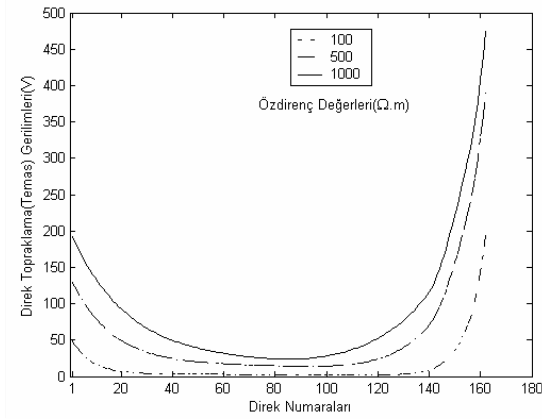
Yüksek gerilim izolatörleri kirlenme seviyeleri bakımından ilgili standartta üç şekilde tanımlanmıştır: hafif, orta ve yoğun kirli. İzolatör zincirinin bir elemanı için yapay kirlilik test değerleri standartlarda, yoğun kirlenmede 28-56 μ Siemens olarak verilmiştir [7-8]. Simülasyonda temiz ve yoğun kirlenme durumları incelenmiştir.

İletim hattı güzergâhı boyunca zemin karakteristiğinin bir ölçüsü olarak toprak öz dirençlerinin 100, 500 ve 1000 $\Omega.m$ şeklinde üç farklı değerde olduğu varsayılmıştır.

Şekil-4 ve 5’de dengeli, Şekil-6 ve 7’de ise dengesiz yüklenen lineer olmayan yük içeren bir iletim hattı modeline ilişkin, izolatör yüzeyinin temiz ve yoğun kirli olması halinde iletim hattı boyunca direk topraklama (temas) gerilimlerinin simülasyon sonuçları verilmiştir.

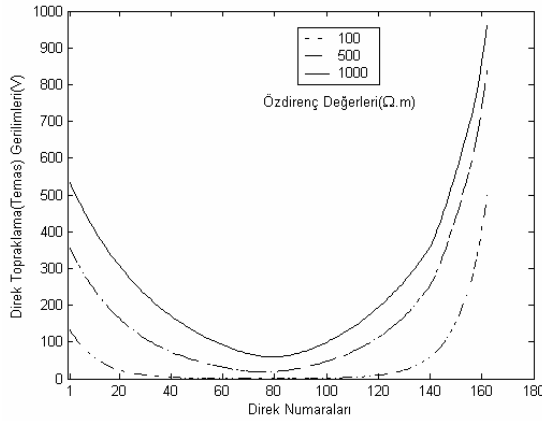


Şekil-4. Dengeli yüklenen iletim hattının direk topraklama gerilimleri (temiz izolator)

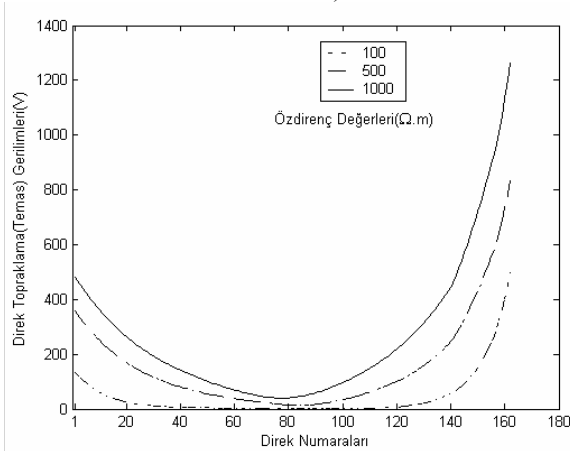


Şekil-5. Dengeli yüklenen iletim hattının direk topraklama gerilimleri (kirli izolator)

Şekil-4 ve 5'te dengeli-lineer olmayan sistemde direk topraklama gerilimlerine ilişkin verilen eğrilerde hat sonunda 3. harmonik sebebiyle modellenen akım kaynağının etkisini göstermektedir.



Şekil-6. Dengesiz yüklenen iletim hattının farklı zeminlere ilişkin direk topraklama gerilimleri (temiz izolator)



Şekil -7. Dengesiz yüklenen iletim hattının direk topraklama gerilimleri (kirli izolator)

Şekil 6 ve 7'de dengesiz sisteme ilişkin verilen direk topraklama gerilim eğrilerinde, temas gerilim

değerleri çok daha yüksek çıkmıştır. Bu da hem sistemin dengesiz olmasının hem de 3. harmonik bileşenin ne derece etkili olduğunu göstermektedir.

Simülasyon sonucu hem dengeli lineer yüklenme hem de dengesiz lineer olmayan yüklenme için direk temas gerilim değeri üzerinde şu sonuçlara ulaşılabilir:

- Temas gerilimi üzerinde izolator kirlenmesinin ciddi bir etkisi yoktur.
- Özellikle hat başı ve hat sonunda temas gerilim değerleri yüksek çıkmaktadır. Hat ortasında ise en düşük değeri almaktadır.
- Zemin yapısına göre topraklama direnci arttıkça temas gerilimleri de artmaktadır.

5. SONUÇLAR

Enerji iletim hatlarının geçtiği güzergahlar, çevresel faktörler ve zemin karakteristiği açısından önemlidir. İzolator yüzeyinde oluşan kir tabakaları, düşük kaçak akımlara sebep olmaktadır; ancak temas gerilimleri üzerinde çok önemli bir etkisi görülmemiştir. Özellikle sert zemine sahip güzergahlar, temas gerilimini ciddi oranda attıran önemli bir faktördür. Dengesiz-lineer olmayan sistem durumunda oluşan temas gerilimleri, dengeli-lineer olmayan sisteme göre daha yüksek olduğundan iletim hattı çevresinde yaşayan insan ve diğer canlılar için daha fazla tehlike oluşturabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] KOCATEPE,C., UZUNOĞLU,M., YUMURTACI,R., KARAKAŞ,A., ARIKAN,O., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", Birsen Yayınevi, Kasım 2003,İstanbul.
- [2] DENGİZ, H.H., "Enerji Hatları Mühendisliği", 2.Baskı, Ankara, 1991.
- [3] ULUSOY, H., "Yüksek Gerilim Elektrik Malzemeleri ve Testleri", Ankara, 1993.
- [4] FINK, D.B., BEATY, H.W., "Standard Handbook For Electrical Engineers", 12th ed., McGraw-Hill, New York, 1987.
- [5] EPDK, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, 10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı RG.
- [6] Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, Resmi Gazete: 21.08.2001 tarih /24500 sayı.
- [7] TS EN 60507, A. A. Sistemlerinde Kullanılan Yüksek Gerilim İzolatorlerine Uygulanan Yapay Kirlilik Deneyleri, 1. Baskı, 1999.
- [8] TS IEC 815, Kirlenme Şartlarına Göre İzolatorlerin Seçilme Kuralları Kılavuzu, 1. Baskı, 1995.