

Topraklama tasarımının hazırlanması

N İ HAT TAVLAN -

UDK: 621.316.99.001.2

ÖZET

Topraklama konusunda birçok yazı yayınlanmasına karşın meslektaşlardan gelen sorulardan anlaşıldığına göre basit bir trafo merkezinin topraklamasını gerçekleştirmek bile sorun olmaktadır. Yayınlanan yazılar genellikle topraklamanın kuramsal incelemelerinin çevirileri olduğundan uygulamacı arkadaşlara fazla birşay vermemektedir. Bu nedenle yazıda kurama girmeden tipik bir trafo merkezinin önce topraklama tasarım hesapları verilecek, daha sonra önerilerin ve hesapların baraj, fabrika, TRT verici merkezleri, laboratuvar vb. tesislere uygulanması irdelenecektir.

Topraklama tasarımına esas olan kısa devre hesaplarında, genç arkadaşlara yararlı olacağı inana ite, per unit yöntemi ayrıntılı biçimde verilmiştir.

SUMMARY

The methods used in designing the grounding system of a transformer substation are given together with applications to dams, factories, broadcasting stations, and laboratories.

1. Tasarımın Hazırlanması

Bir topraklama tasarımı hazırlanırken tesise ait elektriksel özellikler, tesisin yerleşme planları, topraklanacak alan içerisindeki çelik yapıların, tel örgü çitin, çelik boru planlarının elde edilmesi gerekir. Eğer tesis 380 kV, 154 kV ve 66 kV indirici trafo merkezi ise trafo merkezine giren ve alçak gerilimde çıkan enerji iletim hatlarının özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Orta gerilim trafo merkezlerinde ileride görüleceği gibi trafo merkezine giren ve çıkan enerji iletim hatlarının topraklamaya etkisi bir güvenlik payı olarak düşünülüp hesaplara sokulmaması adet olmuştur.

Nihai Taylan, ESA Ş

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 261-262

Bir topraklama tasarımının hazırlanmasında aşağıdaki sıra izlenmelidir.

1.1. Toprak özgül Direncinin Saptanması:

Ülkemizde trafo merkezleri genellikle tarla zeminlerde kurulduğu için özgül direnç $p = 200 \text{ } \Omega \text{ m}$ alınabilir. Zemin kayaya yakın nitelikteyse $p = 1000 \text{ } \Omega \text{ m}$ alınabilir. Tam kayalık zemin 2000-3000 $\Omega \text{ m}$ arasındadır. Büyük tasarımları titizlikle hazırlamak gerekirse, trafo merkezinin oturacağı zeminin özgül direncini ölçtürmek en iyi yoldur.

1.2. Maksimum Toprak Kısa Devre Akımı,

Tek fazlı kısa devre akımı ve bu akımın trafo merkezine bağlı yüksek gerilim hatlarına akan bölümünün (380 kV, 154 kV ve 66 kV hatlar için bu bölümün hesabı önemlidir) hesaplanması gerekir. Yeni VDE (0141 - 7.76) yönetmeliğinde 110 kV'nın üzerindeki şebekelerde en kötü koşullara göre hesaplanan kısa devre akımı için bir olasılık katsayısı (W) öngörülmüştür ($W=0,7$). Kesit hesabında kısa devre akımı bu katsayı ile çarpılmalıdır. Ancak ülkemizde bu katsayı gözönüne alınmamaktadır.

1.3. Kesitin Bulunması:

En uygun kesitin nasıl bulunacağı hesap bölümündeki örnekte ayrıntılı anlatılmıştır.

1.4. Topraklama Direncinin Bulunması:

Topraklama dizgesi trafo merkezlerinde ve diğer tesislerde genel olarak 0,8 - 1,0 m gömülen bakır iletken ya da bunun eşdeğeri galvanizli çelik şeritten oluşan ağ biçiminde yapılır. Yazıda ağ dizgesinin göz gerilimleri ve yayılma dirençleri hesaplanmıştır.

1.5. Maksimum Topraklama Dizgesi Geriliminin Hesabı:

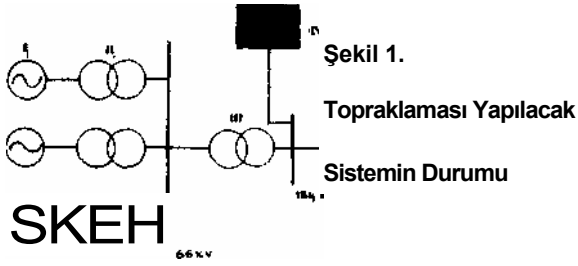
Hesaplanan maksimum topraklama dizgesi gerilimi ve buna bağlı olarak adım ve dokunma gerilimleri yönetmeliklerin öngördüğü sınırların üzerine çıkarsa tasarım ve hesaplar yeni baştan yapılır.

Büyük tasarımlarda (380 kV trafo merkezlerinin, su ve ısı santrallerinin) yerleşim durumuna uygun yapılan topraklama dizgeleri istenen maksimum topraklama dizgesi gerilimi ile adım ve temas gerilimlerini tutturamazsa ikinci bölümde önerilen ek önlemleri almak gerekir.

2. Tasarımın Hesaplanmasında İlkeler

örnek tasarım Kepez sisteminden beslenen Ferro-Krom fabrikası indirici merkezidir. (3x25 MVA, 154/34,5 kV).

Tel çit ile çevrili trafo merkezinin alanı yaklaşık 100x60
* 6000 m2dir(Sekili)



Şekil 1.

Topraklaması Yapılacak

Sistemin Durumu

Dizgeye ait özellikler: I.

Kepez üreteçleri:

$U_n = 6300 \text{ V}$, $N_n = 11.000 \text{ kVA}$
 $X'_d = 0,19$

II. Kepez santralı yükseltici trafoları

$U_n = 6,3/66 \text{ kV}$, Dy 11

$N_n = 11.000 \text{ kVA}$, $U_k = 8,06\%$

$X_1 = X_2 = X_0 = 8,00\%$

%

$X_0 = 0,85 \cdot x = 6,851\%$

III. Ara trafo

66/154 kV, YnynO

$N_n = 20 \text{ MVA}$

$U_k = 4\%$

$X_1 = X_2 = 4\%$

$X_0 = 2,0,04 = 7,98\%$

IV. Kuzey Batı şebekesi

154 kV, kısa devre kesme gücü = 2500 MVA

V. iletim hattı

25 Km, 154 kV, $X_L = 0,42 \text{ n/Km}$, $X_L = 25 \cdot 0,42 = 10,5 \text{ n}$

VI. Ferro Krom indirici trafo merkezi:

334

154/34,5 kV, YnynO

$N_n = 25 \text{ MVA}$

$X_1 = X_2, X_0 = 5X_1$

Topraklama tasarımına temel olan 6 noluk trafo merkezinin 34,5 kV barasındaki tek fazlı kısa devre hesabı için per ünit yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için seçilen bazı değerler aşağıdadır:

$N_b = 25 \text{ MVA}$, $U_b = 344 \text{ kV}$

$$I_b = \frac{N_b}{\sqrt{3}U_b} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 344} = 418,623 \text{ A}$$

U_n^2

100

Bu değeri 6 noluk trafo merkezinin 34,5 kV barasına indirgemek için önünde bulunan trafoların sekonderine indirgemek gerekir.

$$X = \frac{19 \cdot 6,3^2 \cdot 25}{100 \cdot 34^2} + \frac{66 \cdot 154 \cdot 345^2}{6,3 \cdot 66 \cdot 154^2} = 0,4318 \text{ (pu)}$$

Burada da görüldüğü gibi gerilim baz değeri indirgenecek ile (34,5 kV) aynı alındığında gerilimler birbirini götürüyor ve hesap basitleşiyor.

Ters bileşen:

$$X'' = \frac{13 \cdot 6,3^2 \cdot 25}{6,3^2} + \frac{66 \cdot 154 \cdot 34,5^2}{6,3 \cdot 66 \cdot 154^2} = 0,295 \text{ (pu)}$$

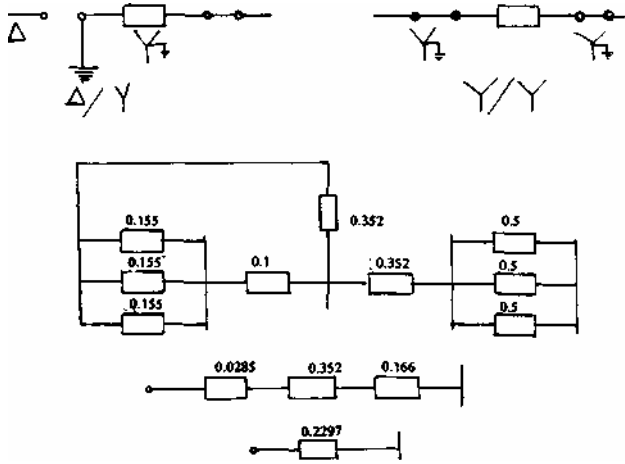
100 11

0,295 (pu)

Sfır bileşen:

$$X'' = \frac{0,13}{4,3} = 0,03 = 3\%$$

ELEKTRİK
MÜHENDİSLİĞİ 261-262



Şekil 4. Sıfır bileşen devrelerinin gösterimi

Sıfır dizgede üreteç yükseltici trafoları üçgen - yıldız bağlı olduğundan generatör X_Q değeri hesaba girmez.

$$X_{\text{toplam}} = 0,2297 \text{ (pu)}$$

34,5 kV barada üç fazlı kısa devre akımı:

$$X_{\text{toplam}} = 0,0545 \text{ (pu)}$$

$$Z_k = \frac{0,0545}{2,02} = 0,027 \text{ (pu)}$$

$$I_{3k} = 20,2 \cdot I_b = 20,2 \cdot 418,623 = 8,450 \text{ kA}$$

34,5 barada tek fazlı kısa devre akımı:

$$I_k = \frac{1}{\frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_0}} = \frac{1}{\frac{1}{0,0545} + \frac{1}{0,0545} + \frac{1}{0,2294}} = 9,78 \text{ (pu)}$$

$$I_{1k} = 9,78 \cdot I_b = 9,78 \cdot 418,623 = 4,09 \text{ kA.}$$

Eğer trafo merkezine gelen ve giden enerji iletim hatlarının koruma iletkenleri trafo merkezi topraklamasına bağlanmış ise (ki bu bağlantı kesinlikle yapılmalıdır)

kısa devre akımının tümü topraklama dizgesinden akmaz, bir bölümü koruma iletkenleri üzerinden dağılır. Eğer kısa devre trafo merkezinin dışında ve merkeze gelen yada giden iletim hatları üzerinde oluşmuşsa yine kısa devre akımının bir bölümü doğrudan koruma iletkeni aracılığı ile trafonun nötr noktasına akar. Koruma iletkeninin trafo merkezinin topraklama dizgesine bağlanmasının diğer bir yararı da iletim hatlarının direk topraklamaları trafo merkezi topraklama dizgesi ile koştur bağlanmış olduğundan toplam direncin küçülmesidir. Pratikte hat koruma iletkeninin bu her iki etkisinin hesabı oldukça güç olduğundan orta gerilim şebekelerinde gözönüne alınmaz, koruma iletkenin bu üstünlükleri bir güvenlik payı olarak gözetilir. Bizim örneğimiz 154 kV sistem trafo merkezi olduğu için aslında bu hesapları yapmak gerekir, ancak tasarımcıyı uzun hesaplara sokmamak için pratik sonuçlar vermekle yetiniyoruz (hesap yöntemi 1 nolu kaynakta vardır). İki 154 kV ve üç 34,5 kV hat bağlı bir trafo merkezinde kısa devre akımının koruma iletkenleri üzerinden akan bölümü % 48 dolayındadır, yani trafo merkezinin topraklama dizgesinde kesit hesabı için kısa devre akımının geriye kalan % 52'lik bölümünü temel almak gerekir. Bir 154 kV ve bir orta gerilim hattına sahip (minimum durum) bir trafo merkezinde koruma iletkenlerinden bölüm yaklaşık % 25'dir. Tasarımcı uzun hesaptan kaçınıyorsa; bu minimum değeri (% 25) alması (154 kV'luk trafo merkezine kaç hat bağlı olursa olsun) uygun olur, geriye kalan miktar bir güvenlik payı olarak gözetilir. örneğimizdeki trafo merkezi topraklama dizgesinin "kesit biçimine esas kısa devre akımı:

$$I_k = 0,75 \cdot 4,09 = 3,07 \text{ kA.}$$

olacaktır.

Topraklama dizgesi kesitinin seçiminde rol oynayan diğer önemli etken de arıza temizleme zamanıdır. Kısa devrenin başlaması ile röle ve kesicilerin açma anına kadar geçen arıza temizleme zamanı $0,4 - 0,5$ alınabilir. Çok yüksek gerilimli -dizgelerde (380 kV ve yukarısı) ölü zamanı sıfır düzeyinde olan transistör rölelerin ve çok hızlı açan kesicilerin geliştirilmesi ile arıza temizleme zamanı çok düşmüştür ve bu sistemlerde ölü zaman $0,2 - 0,3^{sn}$ alınmaktadır. Arıza temizleme zamanını bu değerlerin üzerinde almak gereğinden çok bakırı toprağa gömmek demektir. Yönetmelik kesit değerini yalnız bir saniyeye göre verdiği için, yani kısa devre akımının 1 saniye süreyle geçtiği varsayılarak kesit çizelgesi hazırlanmış olduğundan, 0,5 saniye süren kısa devre akımını 1 saniyelik süreye indirgemek gerekir:

Ü+

- I - çizelgedeki akım değeri
 I_k - hesaplanan kısa devre akımı
 t^{\wedge} - arıza temizleme zamanı ($t^{\wedge}=0,5$ sn)
 t — yönetmelikte seçilen arıza temizleme zamanı
($t=1$ sn)

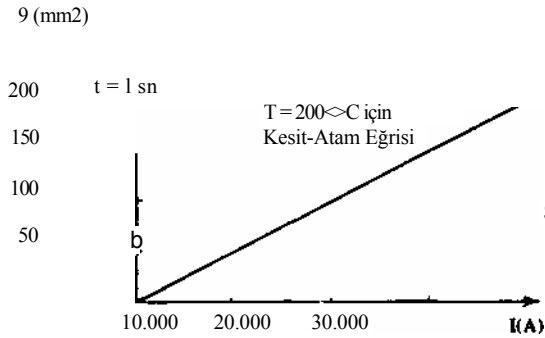
$$I = 3,07 \cdot \sqrt{I_k} = 3070 = 2150 \text{ A}$$

Çizelgeden bu akım için 16 mm² dolayında bir bakır iletken seçmek gerekiyor; ancak uzun yıllar sonra ko-rozyon nedeniyle kesitin küçüleceği, yirmi yıl içinde trafo merkezini besleyen dizgenin kısa devre gücünün artacağı ve bu zaman içerisinde merkeze yeni trafolar gelebileceği gözönüne alınarak 35 mm² nin altında bakır iletken (ya da 100 mm² çelik lama) seçilmiz.

$$q = 35 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$$

Kesit (mm ²)	Sürekli dayanma akımı (A)			1 sn dayanma akımı (A)		
	Çelik	Alüminyum	Bakır	Çelik	Alüminyum	Bakır
16	—	—	150	—	—	2500
25	—	160	200	—	2700	4000
35	—	200	280	—	3700	5500
50	150	250	480	3300	5300	8000
90	180	320	590	4700	7400	11400
120	240	430	780	6700	10500	19200
240	420	760	1380	13500	21000	38500

Şekil 5 a
İletkenlerin sürekli ve 1 sn dayanacağı akımlar.



Bakır iletkenin 1 sn'de 100° C'lik ısınma için akım keşi t eğrisi.

Topraklanacak aygıtlardan topraklama ağına inen bağlantı iletkenlerine topraklama iletkenleri deniyor ve bazı tesislerde yalıtılmış olabiliyor. Bu iletkenlerin kesiti bakırda en az 16 mm²; galvanizli çelikte ise en az 50 mm² olmalıdır. Topraklama iletkenlerinin kesitlerini seçerken dikkatli olmak gerekir. Çünkü ince seçilen iletken kendi-

sinden geçen kısa devre akımının etkisi ile erirse aygıt ile topraklama ağı arasındaki bağlantı ortadan kalkar ve sonraki arızalarda aygıtı dokunan kişi için tehlike doğar. Burada aygıtı göre topraklama iletkeni kesiti düşünmek gerekir. Bir izolatör yada akım trafosu topraklama iletkeni ile bir kesici iletkeni arasında fark olmalıdır. Kesici, generatör, büyük motor, trafo, ayırıcı, parafudur gibi büyük kısa devre akımı altında kalacak aygıtlarda topraklama iletkenlerini, topraklama ağı iletkenleri kesitinde seçmek gerekir. Hatta bu tür aygıtları iki topraklama iletkeni ile topraklama ağı ma bağlamak en uygun yoldur.

Şimdi sıra trafo merkezi topraklama direncinin saptanmasına geldi.

önce topraklama dizgesinin niye her zaman ağ biçiminde olması tercih ediliyor onu açıklayalım. Bir trafo merkezi yada fabrika tesisinde her aygıt için ayrı ayrı topraklama dizgesi yapmak hem pahalı hem de birbirleri arasında gerilim farkı doğabileceğinden uygun değildir. Gerilim farklarını sıfıra indirmek ancak bütün tesisin altına bir bakır levha yerleştirmekle gerçekleştirilebilirdi. Çok pahalı, pratik olarak olanaksız olan bu çözüme en yakın durum ağ topraklama dizgesidir. Ağ dizgesi aynı zamanda gerilim ayar olanağını da verir. Topraklama ağına edinilen deneylere göre önce belirli değerlerde boyuna ve enine göz aralıkları alınır, buna göre yapılan hesaplar da adım ve dokunma gerilimleri tutmazsa, aralıklar daha daraltılarak hesaplar tekrarlanır. Boyuna aralığı 6-7 metrenin altına düşürmenin birbiri üzerine olan etkisini azaltacağından bir yararı olmayacağı gibi gereksiz bakır gideri doğurur. Bunun yerine ağa kazık topraklayıcılar ilave edilmelidir. Kazık topraklayıcıların (5 cm çapında, 5 m boyunda galvanizli çelik boru) toprağın derinliklerinde düşük özgül dirençle temasta olması ayrı bir üstünlük sağlar, (özellikle üst toprak yüzeyinin yazın kurduğu, kışın da donduğu bölgelerde).

Yalnız akım dağılması ve donatım in topraklama bağlantılarını sağlayan enine bantların aralığı boyuna bant aralığının genellikle üç katı alınır.

örneğimizdeki trafo merkezi için (100 x 60 m²) ağın boyuna bant aralıkları 8 metre dolayında ağa bağlanacak aygıtların çokluğundan ve kısa devre akımının oldukça büyük olmasından dolayı enine bant aralığı 20 malındı. Bu değerlerle de ağın yayılma direnci sağlanamazsa; bu değerlerin altına inmek yerine kazık topraklayıcı ilave etmek daha uygun olacaktır.

Ağın yayılma direnci:

$$R = \frac{P}{2D} + \frac{P}{L}$$

Topraklama ağının alanına eşdeğer dairesel alanın çapı;

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100 \cdot 60}{\pi}} = 87,5 \text{ m.}$$

L = Toplam bant uzunluğu [m] =

$$6 \times 60 + 8 \times 100 = 1160 \text{ m}$$

F = Ağın alanı [m²] = 100x60 = 6000 m²

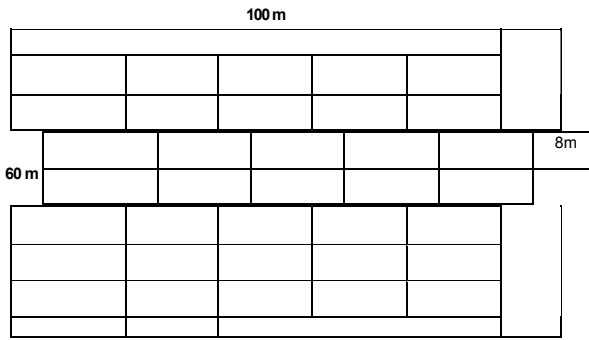
g = Toprak özgül direnci = 200 O m

$$R = \frac{200}{2.87,5} + \frac{200}{1160} = 1,315 \text{ A}$$

$$2.87,5 \quad 1160$$

Buna göre maksimum toprak gerilimi U_E

$$= I_k \cdot R = 3070 \cdot 1,315 = 4037 \text{ V.}$$



Şekil 6 Topraklama ağı

Bu değere göre adım ve dokunma gerilimlerinin sağlanıp sağlanmadığını saptamak için Dr. Koch'un verdiği eğrilerden yararlanmak en pratik yoldur, (Şekil 7). Bu eğriler adım gerilimi içindir. Adım gerilimi sınırı dokunma gerilimi sınırından daha büyüktür. Buna göre adım gerilimi tutarsa, dokunma gerilimi rahatlıkla tutar. Kabul edilebilir adım gerilimi sınırı Dalziel formülüne göre:

$$16SfP_s \quad 1654 \cdot 200$$

Burada en güvenli durum olarak taban zemini toprak özgül direnci (p_s) ölçülen toprak özgül direncine eşit alındı (p_s = p) Aşağıda hesaplanan dizgemizde adım gerilimi 521 voltun altında olması gerekir.

a = Boyuna göz aralığı ! -
Boyuna göz uzunluğu 'z' —
Boyuna göz adedi

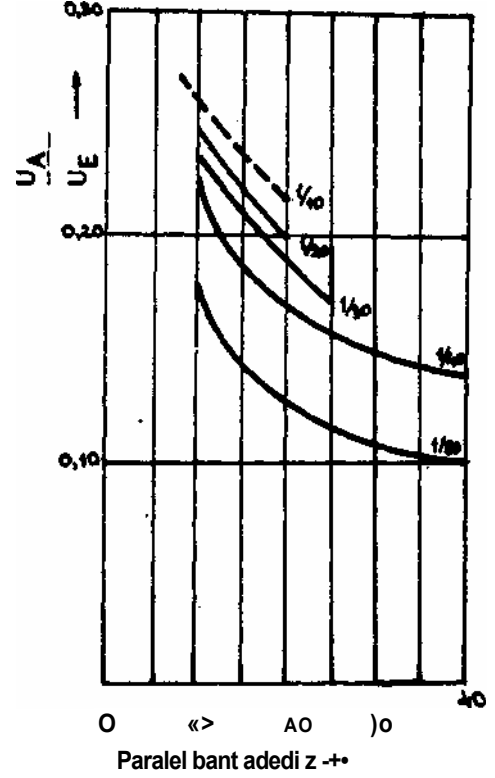
$$\frac{a}{l} = \frac{8}{100} = \frac{1}{12}, Z = 8$$

Bu değerlere karşılık olan — eğrisine göre

$$\frac{U_A}{U_E} = 0,26 \text{ U}$$

Adım gerilimi:

$$U_A = 0,26 \cdot U_E = 0,26 \cdot 4037 = 1049 \text{ V.}$$



Şekil 7

Koşul bant sayısı (z) ve a/l oranlarına göre adım-elektrik gerilimleri arasındaki bağıntıyı gösteren eğriler.

Bu değer, sınır değeri 521 volttan büyük olduğu için ağ yeterli değildir. Yeterli olmayan ağın direncini düşürmek için boyuna ve enine gözlerin kesiştiği noktalara (44 adet) birer kazık çakmak gerekir.

Bir kazığın yayılma direnci:

$$R = \frac{p}{2 \cdot r \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{200}{2 \cdot r \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5}{0,05} = 38 \hat{i}$$

44 adet kazık için:

$$R_{\text{ii}} = \frac{R}{44} = \frac{38}{44} = 0,864 \hat{i}$$

Kazıkların birbirlerinin etkisini giderme payı % 10 alınabilir,

$$R_1 = 0,864 \cdot 1,1 = 0,950 \text{ S/ Kazıklarla}$$

ağın koşul eşdeğer direnci:

$$R' = \frac{R \cdot R_1}{R + R_1} = \frac{1,315 \cdot 0,950}{1,315 + 0,950} = 0,551 \text{ n}$$

Kazıklarla ağın birbirlerinin etkisini giderme payı % 10 alınabilir.

$$R_{\text{eşd}} = 0,551 \cdot 1,1 = 0,607 \text{ n}$$

Maksimum toprak gerilimi:

$$U_{\text{ç}} = I_{\text{k}} \cdot R_{\text{eşd}} = 3070 \cdot 0,607 = 1862 \text{ V}^{11}$$

Adım gerilimi:

$$U_A = 0,26 \cdot U_{\text{ç}} = 0,26 \cdot 1862 = 484 \text{ V.}$$

$$U_A = 484 \text{ V} < 521 \text{ V olduğu için dizge uygundur.}$$

Eğer trafo merkezi çok küçük bir alanı kaplıyorsa direnci tutturabilmek için ağa çok sayıda kazık ilave etmek aşırı masraflı olacağı gibi; büyüğü bir direnç küçülmesi de sağlamayacaktır, çünkü kazıklar birbirlerinin etkisini önemli oranda yok edecektir. Kazıklar arası aralık en az iki kazık boyu olmalıdır. Bu durumda ağı trafo merkezi alanının dışına taşıyacak biçimde boyutlandırmak en iyi

çözümdür. Çünkü $R = \frac{2D}{L} + \dots$ yayılma direnci he-

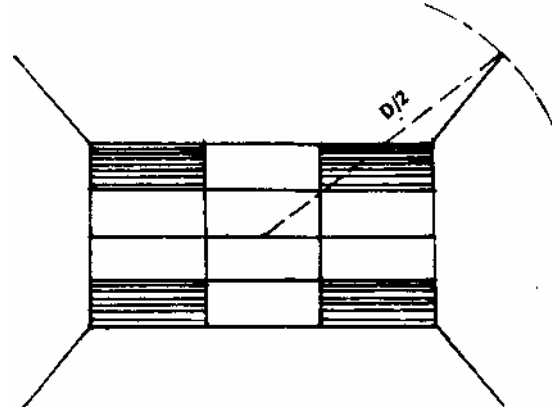
sap formu Unde birinci terimdeki D eşdeğer çap ne kadar büyürse direnç o kadar küçülür, ikinci terimdeki L iletkenler toplamı uzunluğunun etkisi çok azdır. Böylece trafo merkezi tel çitinin dışındaki canlılar da arıza anında korunmuş olur. Trafo merkezine giren ve çıkış hatlarının kopup tel çitin üzerine düşmesi olasılığının doğuracağı tehlikeyi önlemek için tel çit 15 • 20 metrede bir topraklama ağına bağlanmalıdır.

3. Topraklama Dizgelerinde Alınacak önlemler:

Örneğimizde direnç hesabı için Laurent formülü kullanıldı. Bu formül, oldukça karışık ancak daha doğru sonuç veren Schwarz formülüne göre (1,2) % S • % 9 arasında büyük değer vermektedir, bu da bir güvenlik payı olarak gözetilebilir.

Büyük trafo merkezlerinde, su ve ısı santrallerinde ve diğer önemli tesislerde p ve p_s özgül dirençleri kesinlikle ölçülmelidir. Toprak üst yüzey özgül direncini (p_s) arazi-

nin en nemli olduğu mevsimde ölçmek gerekir. Eğer salt merkezi zeminine 15 cm kalınlığında çakıl serilecekse, bu değer 2000 - 3000 tt m arasında alınabilir. Amerika'da istisnasız bütün trafo merkezleri çakıl ile döşendiği için kabul edilebilir adım gerilimi sınırı 3000 V. alınır. Eğer trafo merkezinin kapladığı alan çok küçük ve kısa devre akımı büyük ise direnci küçültmek için yukarıdaki önlemlere ek olarak Laurent formülündeki D eşdeğer çapı büyütmek amacıyla ağın köşelerinden dışarı doğru ışınlar ilave edilmelidir. Bu ışınlar istenildiği kadar uzatılmayacağı için eğer bu önlem de direnci yeterince düşüremezse, trafo merkezi topraklama ağının (özellikle salt aygıtlarının altına gelen bölümlerde ve köşelerde) gözleri içerisine 20 cm derinlikte bir metre aralıklı boyuna bantlar yerleştirilmelidir, adım gerilimini düşürmeyi amaçlayan bu gerilim ayarı bantlarını ana ağa bağlamak gerekir.



Şekil 8 Bir topraklama ağının köşelerinden ışınlar çıkarılması

Kapladığı alan küçük ve kısa devre akımı yada toprak özgül direnci büyük salt merkezlerinde direnci düşürmek için diğer bir önlem, salt merkezinden çıkan yada giren yüksek gerilim hatlarının altına dengeleme iletkeni (counterpoise) yerleştirmektir. Bu iletken hattın tam altına 0,6 - 0,8 m derinliğine gömülmeli ve altından geçtiği her direğe bağlanmalıdır. Dengeleme iletkeninin uzunluğu 1500 m'yi geçmemelidir. Çünkü iletken uzadıkça öz direnç ve şelf yayılma direncinin çok küçük değerlere düşmesini önler.

Tasarımcı trafo merkezine bağlı yüksek gerilim hatlarının koruma telinin topraklama direncini düşürme etkisini tam hesaplamak isterse ya (1) nolu kaynaktaki hesap yöntemine başvurması yada aşağıdaki daha pratik formülü kullanması gerekir.

$$Z' + ZR$$

Z : İki direk arası hattın empedansı
 R_m : Direk topraklama direnci
 R" : İki direk arası koruma teli direnci
 w_{i-e} : İki direk arası koruma teli reaktansı

örneğimizde trafo merkezine bağlı tek 154 kV hat vardır. Bu hattın koruma iletkeni karakteristikleri (iki direk arası açıklık 330 m):

$$R'' = 0,32 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,330 \text{ km} = 0,107 \Omega$$

$$w_{i-e} = 2,36 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,330 \text{ km} \cdot 314 = 0,245 \text{ } \Omega$$

Yaklaşık formüle göre:

$$Z_{00} = \frac{1}{2} \frac{(R'' + j\omega L_e) + R_m V}{R_m}$$

$$\frac{1}{2} \frac{0,107 + j 0,0245}{(0,107 + j 0,245) + 10 \text{ V}}$$

$$= 2,8 \Omega$$

Trafo merkezi topraklama dizgesi ile hat topraklamaları paralel bağlı olduğuna göre eşdeğer direnç;

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{n}$$

Burada n trafo merkezine bağlı hat sayısını gösteriyor.

$$\frac{1}{0,607} = \frac{1,647 + 0,357}{2,8}$$

$$= 0,499 \text{ } \Omega$$

Görülüyor ki hattın topraklama etkisini yalnız kısa devre akımında % 25 düşürme olarak almayı, direnç düşürme olarak da aldığımızda toplam direnç 0,607 değil 0,499 oluyor. Yukarıdaki formülde eşdeğer toplam direnç yerine yalnız ağın direnci (1,315 Sİ) koysaydık sonuç, 0,896 n olacaktı ve çok az kazık ilave etmek gerekecekti. Bu nedenle 154 kV ve üzerindeki hatların hem kısa devre akımını hem de topraklama direncini düşürücü etkisini gözönüne almak gerekir, örneğimizde okuyucuya ağ ve kazık karışımı topraklama sisteminin hesabının yapım şekli verilmesi amaçlandığından hatların yalnız akım düşürücü etkisi göz önüne alındı. Tasarımcı önce seçtiği ağ ile hatların direnç etkisini paralel alıp, bileşke direnci bulmalı; direnç değeri tutmazsa ondan sonra kazık ilavesini düşünmeli. Görülüyor ki yapımcının oldukça önemli bir trafo merkezinin topraklama dizgesini belirleyebilmesi için bütün olasılıkları gözönüne alarak hesapları birkaç kez yinemesi gerekir. Daha önce de belirtildiği gibi su ve ısı santrallerinde ve yüksek gerilim trafo merkezlerinde tasarımcı hesapladığı direnç değerinin tutup tutmadığını montaj sonunda yaptıracağı ölçmelerle denetlemelidir. Eğer direnç ve adım gerilimi değerleri hesaplanan değerlerin üzerinde ise önerilen ekleri yaptırmayı gerekir.

Yukarıdaki formüldeki S dan anlaşılacağı üzere eğer trafo merkezine bağlı hatlar değişik yüksek gerilimlerde ise (örneğin 3 adet 380 kV, 4 adet 154 kV) toplam direnç formülü:

$$Z_E \sim \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_{<380}} + \frac{1}{Z_{<154}}}$$

olacaktır.

Trafo merkezinde toprağa gömülü çelik borular, temel betonu demir kafesleri ve diğer gömülü çelik aksam topraklama ağına bağlanmalıdır. Bunlar hesaplara girmez; ancak bir güvenlik payı olarak kabul edilen direnç düşürücü özelliklerinin yanında gerilim ayar katkıları da vardır; yani gömülü oldukları bölümlerde adım ve dokunma gerilimini düşürebilirler.

Yıldırım akımları çok büyük ve dik alınlı olduklarından geri atlama olayına meydan vermemek için parafudurlar en kısa yoldan topraklama ağına bağlanmalıdır. Hatta yüksek gerilimli trafo merkezlerinde yıldırım akımına karşı darbe yayılma direncini küçültmek için ağ ile bağlantıya ek olarak parafudurun tam altına bir kazık çakmak Avrupa'da usulden olmuştur. Böylece geri atlama önlenerek enerji kesilmeleri en aza indirilmekte ve 100 kA dolayındaki darbe akımlarının topraklama ağının iletkenlerini yakıp eritmesi önlenmektedir. Trafo merkezindeki aygıtlarla birlikte tüm metal bölmeler, ölçü

trafolarının sekonderleri, kabloların metal kılıfları, AĞ iç ihtiyaç sisteminin nötr hattı (bu iletken birçok noktadan ağa bağlanmalıdır) AĞ iç gereksinme dizgesi aygıtları, tüm geçiş ve mesnet izolatörleri, panolar topraklama ağına bağlanmalıdır.

Enerji iletim hattı direklerinin topraklanması 1 nolu kaynakta ayrıntılı biçimde anlatılmıştır.

Su santralleri çoğunlukla dağlık ve kayalık bölgelerde kurulur. Bu bölgelerde toprak özgül direncinin yüksek olması ve ayrıca santrallarda kısa devre güçlerinin büyük olması topraklama işlemini oldukça güçleştirir. Ancak su santralleri tasarımcıya bu güçlükleri gidermesini sağlayacak bazı olanaklar da sağlar. Kuyruk suyuna ve göle (rezervuara) yada 1000 m - 1500 m uzunluğunda topraklama iletkeni yerleştirmek bu olanakların başında gelir. Ayrıca göl suyu bir tür topraklama elektrotu görevi görerek kısa devre akımının bir bölümünü üzerine alır ve toprak kitlesine iletir. Yapılan hesaplar göldeki bir hektarlık su kitlesinin 1 mm² bakır iletkenin direncine karşılık olduğunu göstermiştir. Su santrallerinde santral binasının temel betonun daima ıslak olması, temel betonuna yada bununla zemin kayası arasına yerleştirilecek topraklama ağı için çok büyük bir üstünlük sağlar.

Bu olanaklar içinde kuyruk suyuna salınan santral topraklama ağına bağlı iletkenin sağlayacağı yararı görebilmek için 500 m uzunluğunda ve 500 mm² kesitinde (d = 0,009 m) bir bakır iletkenin kuyruk suyuna salındığını varsayalım. Kuyruk suyu kanalının genişliği d₂ = 6^m, derinliği 3 m, suyun özgül direnci 50 m; bu suyu saran kayalık arazinin özgül direnci 2000 m olsun. Kanal kesiti kaba bir yaklaşıklıkla yarım daire kesiti biçiminde kabul edilebilir. Buna göre 500 m uzunluğunda ve 6 m çapında kayalar arasına yerleştirilmiş bir topraklama iletkeni gibi düşünülen su kitlesinin direnci:

$$R = \frac{\rho}{\pi r} \ln \frac{2l}{r} = \frac{2000}{\pi \cdot 0,009} \ln \frac{1000}{0,009} = 6,5$$

çıkarak. Gerçekte uzunluğu daha fazla almak gerekir (en çok 1500 m). Çünkü direnç etkisi bakır iletkenin bittiği uçta daha bitmeyecektir. Burada bakır iletkenle yarı silindirik su kitlesi arasındaki çok küçük değerler alan direnç ihmal edilmiştir. Halbuki bu hesaba karşılık bakır topraklama iletkeni kayalık zemine yerleştirilmiş olsa idi direnç

$$R = \frac{\rho}{\pi r} \ln \frac{2l}{r} = 14,8 \text{ fi } \tau,$$

olacaktı.

Görülüyor ki aradaki fark çok büyüktür. Ayrıca yaz aylarında bu fark kayalık arazinin kurumasından ötürü çok

daha büyük değerlere ulaşır. Buna karşılık iletken suya yerleştirildiğinde toprak yayılma direnci daima aynı değerde kalacaktır. Topraklama sisteminin tasarımında ilk yapılacak iş, santrp'-n zeminin ve civarın özgül direncini ölçmektir Aynı zamanda özgül direnç o değerleri için baraj ve santral alanında jeofizik araştırmalar için hazırlanan özgül direnç haritalarından da yararlanılabilir. Bindiği gibi santralin ve diğer bölümlerin oturacağı zeminin niteliğini saptayabilmek için (çatlak, mağara, fay ve zeminin cinsinin kalker, bazalt, şist vb.) olduğunu saptamak için artık modern bir yöntem olan özgül direnç yöntemi kullanılmaktadır.

Bu yöntemin temeli Venner, Dipol-Dipol ve Schlumberger sistemleri ile zeminin özgül dirençlerini ölçmek ve farklı değerler veren yerlerde o değerlere karşılık olan zemin niteliğini belirlemektir. Santral duvarlarından bir metre taşacak biçimde hesaplanan bir topraklama ağı santralin olanak varsa temel zemini ile temel betonu arasına yerleştirilmelidir. Ağın boyuna bantları arasındaki açıklık adım ve dokunma gerilimlerine göre saptanır. Bu açıklak 6 m ile 10 m arasında olmalıdır. Bu bantlardan generatörün boyuna yatay eksenine gelecek olanın dış çerçeveye bağlandığı uçlardan yukarıya doğru çıkılır. Duvar betonu içerisinden yukarı çıkan bu iletkenler santralin çeşitli katlarında yine duvarlara yerleştirilen topraklama kutularına gelirler. Bukutularda ufak bakır lama baralar vardır, ağıdan gelen ve topraklanması gereken tüm aygıtlara yine beton içinden giden iletkenler bu haralara bağlanır. Santral topraklama ağı büyük tesislerde en az 4 noktadan salt merkezinin ağına bağlanmalıdır. Santral temelleri ve özellikle türbin temellerindeki beton demir kafes sistemi kesinlikle birkaç noktadan topraklama ağına bağlanmalıdır. Ayrıca betona gömülü büyük kesitli çelik aksan boru ve cebri boru salyangozda topraklama ağına bağlanmalıdır. Bunlar hem topraklama direncini düşürür, hem de gerilim ayar görevini yaparlar. Yalnız bunların etkisini hesaplara sokmak kolay değildir. Kaba bir tahminle bunların etkisi hesaplanan direnç büyüklüğüne % 20-30 ilave olarak düşünülebilir.

Santralda aygıtlardan başka, vinç rayları, kahlo tepsileri, tanklar, çelik merdiven ve kapılar, çelik kablo muhafaza boruları (conduit), geçiş izolatörlerinin ağırlıkları yada çerçeveleri, boru aksanı gibi her türlü çelik bölmeler topraklama dizgesine bağlanmalıdır. Aygıtların bir bölümü ve bu sayılan aksam 500 mm² kesitinde bakır iletkenle bağlanabilir. Buna karşılık generatör, trafo, kesici, ayırıcı, parafudur ve bazı aygıtlar ağın iletkenleri için seçilen kesitteki iletkenlerle bir ya da iki noktadan topraklama sistemine bağlanmalıdır. Generatör ve trafonun blok bağlı olduğu sistemlerde generatörle trafo arasındaki topraklama iletkenleri ağın iletken kesitinin iki katı olmalıdır. Çünkü kısa devre anında uyarmanın kalkma zamanı, arıza temizleme zamanından daha uzun süreceğinden (özellikle stator gövde kısa devresinde) bu ilet-

kenler daha uzun süre yüksek akım geçireceklerdir.

Generatör çıkış baraları dolayında topraklama iletkenlerinin bir kapalı devre oluşturmamasına dikkat edilmelidir.

Transformatörler santral binasının hemen arkasındaki salt merkezinde yada binanın içinde ise trafo nötr noktalarının en kısa yoldan bağlanabileceği bir halka iletken, trafolar boyunca 50-80 cm altlarına toprağa yada beton içine gömülür. Topraklama ağı 3-4 noktadan ve generatör nötrleri en kısa yoldan buna bağlanır. Parafudurlar trafonun üzerinde yada çok yakınında ise bunlar da özellikle en kısa yoldan bu halkaya bağlanırlar. Santral topraklama ağından salt merkezi ağına bağlantılar yapıldıktan sonra santral yada salt merkezinden (hangisi uygunsa) baraja bir yada birkaç topraklama iletkeni çekilir. Bu iletkenler cebri boruların hemen yanından ve onları içine alacak biçimde gitmelidir. Bir yada birkaç iletkende cebri boruların ortasından gitmelidir. Dıştan giden iletkenler daha çok cebri borular aracılığı ile gerilim sürüklenmesine karşı ekran görevi göreceklerinden küçük kesitte (50-70 mm² Cu) ve toprak yüzeyine çok yakın (10-20 cm) gömülebilir.

Bilindiği gibi topraklama iletkeni ne kadar yüzeye yakın gömü kirşe dokunma gerilimi o kadar küçük olur. İletken derine gömülürse adım gerilimi azalır; buna karşılık dokunma gerilimi artar. Baraj topraklaması ile santral yada salt topraklama ağının esas bağlantısını ortadaki iletken yapacaktır. Bu nedenle iletken, genel ağ iletkeni kesitinde ve ağ derinliğinde olmalı; cebri borular bu iletkene baştan ve sondan bağlandığı gibi her iki genişleme (expansion) parçası arasında kalan cebri boru bölümleri de ayrıca bu iletkene bağlanmalıdır. Varsa denge bacası dört karşılıklı noktadan bu iletkene yada santral yada salt merkezi ağına bağlanmalıdır.

Cebri borular boyunca baraja gelen iletkenler baraj galerilerindeki aygıt ve demir merdivenlere, dolu savak kapakları motor çelik aksam ve diğer aygıtlara, kret üzerindeki aydınlatma direklerine ve en önemlisi giriş ağız kapak yataklarına (kapakların içinde kaydığı yataklar) bağlanmalıdır. Bu yataklar göl suyu içerisinde bulunacaklarından bir tür suya daldırılmış topraklama elektrot görevi görecekler ve sistemin genel direncinin düşürülmesinde önemli rol oynayacaklardır.

Santral ağı, salt merkezi ağı, baraja giden bantlar ve topraklama ağı dirençleri ayrı ayrı hesaplanır ve koşul bağlanarak dizgenin gerilim yükselmesini verecek topraklama direnci bulunur. Bu dirence göre kabul edilebilir değerlerin üzerinde bir elektrot gerilimi çıkarsa, kuyruk suyuna 1500 m'yi geçmemek koşulu ile ağ iletkeni kesitinde bir iletken yerleştirilir ve bu iletkenin yayılma direnci hesaplanarak yukarıdaki dirençlere koşul sokulur.

Bulunan direnç yine yeterli değilse bu kez göle bir yada iki iletken yerleştirilir. Ancak kuyruk suyuna ve göle iletkenler montajın sonuna kadar salınmamalıdır. Santral işletmeye açılacağı zaman (göl, cebri borular ve emme boruları su altında) topraklama dizgenin direnci ölçülür ve bundan sonra ne kadar topraklama iletkeni gerektiği saptanır.

Fabrika tesislerinde fabrika binası temeline bina çevresini 1 metre taşan bir ağ yerleştirilmeli ve tüm aygıtlar, iş makine karkasları, vinç donanımı, tüm demir aksam (kapı, pencere demir aksamı, merdiven ve diğerleri dahil) bu ağa bağlanmalıdır. Ağın bant aralığı 8 metreyi geçmemelidir. Eğer trafo merkezi bina dışında ise trafo merkezine yerleştirilecek ağ ile bina temelindeki ağ en az iki noktadan birbirine bağlanmalıdır. Bu durumda toplam direnç her iki ağın koşul bağlanması ile daha da küçülecektir. Daha önce trafo merkezleri için belirtilen noktalar fabrikalar için de aynen uygulanabilir.

Yalnız fabrikada alçak gerilim dizgesine sıfırlama hattı kullanılıyorsa; alçak gerilim sistemini ayrı topraklamak gerekir; ve bu topraklamanın ağ ile teması önlenmelidir. Yoksa AĞ aygıtlarını tahrip edici ve personel için tehlikeli gerilim sürüklenmeleri doğabilir.

Elektronik laboratuvarlarda, röntgen ve diğer elektronik aygıtlar bulunan laboratuvarlarda, hastahanelerde, radyo ve televizyon verici merkezlerinde, fizik laboratuvarlarında yüksek frekanslı indüktif ve kapasitif kaçak akımlarını ölçme sistemlerinde, osiloskop, osilografi gibi aygıtlarda bozulmalar yaratmaması ve vermemesi için tüm ölçme ve diğer aygıt kablolarının ekranlanması gerekir, bu ekranlar topraklama sistemine bağlanmalıdır. Daha önemli durumlarda aygıt odası bir F arada y kafesi ile çevrilmeli, odaya giren tüm kabloların ve aygıtların ekranları bu kafese (yoksa aygıtlarla kafes arasındaki kapasitif kublajdan ötürü yüksek frekanslı istenmeyen akımlar doğar) kafesde birkaç noktadan topraklama dizgesine bağlanmalıdır. Eğer Faraday kafesi yapılamıyorsa; aygıtların bulunduğu odanın taban betonu içerisinde bir ağ yerleştirilmeli ve bu ağ ana topraklama sistemine birkaç noktadan bağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Nihat Tayları: Elektrik tesislerinde topraklama ve kısa devre (Kitap)
2. Erdoğan Güner: Yüksek gerilim merkezlerinin topraklanması (Elektrik Mühendisliği, Şubat 1977)
3. Hüseyin Hızıroğlu; Haki özenalp: Kepez Sisteminde trafo merkezi (Diploma Projesi)