

petrol rafinerilerinde yüksek gerilim sistemlerinin topraklaması

Yazan:

Gernot Funk

Çeviren:

Gediz Özdem

UDK: 621.316.37.027.3.053:665.54

ÖZET

Petrol rafinerilerini besleyen AA yüksek gerilim merkezlerindeki bir faz-toprak kısa devresinde topraklama elektrotlarında oldukça yüksek gerilimler doğabilir. İstenmeyen sonuçlara yol açabilecek bu gerilimlerin elden geldiğince düşük tutulması istenir. Yazıda elektrot gerilimlerini düşürmeye yönelik çeşitli yöntemler incelenmiştir.

SUMMARY

High voltage substations in oil raf iner ies can assume comparatively high earth-electrode voltages in the event of an earth fault in the ac supply system. For reasons of safety the earth-electrode voltages, which are the cause of a number of undesirable effects, should be kept as low as possible. Various measures for reducing earth-electrode voltages are considered.

1. GİRİŞ

Çoğu kez petrol rafinerileri elektrik enerjilerini 110 kV'luk (Türkiye'de 154 kV) YG (Yüksek Gerilim) şebekesinden çekerler. Eğer YG şebekesi doğrudan topraklıysa (Türkiye'de böyledir), bir yalıtım bozukluğundan yada bir atlama ile yüksek değerli faz-toprak kısa devre akımları doğacaktır. Toprak akımının tamamı yada bir bölümü YG trafo merkezinin topraklama sisteminden ve buna bağlı havai hatların topraklama elektrotlarından akar ve bunların topraklama sistemlerinde "topraklama-elektrodu gerilimi" (bundan böyle "elektrot gerilimi" olarak anılacaktır) diye anılan bir gerilimi meydana getirir. Topraklama sistemi gerilim kazanınca bununla metalik olarak bağlı tüm yapılar, donatı (ekipman) çevrelerine ve sonsuz uzaklıktaki toprağa göre bir gerilim kazanırlar.

Bir rafineride YG trafo merkezi genellikle, enerjinin kullanıldığı yerlere; örneğin, iyileştirme işleminin yapıldığı tesislere ve tanklara yakındır. Bu nedenle rafineride elektriksel işlevi olmayan topraklanmış yapılar da elektrot geriliminden etkilenir.

Gernot Funk, AEG.
Gediz Özdem, TEK.

"The earthing of the high-voltage supply systems in oil refineries", AEG Review, Cilt 53, 1963, No.516, s.203-210.

2. ELEKTROT GERİLİMİ

YG merkezinde bir faz-toprak kısa devresinde toprak direnci boyunca meydana gelecek gerilim;

$$U_E = I_E R^{\wedge} \quad (i)$$

biçiminde gösterilebilir, burada;

U_E : Elektrot gerilimini,

I_g : Toprak direnci üzerinden akan akımı[^]

R_E : Toprak direncini gösteriyor.

Rafineriyi besleyen YG sistemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Basitlik sağlamak amacıyla, YG havai hattı üç fazlı tek bir devre olarak gösterilmiştir. En büyük elektrot gerilimi rafinerideki YG trafo merkezinde meydana gelecek kısa devrede ortaya çıkacaktır. I_{k1} kısa devre akımının yalnızca bir bölümü R_g toprak direnci üzerinden akacaktır. Oldukça büyük bir bölümü ise havai hattın toprak teli üzerinden ve eğer varsa dengeleme (kontrpua) iletkeni üzerinden kaynağa yönelecektir. Bu nedenle genel olarak;

$$k = \frac{I_E}{I_{k1}} < 1 \quad (2)$$

yazılabilir.

(1) ve (2) numaralı denklemleri birleştirecek elektrot gerilimini

$$U_E = k I_{k1} R_E \quad (3)$$

biçiminde gösterebiliriz. Buradan görüleceği gibi elektrot gerilimi merkezin kurulduğu yerdeki R_g toprak direncine, I_{k1} faz-toprak kısa devre akımına ve bu akımın sistemdeki k bölünme katsayısına bağlıdır.

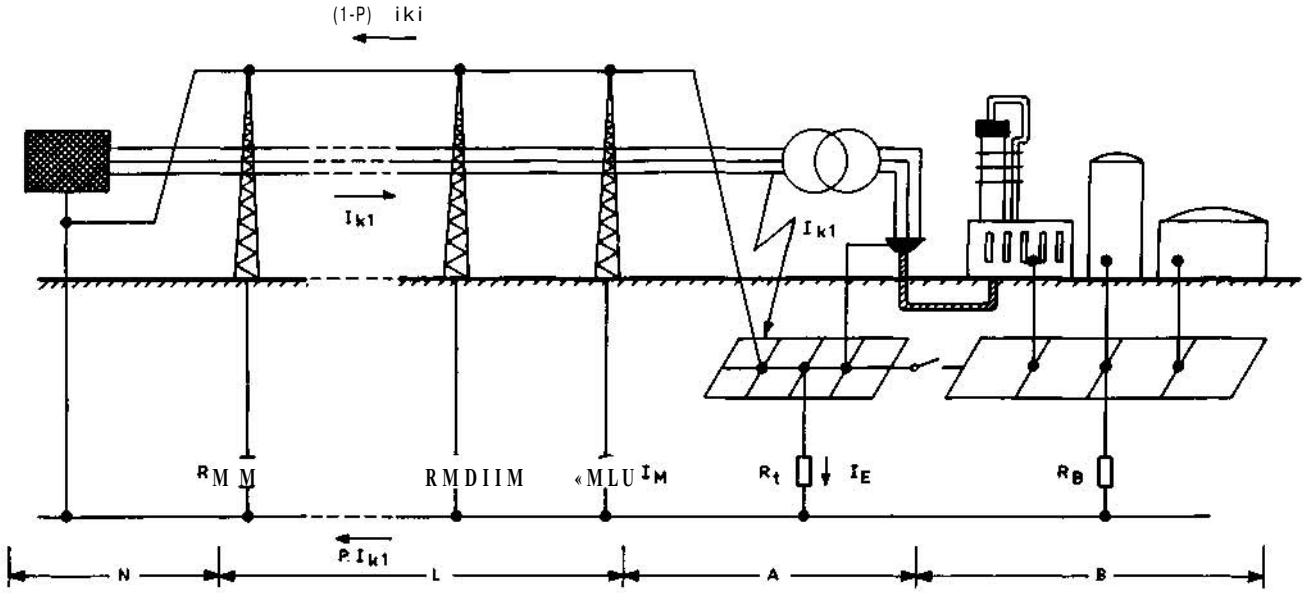
Meydana gelen elektrot gerilimi, anlık olarak elektrot üzerinde birkaç kilovolt düzeyine ulaşacak ve ortam içinde her yönde azalacaktır. Şekil 2'de yatay gömülmüş yuvarlak bir elektrotun gerilim profili gösterilmiştir. Elektrotun kenarlarında gerilim düşümü oldukça diktir. 0,2 D'lik bir uzaklık içinde toplam elektrot geriliminin % 50'sine yakın bir gerilim düşümü meydana gelmektedir. Bundan sonra eğri göreceli olarak yataylaşmakta ve kuramsal olarak sonsuz uzaklıkta sifıra düşmektedir. Pratik yönden gerilim profili elektrot merkezinden 6,4 D uzaklıkta son değerini almış sayılır. Bu uzaklıkta gerilim başlangıç değerinin ancak % 5'i kadardır.

3. ELEKTROT GERİLİMİNİN ETKİLERİ

Elektrot gerilimi birçok istenmeyen olaya neden olabilir:

Şekil 2'de verilen gerilim profili gözönüne alındığında kişiler, topraklanmış metal kısımlara dokunarak yada bu gerilim dağılımının etken olduğu zemini adımlayarak belirli bir gerilim altına girerler. Bu gerilimin büyüklüğü ve etki süresi saptanmış bir değerden büyük ise, yaşam için tehlikeli olabilir.

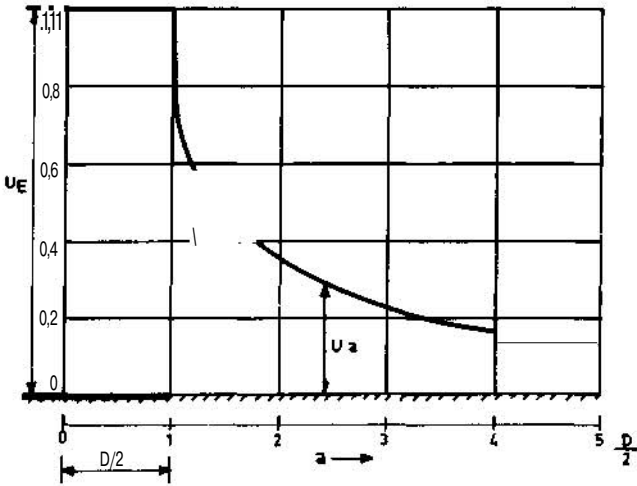
Gerilim profili içine giren topraklanmış metal kısımlar farklı gerilimli iki noktayı köprülemiş olabilir. Bu durumda elektrot akımının bir bölümü, borular, tanklar gibi elektriksel işlevi olmayan metal kısımlar üzerinden toprağa akar.



Şekil 1. Bir rafineri ve bunu besleyen YG sistemi. N: 110 kV'luk şebeke A: Rafineri trafo merkezi
L: 110 kV'luk havai hat B: Rafineri

Rafinerilerde bu akımların tutuşma ve patlamalara neden olmamasına dikkat edilmelidir. Örneğin üzerinden akım geçen bir petrol borusunda meydana gelecek bir çatlama yada kırılma noktasında bir kıvılcım doğabilir. Her ne kadar toprak kısa devresi ile mekanik bir boru çatlamasının aynı zamanda meydana gelme olasılığı küçük ise de gözden uzak tutulamaz.

Yalıtılmış iletkenler, örneğin uziletişim (telekomünikasyon) kabloları elektrot gerilimini ra-



Şekil 2. Yuvarlak bir levha elektrotun kenarındaki gerilim profili.

$$U_E = \frac{2}{\pi} \frac{t}{p} \frac{\text{arc sin } \frac{D}{2a}}{ir}$$

fineri dışına taşıyabileceği gibi, sonsuz toprak noktasını da (sıfır gerilimli toprak) trafo merkezine getirebilir. Bu nedenle bunların gerek işletme, gerekse koruma toprakları yalnızca bir noktadan yapılmalıdır. Bundan başka elektrot gerilimi, uziletişim kablolarının ve AG kablolarının çekirdekleri ile zırhları arasındaki yalıtımı zorlar. Bütün bu istenmeyen etkilerden sakınmak yada zararlarını en alt düzeyde tutmak için elektrot gerilimini en düşük değerde sınırlamak gerekir. Bunu sağlayacak çeşitli yöntemler aşağıda tartışılacaktır.

Müsade edilebilir elektrot gerilimi VDE'de doğru- dan doğruya belirtilmemiştir. VDE 0141/6.61 (1 kV ve daha yukarı gerilimli AA tesisatının topraklanmasına ait şartname)'de yalnızca müsa- de edilen adım ve dokunma gerilimleri tanımlanmıştır. Elektrot gerilimi, gerilim profilinin yeterli ölçüde yatay olması koşuluyla herhangi bir değerde olabilir. Öyle ki dokunma ve adımlama ile bu profilin iki noktasını birleştiren insan vücudu belirli gerilim değerlerinden fazlasına maruz kalmasın. Henüz taslak halinde olan VDE 0228/...61 (aynı ortamda bulunan uziletişim ve üç fazlı sistemler için alınacak önlemler) ve bununla aynı görüşü belirten CCITT (Uluslararası Telgraf ve Telefon Danışma Komitesi) standartlarında, uziletişim tesislerinde meydana gelecek girişim (interferans) gerilimlerinin, başka bir koruyucu aygıt yokken beklenen en büyük kısa devre akımının % 70'inde 300 V'u aşmaması istenir. Buna göre en- düktif girişim gerilimini ihmal edersek, beklenen en büyük kısa devre akımının 7* 100'ünde müsa- de edilebilir elektrot gerilimi;

$$U_{EM} = \frac{300}{0,7} = 430 \text{ V} \quad (4)$$

olur.

Petrol rafinerilerinin özel koşulları gözönüne alınarak elektrot geriliminin saptanması biraz tecrübe gerektirir ve bu konuda bir VDE nizamnamesi yoktur. O nedenle yukarıda bulunan 430 V, müsaade edilebilir elektrot gerilimi olarak alınacaktır. Rafinerilere ait YG trafo merkezlerinde topraklama alanı görelî olarak küçük, topraklama direnci de biraz büyüktür. Özel yöntemler uygulanmadıkça yukarıda bulunan müsaade edilebilir elektrot geriliminden oldukça büyük değerlerde gerilimlerle karşılaşılabilir-

4. ELEKTROT GERİLİMİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ

3 nolu denklemden açıkça görüleceği gibi elektrot gerilimini küçültmek için üç ana yol vardır. Bunlar;

- Havai hat toprak telleri ve dengeleme iletkenleriyle toprak akımını (k katsayısını) küçültmek.
- Topraklama sisteminin boyutlarını artırarak, topraklama direncini küçültmek.
- Toprak kısa devre akımlarını sınırlamak için sistemdeki bazı trafoları reaktans üzerinden topraklamak.

Bu önlemler uygulamada fiziksel, işletme koşulları, teknik ve ekonomik nedenlerle sınırlanmışlardır. Emniyetli bir elektrot gerilimi ancak bunların belirli ölçülerde bir arada uygulanmasıyla sağlanabilir.

Elektrot gerilimini düşürücü bu önlemlerin yararlılıklarını daha iyi anlayabilmek için RE toprak direnci ve akım dağılım katsayısını (k) birlikte incelemek uygun olacaktır.

Önce toprak kısa devre akımını $I_{y-} = 1000$ A olarak elektrot geriliminin düzeyini saptayalım.

$$U_e = [v/1000 \text{ A k.d.akımı}].$$

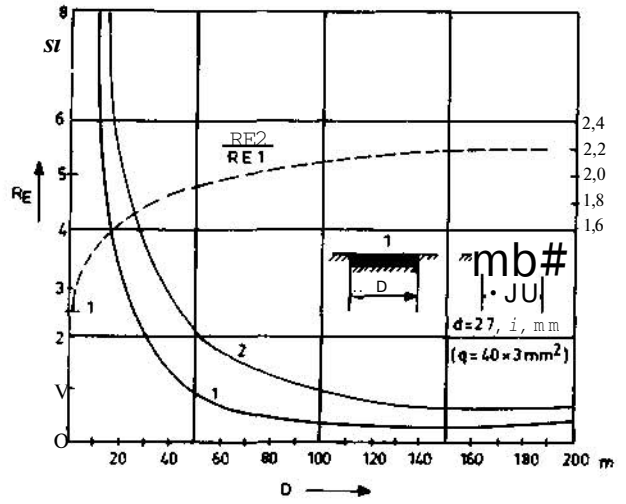
Toprak kısa devre akımının büyüklüğü pratik olarak R_{Σ} ve k'dan bağımsızdır.

Toprak kısa devre akımının gerçek değeri değişik olduğunda $I_{y-} = 1000$ A bazında hesaplanmış elektrot gerilimi, gerçek akımın 1000 A bazındaki pu değeri ile çarpılarak gerçek elektrot gerilimi bulunabilir.

4.1. Toprak Direnci

Bir YG trafo merkezinin topraklama elektrodu, şerit yada örgülü iletkenlerin bir ağ biçiminde ortalam 0,8 m (2,6 ft) derinliğe gömülmesi ile oluşturulur. Malzeme olarak galvanizli demir şeritler yada örgülü bakır iletkenler kullanılır. Şerit iletkenle elde edilmiş bir çerçevenin toprak direnci, bunun çevrelediği alana eşdeğer alanı kaplayan yuvarlak levhanın toprak direncine yakındır. Yuvarlak levha elektrotu için;

$$R_e = \frac{S}{2, D} \text{ olup burada;}$$



Şekil 3. Levha ve halka elektrotların toprak direnci.

- 1: Levha
2: Halka

R_e : toprak direncini (dağılma direnci)

S : toprak özdirencini (ohm.m)

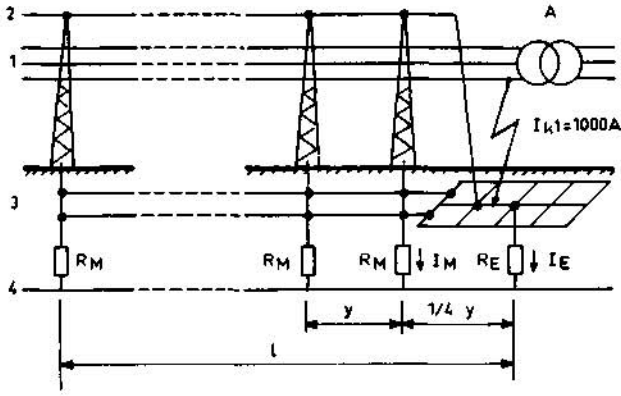
D : levha elektrodunun çapını (m) gösteriyor.

Şekil 3'de $S=100$ ohm.m olan bir toprakta R_e toprak dağılma direnci ile D levha çapı arasındaki bağıntı gösterilmiştir.

Karşılaştırma yapabilmek için halka biçimindeki elektrotun da toprak direnci verilmiştir. Her iki eğrinin karşılaştırılmasından görülür ki, D çapının çok küçük değerleri için halkanın boşluğu dolmakta ve eğriler birleşmektedir ($RE_2/RE_1=1$ için). Normal boyutlardaki bir topraklama sisteminde halkanın ve levhanın toprak dirençleri oranı 2:1'dir. Daha küçük boyutlu topraklama sistemlerinde, örneğin bir panonun halka yada eşdeğer alanlı levha elektrotla topraklanmasında bu fark daha da azdır ve % 10 dolayındadır.

Denklem 5'den görüleceği gibi toprak direnci, toprak özdirencine etki edilemediğine göre yalnızca topraklama alanının (D çapının) artırılmasıyla azaltılabilir. Yararlı toprak elektrodu yüzeyi rafineri topraklama sistemi ile YG trafo merkezinin topraklama elektrodu birleştirildiğinde artacaktır. Bu durumda toprak direncinde hissedilir bir azalma olacaktır. Örneğin, yaklaşık boyutlarla bir rafinerinin kapladığı alan 1000 mx500 m iken, buna ait YG trafo merkezinin alanı 50 mx50 m düzeyindedir. Rafinerinin boyutları bir hayli büyük olduğundan, topraklama sisteminin boyuna direnci toprak direncine (dağılma direnci) oranla daha büyük olabilir. Bu nedenle kısa devre akımı donatısının hemen çevresinden toprağa boşalacaktır. Bu olay gözönüne alınarak 5 nolu denklemdeki D yarıçapı, rafineri alanının yarısı için hesaplanmalıdır.

$p = 100$ ohm.m toprak özdirenci için, toprak dirençleri aşağıdaki düzeydedir.



Şekil 4. Toprak teli ve gömülü toprak iletkenleri (dengeleme iletkenleri) bulunan havai hat.

- 1: Hat iletkenleri
- 2: Toprak teli
- 3: Gömülü iletkenler
- 4: Toprak
- Y: Direklerarası açıklık
- i: Gömülü iletkenlerin uzunluğu

Trafo merkezi = $h = 1 Q$

Trafo merkezi + rafineri : $\dot{I}_E < 0,1 fi$

YG trafo merkezi ile rafineri topraklama sistemlerinin birleştirilmesinin sağladığı üstünlük, açıkça görülmektedir. Sakıncası ise, kısa devre akımının hatırı sayılır bir bölümünün tanklardan, işlem birimlerinden (ünite) ve boru sistemleri üzerinden toprağa akma olasılığıdır. Bundan dolayı donatının elektroda bağlantısı elektriksel olarak çok iyi yapılmalı ve rafinerideki işlem birimleri, tankları ve boru sistemleri elden geldiğince ağ biçiminde topraklanmalıdır. En azından YG trafo merkezinde, topraklama ağındaki aralıklar 10 m'den fazla olmalıdır. Diğer yandan rafineri ve YG trafo merkezi topraklama sistemlerinin birbirinden ayrılması, toprak kısadevre akımlarının rafinerideki elektriksel olmayan donatı üzerinden geçmesini geniş oranda önler. Doğaldır ki burada; rafineri ve YG trafo merkezi arasında topraklanmış ortak bir metal yapının olmadığı kabul ediyoruz. Bundan başka rafinerideki topraklanmış yapıların pratik olarak YG trafo merkezinin gerilim profili dışında olması gerekir. Bu uzaklık elektrot geriliminin büyüklüğüne bağlıdır. $U_E < A30 V$ olarak düşünürsek, 'D' YG trafo merkezi topraklama sisteminin eşdeğer yarıçapı olmak üzere $0,5 D$ uzaklığı emniyetli sayılabilir. Şekil 2'den görüleceği gibi, toprak elektrodunun kenarından itibaren bu uzaklık içinde gerilim, başlangıç değerinin üçte birine düşmektedir.

Görülüyor ki, bir rafineride topraklama elektrotlarının birleştirilmesi yada ayrı tutulması, duruma göre yararlı yada sakıncalı olabiliyor. Elektrot gerilimi toprak direncine doğrudan bağlıdır.

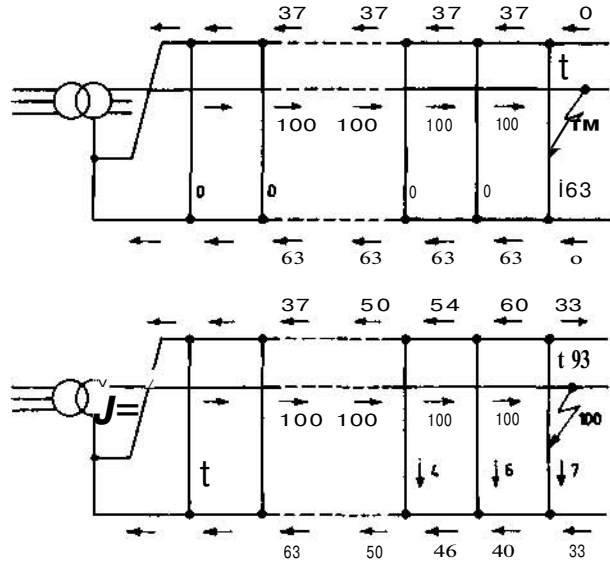
4.2. Toprak Kısa Devre Akımının Dağılımı

Şekil 1'den de görülebileceği gibi, toprak direnci üzerinden akan elektrot akımı (I_g), toplam top-

rak kısa devre akımının (I_{k1}) yalnızca bir bölümüdür. Çünkü merkeze giren YG hatları genellikle bir yada daha fazla toprak teli ile donatılır ve topraklama elektroduna bağlanırlar. Akımın bir bölümünün buradan dönmesi doğaldır. Gömülü dengeleme iletkenleri de arıza akımlarının dağılımında yardımcı olurlar. Bu iletkenler (Şekil 4) trafo merkezinden itibaren, hat güzergâhı boyunca 0,6 m - 0,8 m derinlikte gömülü olarak hattı izler ve her direk buna bağlanarak topraklanır. Ancak havai toprak telleri hattın bütününde bulunduğu halde, gömülü iletkenler için bu ekonomik değildir. Gömülü iletkenler merkezden itibaren kısa bir mesafe için kullanılmasına karşın elektrot geriliminin düşürülmesine son derece yardımcı olurlar.

Havai hat toprak tellerinden ve dengeleme iletkenlerinden gelecek akımların iki bileşenden oluştuğu düşünülebilir. Bunlardan birincisi iletkenler arasındaki ortak endüktansa bağlı olarak meydana gelen, hat boyunca sabit değerde olan ve arıza noktasına nisbeten bağlı olmayan bileşendir. İkinci bileşenin değeri ise, toprak telleri ile, dengeleme iletkenlerinin direncine ve direklerle merkezin topraklama direncine bağlıdır. Bu bileşen kısa devre noktasında en büyük değerde olup bu noktadan uzaklaştıkça direk topraklamalarından emilerek ve gömülü iletkenlerden toprağa yayılarak azalır. Tek başına birinci bileşen dengeli akım dağılımını, birinci ve ikinci bileşen beraber gerçek akım dağılımını gösterir (Şekil 5).

Gerçek ve dengeli akımlar arasındaki fark arıza noktasındaki toprak direnci ne kadar küçükse o kadar azdır. Toprak direnci sıfır olsaydı akım dağılımı başlangıçta dengelenecakti. Bununla beraber arıza noktasından belirli bir uzaklıktan sonra akımlar yine dengelenecek ve direklerden bir akım akmayacaktır.



Şekil 5. Dengeli ve gerçek akım dağılımları.

Yukarıda: Dengeli akım dağılımı $R_M = 0$
Aşağıda: Gerçek akım dağılımı $R_M = 1 \Omega$

Toprak Teli Sayısı	Dengeleme İletkeni Sayısı	% I ₂ Toprak Telinden Geçen Akım	% i ₃ Dengeleme İletkeninden Geçen Akım	% I ₄ Toprakta Geçen Akım	x ₀ Ohm/km (Ohm/mil)	
					Tek Devre	Çift Devre
-	-	-	-	100	1,46(2,35)	2,30(3,70)
1	-	36	-	65	1,14(1,84)	1,67(2,70)
1	1	29	24	48	1,03(1,66)	1,45(2,33)
1	2	25	37	39	0,97(1,56)	1,3^(2,15)
1	3	24	42	35	0,94(1,52)	1,27(2,05)

$\hat{R}_{S,T} = 3x_0 = \% 100$ $S = 100 \text{ Ohm-m}$ $X_m = 0,38 \text{ Ohm/km (0,6 Ohm/mil)}$

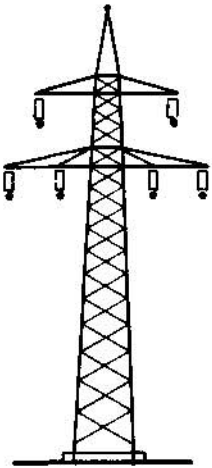
Çizelge 1. 110 kV, üç fazlı bir havai hat için sıfır dizi reaktansları ve dengeli akım dağılımı.

Çizelge 1'de dengeli akım dağılımını gösteren pratik değerler verilmiştir. Buradaki değerler çift devreli direklere ait olmakla birlikte iyi bir yaklaşımla her türlü işletme gerilimi ve direk tipi içinde geçerli kılınabilir. Toprak teli dengeleme iletkenindeki ve topraktaki akımlar yüzde olarak bu çizelgede verilmiştir. Havai hatta gerek tek devre, gerekse iki devrenin serviste olması durumunda, bütün iletkenlerdeki akım toplamı 7. 100 olarak alınmıştır.

Dengeli akım dağılımı Şekil 1'de gösterildiği gibi, p düzeltme katsayısının yardımı ile hesaplanabilir:

$$P = \frac{\sqrt{4}}{3I_0} = \frac{\text{toprakta geçen akım}}{3 \cdot \text{sıfır bileşen akımı}}$$

$$3I_0 = I_R + I_S + I_T$$



Şekil 6. 110 kV'lık bir havai hat ve gömülü toprak iletkenlerine ait sayısal veriler.

Hat iletkenleri 185/30 Al-St
Toprak teli 95/55 Al-St
Gömülü iletkenler 95 Cu (kurşun kaplanmış)

$X_m = 0,38 \text{ Ohm/km}$
 $X_o = 1,14 \text{ Ohm/km (tek devreli)}$
 $X_o = 1,67 \text{ Ohm/km (çift devreli)}$
 $n = \text{gömülü iletkenlerin sayısı}$
 $R_s = 10 \text{ Ohm}$
 $S = 100 \text{ Ohm.m}$

Şekil 1'deki basit durumdaki gibi yalnız bir taraftan beslenen arızalarda;

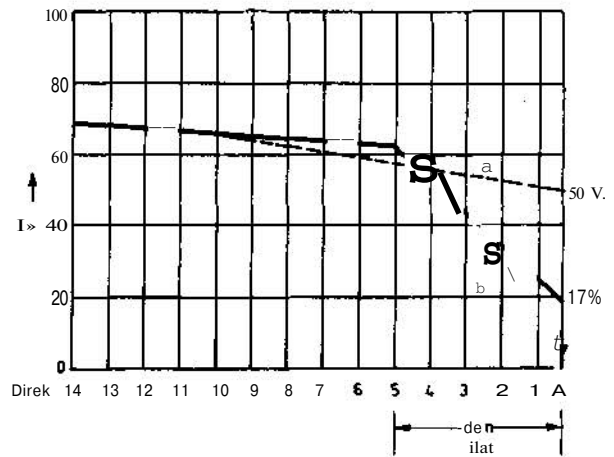
$$3I_0 = I_{k_1} \text{ olur.}$$

Arıza noktasından toprağa akan elektrot akımı daima toprak kısa devre akımının dengeli bileşeninden küçük yada en fazla ona eşittir, k ile p katsayısı arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

$$k \leq p$$

4.3. Gömülü Topraklama İletkenlerinin Etkisi

Gömülü topraklama iletkenleri (dengeleme iletkenleri) elektrot gerilimlerinin düşürülmesinde son derece yararlıdır. Bunların çeşitli tertipleri 110 kV'lık bir havai hat modelinde incelenmiştir. Havai hat ve dengeleme iletkenlerinin inceleme konusu olan tertipleri hakkındaki ön bilgiler Şekil 6'da verilmiştir. Merkezin toprak direnci rafineri topraklamasıyla bağlantı yapılması yada



Şekil 7. A merkezindeki bir toprak kısa devresinde hat boyunca topraktan akan akımlar.

a: Dengeleme iletkeni yok, $R_m = 10 \text{ Ohm}$
b: Beşinci direğe kadar çift toprak iletkeni var, $R_e = 0,5 \text{ Ohm}$

yapılmaması durumuna göre 0,01 ohm ile 1 ohm arasında değişmektedir.

Gömülü topraklama iletkenlerinin etkisi Şekil 7'de görülmektedir. Merkeze giren 110 kV havai hatın altındaki toprak akımı da bu diyagramda verilmiştir. I_0 akımı arıza noktasında minimum iken, bu noktadan uzaklaştıkça büyümekte, sonuçta belirli bir uzaklıkta dengeli akım dağılımı değerini almaktadır. Toprak akımının I_0 başlangıç değeri, merkezin topraklama elektrodundan akan I_g elektrot akımına eşittir.

Kabul edilen ön bilgilere göre, meydana gelecek elektrot gerilimi;

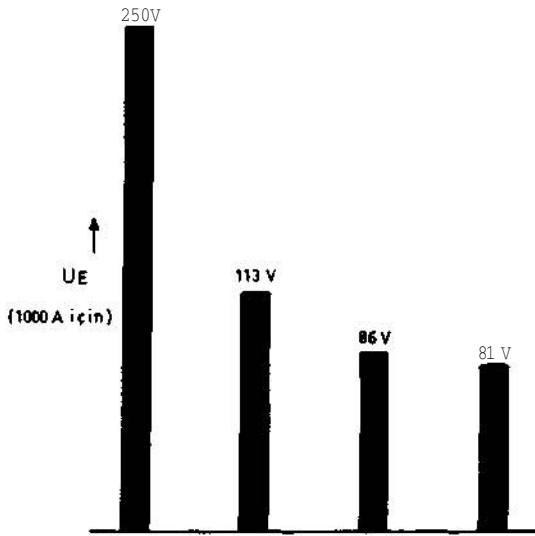
Dengeleme iletkeni olmadan;

$$U_E = 0,50 \cdot 1000 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ ohm} = 250 \text{ V}$$

İki adet dengeleme iletkeni bulunduğunda;

$$U_E = 0,172 \cdot 1000 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ ohm} = 86 \text{ V}$$

Dengeleme iletkenlerinin Şekil 6'da gösterilen çeşitli tertiplerine göre elektrot geriliminin alacağı değerler Şekil 8'de grafiksel olarak verilmiştir. Görüleceği gibi üç dengeleme iletkeni kullanmakla gerilimde sağlanacak azalma iki dengeleme iletkenliye göre fazla bir üstünlük sağlamamaktadır. Çünkü yakın gömülen iletkenler birbirlerinin dağılıma dirençlerini etkiler. Toprak



Toprak teli	1	1	1	1
Kontrupua	—	1	2	3

Şekil 8. A merkezindeki bir toprak kısa devresinde dengeleme iletkeni sayısının elektrot gerilimine etkisi.

$$I_{KT} = 1000 \text{ A}$$

$$R_M = 10 \text{ Ohm}$$

$$R_E = 0,5 \text{ Ohm}$$

Dengeleme iletkenlerinin uzunluğu:
 $i = 4 \text{ y}$ (5'inci direğe kadar)

direnci ile iletken sayısı arasındaki ters orantı basit bir orantı değildir. Bu bağıntı:

$$R_E(n) = b \cdot \frac{RB(D)}{n}$$

şeklinde olup, burada;

$R_E(n)$: Paralel gömülmüş iletkenlerin toprak direncini,

$R_E(l)$: Tek gömülü iletkenin toprak direncini,

n : Gömülü iletken sayısını ve

b : Girişim katsayısını gösteriyor.

Şekil 6'daki tertiplere göre b girişim katsayısı:

$$n = 1 \text{ için } b = 1,$$

$$n = 2 \quad " \quad b = 1,2,$$

$$n = 3 \quad " \quad b = 2,35$$

değerlerini alır.

Daha önce de belirtildiği gibi dengeleme iletkenlerinin uzunluğu ekonomik nedenlerle sınırlanmıştır. Bu durumda emniyetli bir elektrot gerilimi sağlayabilmek için dengeleme iletkenlerinin uzunluğu ne olmalıdır? Şekil 9'da çeşitli toprak dirençleri ve 1000 A'lık toprak kısa devre akımı için elektrot geriliminin, gömülü iletkenlerin uzunluğuna bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi gömülü iletkenler, toprak direnci yüksek olduğunda, elektrot gerilimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Örneğin YG trafo merkezi topraklamasının rafineri topraklama sistemine bağlanmadığı durumlarda dengeleme iletkenlerinin sağladığı yarar büyüktür. Diğer yandan rafineri ve trafo merkezi topraklamaları, birleştirilmiş ve toprak direnci küçük ise bunların sağlayacağı yarar nisbeten azalır.

Dengeleme iletkenleri için optimum uzunluk 4-6 direk açıklığı kadardır. Bundan sonraki uzunluk-

$$I_{kt} = 1000 \text{ A}$$

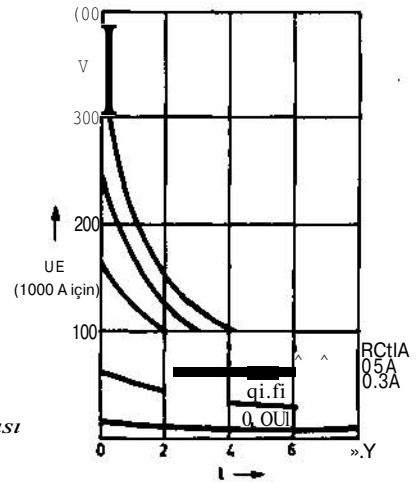
$$R_{lf} = 10 \text{ Ohm}$$

$$S = 100 \text{ Ohm-m}$$

2: Dengeleme iletkenleri

£: Dengeleme iletkeninin uzunluğu

Y: Direkler arası açıklık



Şekil 9. Farklı toprak dirençlerine (RE) sahip YG merkezlerinde, dengeleme iletkenlerinin uzunluğunun elektrot gerilimine etkisi.

lar elektrot geriliminin azaltılmasında çok küçük oranda yarar sağlar. Daha kısa iletken kullanmak ise yüksek toprak direncinin bulunduğu yerlerde olanaklardan yararlanmamak anlamına gelir.

5. TOPRAK KISA DEVRE AKIMLARI

Toprak kısa devre akımları öncelikle şebekenin kısa devre gücüne ve sistem nötrünün topraklama biçimine bağlıdır. Merkezin ve dengeleme iletkenlerinin toprak dirençleri bu akımın belirlenmesinde önemli rol oynamaz.

Şekil 10'da basit olarak bir rafineriyi besleyen YG devresi gösterilmiştir.

Rafineriye ait A merkezi N şebekesinden üç fazlı çift devreli bir hatla beslenmektedir. A merkezindeki her iki trafonun nötrü 110 kV tarafından topraklı değildir. Meydana gelecek kısa devre akımını hesaplamak için 110 kV'luk şebekenin elektriksel karakteristikleri olarak;

S_k kısa devre gücünü,

X_o/X_k devre parametresini gösterebilir.

Buradaki S_k kısa devre gücü MDE 0102/9.62 (Kısa Devre Akımlarını Hesaplama Yöntemi) de tanımlanan S_{k1} başlangıç simetrik kısa devre gücüdür ($I_{k1} = I_k$). X_o/X_k devre parametresi, arıza noktasından bakıldığında görülen reaktansın sıfır dizi bileşeninin pozitif dizi bileşenine oranıdır. Bu parametre X_o/X_m yada X_o/X_l biçiminde de gösterilmektedir. Şebekedeki kısa devre akımları aşağıdaki bağıntılardan bulunabilir:

Üç fazlı kısa devre için;

$$I_{k3}(N) = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot 4U}$$

Tek fazlı kısa devre için

$$I_{k1}(N) = \frac{h}{\sqrt{3}U} \cdot \frac{3}{2 + X_o/X_k}$$

Şekil 11'de S_k kısa devre gücü ve X_o/X_k devre parametresine göre I_{k1} akımının değişimi gösterilmiştir. $X_o/X_k=1$ doğrusu I_{k3} için de geçerlidir.

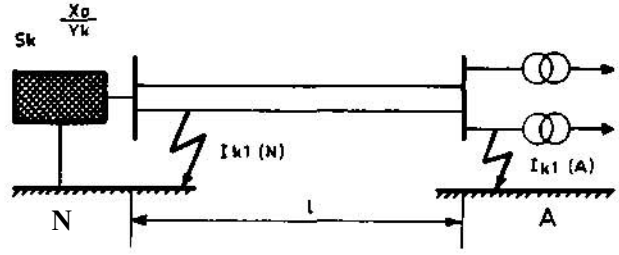
Devre parametresi X_o/X_k aynı zamanda nötrün topraklanması konusunda da bir ölçüdür. MDE 0111/2.61 (1 kV ve Daha Yukarı Gerilimlerdeki AA Tesislerinin Testleri ve Anma Değerleri İçin Tavsiyename) doğrudan topraklı şebekeler ile doğrudan topraklı olmayanlar arasında bir ayırım yapmıştır. Bu ayırım "topraklama katsayısı" olarak anılan ve iki gerilimin oranı olarak verilen bir katsayıya göre yapılır. Topraklama katsayısı m ile devre parametresi X_o/X_k arasında belirli bir bağıntı vardır. Tanımlamalar aşağıdaki gibidir:

Nötrü doğrudan topraklı şebekelerde:

$$m \leq 0,8 \text{ yada } X_o/X_k \leq 4 \text{ (5,2)}$$

Nötrü doğrudan doğruya topraklı olmayan şebekelerde:

$$m > 0,8 \text{ yada } X_o/X_k > 4 \text{ (5,2)}$$



Şekil 10. Şebekenin kısa devre verileri ve toprak kısa devre akımlarının gösterimi.

N: Doğrudan topraklı 110 kV'luk şebeke

A: Rafineri YG merkezi

l: 110 kV'luk çift devre havai hattın uzunluğu

Devre parametresi ile ilgili olarak, parantez içinde verilen değerler şebekede direncin olmadığı kuramsal duruma aittir. Doğrudan topraklı şebekelerde devre parametresi genellikle 2 ile 4 arasındadır.

Şekil 11'den okunacak toprak kısa devresi akımları 110 kV'luk şebekeye aittir. Rafineriye ait 'A' YG merkezinde meydana gelecek akımlar daha küçüktür:

$$I_{k1}(A) = \frac{I_{k1}(N)}{1 + \frac{2X_m + X_o}{\sqrt{3}U} \cdot l \cdot I_{k1}(N)}$$

Burada;

$I_{k1}(A)$: Rafineriyi besleyen 'A' YG merkezindeki toprak kısa devre akımını,

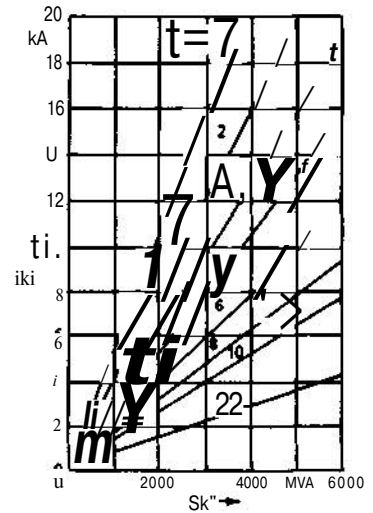
$I_{k1}(N)$: 110 kV'luk şebekenin toprak kısa devre akımını,

X_m : 110 kV'luk havai hattın pozitif dizi reaktansını,

X_o : 110 kV'luk havai hattın sıfır dizi reaktansını,

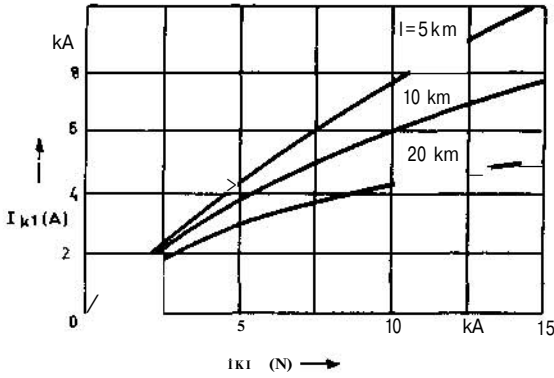
l : 110 kV'luk havai hattın uzunluğunu,

U : İşletme gerilimini gösteriyor.



Şekil 11.

110 kV'luk şebekede I_{k1}/X toprak kısa devre akımının, S^o/k kısa devre gücü ve X_o/X_k devre parametresine göre değişimi.



Şekil 12. Rafineri ile şebeke arasındaki 110 kV luk hattın farklı uzunlukları için rafineri merkezindeki toprak kısa devre akımlarının şebekedeki toprak kısa devre akımlarına göre değişimi.

Şekil 12, A ve N sistemleri arasındaki farklı fi-der uzunlukları için A merkezindeki toprak kısa devre akımlarının N şebekesindeki toprak kısa devre akımlarına göre değişimini gösteriyor. Hat karakteristikleri Şekil 6'daki gibidir.

6. SAYISAL ÖRNEK

110 kV luk bir YG merkezindeki toprak kısa devre- sinde oluşabilecek elektrot geriliminin hesabını sayısal bir örnekle gösterebiliriz. Şekil 10'daki şebeke için, böyle bir merkezde kabul edilebile-cek değerler aşağıdadır.

N şebekesinin kısa devre gücü $S_k = 3500 \text{ MVA}$

Devre parametresi $X_d/X_k = 4$

A ile N arasındaki uzaklık $I = 10 \text{ km}$ (6,2 mil)

A merkezinin toprak direnci $R_f = 0,5 \text{ ohm}$

Buna göre Şekil 11'den 110 kV' luk devrenin toprak kısa devre akımı bulunur:

$$I_{k1}(N) = 9200 \text{ A}$$

A merkezindeki toprak kısa devre akımı da Şe- kil 12'den bulunur:

$$I_{k1}(A) = 5800 \text{ A}$$

$I_{k1}(A)$ akımı, öngörülen koşullarda bu rafineride-ki YG merkezinde meydana gelecek en büyük toprak kısa devre akımını gösteriyor. Eğer 110 kV'luk havai hat Şekil 8'deki gibi dengeleme iletkeni olmadan işletilirse, A merkezinin elektrot geri- limi

$$U_E = 250 \text{ V} \cdot \frac{5800}{1000} = 1450 \text{ V} \text{ olacaktır.}$$

Bu değer 4 nolu denklemden bulunan müsaade edile- bilir 430 V geriliminin oldukça üstündedir. Elek- trot gerilimini düşürmek için dengeleme iletkeni kullanılabilirliği belirtilmişti. Beşinci direğe kadar çift dengeleme iletkeni yerleştirildiğinde ($f = 4y$) Şekil 8 ve Şekil 9'a göre;

$$U_E = 86 \cdot \frac{5800}{1000} = 498 \text{ V} \text{ olur.}$$

Bu gerilim de yüksektir. Dengeleme iletkenleri- nin boylarını yedinci direğe kadar uzatırsak ($d = 6y$), Şekil 9'dan;

$$U_E = 71 \cdot \frac{5800}{1000} = 412 \text{ V} \text{ olur.}$$

Elektrot gerilimini azaltmak için diğer bir yol da, toprak elektrodunun boyutlarını büyütme ya- ni YG trafo merkezinin topraklama sistemi ile rafineri topraklama sistemini birleştirmektir. Bu durumda direncin değeri düşeceğinden, arıza noktasında oldukça dengeli bir akım dağılımının olacağı düşünülebilir. Çizelge 1'e göre bir top- rak teli olan ve dengeleme iletkeni bulunmayan havai hat için düzeltme katsayısı $p = 0,65$ olmak- tadır. Elektrot gerilimini 430 V'un altında tut- mak için, toplam toprak direnci

$$R_E = \frac{430}{0,65 \cdot 5800} = 0,114 \text{ ohm, dan}$$

daha büyük olmamalıdır.

$p = 100 \text{ ohm-m}$ özgül dirençli bir yerde, 5 nolu denkleme göre bu direnci verecek eşdeğer elek- trot çapı $D = 440 \text{ m}$ (1444 ft) dir.

Sayısal örnekten de görüldüğü gibi alınan tüm önlemlerin amacı, toprak kısa devresi sonucunda doğacak elektrot gerilimini emniyetli olduğu ka- bul edilen 430 V'un altında tutabilmektir. An- cak bu yolda alınacak en etkili önlem meydana gelecek toprak kısa devre akımını küçültmek ya- ni 110 kV'luk şebekede nötrü bobinler üzerinden topraklamak ya da trafoların yalnız bir bölümünün nötrünü topraklamaktır. Doğaldır ki bu, şebekenin tüm olarak işletme gereksinimlerini ve koşulla- rını ilgilendirir.

7. ÖZET

YG trafo merkezlerinde topraklanmayı etkileyen iki önemli öge vardır.

o Nisbeten küçük boyutlar

o Bunun sonucundaki yüksek toprak direnci.

Genellikle bir rafineride YG trafo merkezi işlem birimlerine, tank gruplarına vb. yakın olduğun- dan elektrot gerilimlerinin etkileri üzerinde önemle durulması gerekir.

Toprak kısa devre akımlarının yol açtığı elektrot gerilimlerinin mümkün olduğu kadar düşük tutul- masına çalışılmalıdır. Müsaade edilebilir elektrot gerilimini sınırlayıcı ve belirleyici bir nizam- name yoktur. Bu nedenle VDE 0228 de anılan 430 V değeri üst sınır olarak kabul edilebilir.

Elektrot gerilimi şu önlemlerle azaltılabilir: Toprak kısa devre akımlarının sınırlandırılması, YG merkezi ile rafineri topraklama sistemlerini birleştirilecek toprak direncini azaltmak, YG merkezine giren havai hatları, dengeleme iletken- leri ile donatarak kısa devre akımının buralar- dan da dağılmasına yardımcı olmak. Bütün bu yön- temler, teknik, işletme ve ekonomik nedenlerle belirli ölçülerde sınırlanmıştır.