

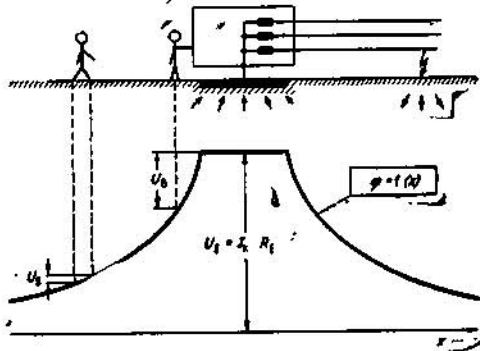
# Yıldız Noktası İyi Topraklanmış Şebekeler İçin Topraklama Tesisleri

Yazan :  
Gernot FUNK

Çeviren:  
Remzi GÜLGÜN  
Müh. - Sümerbank

Yıldız noktası iyi topraklanmış şebekelerde, topraklama tesisleri, toprakla kısa devre mevzu bahis olduğunda çok fazla bir akımla yüklenirler. Bu sebepten şayanıkabul olmıyan yüksek adım ve temas gerilimleri gibi arzu edilmeyen neticeler doğar. Burada teknik noktai nazardan topraklama tesislerinin önemi belirtilecek, bilhassa adım ve temas gerilimi, toprak telinin tesiri üzerinde durulacaktır.

Yıldız noktası iyi topraklanmış şebekelerde her izolasyon hatası veyahut takdiri kıymetle alınan izolasyon değeri, tek fazlı bir kısa devreye sebep olur. Tek fazlı arıza akımı topraktan da geçtiğinden, transformatör, bağlama tesisleri ve hava hattı direklerinin topraklamalarının yayılma dirençlerinde (topraklayıcı gerilimi) denilen potansiyel farkı nasıl olur. Mevzu bahis tesis bundan sonra civarına ve elektriki nötr'e nazaran bir potansiyeli haizdir. (Şekil 1)



Şekil 1 İçinden akım geçen bir topraklayıcının gerilimi

- $\varphi$  = Elektriki nötre nazaran potansiyel eğrisi  
- I); = Kısa devre akımı (Topraktan geçen)  
RE = Topraklayıcının yayılma direnci  
U<sub>s</sub> = Adım gerilimi  
U<sub>B</sub> = Temas gerilimi  
U<sub>E</sub> = Topraklayıcı gerilimi

Adım atıldığında ve tesise dokunulduğunda maruz kalınan gerilim farkı, muayyen bir değerden ve devam müddetinden sonra insan ve hayvanların hayatlarını tehlikeye sokar. Bundan başka, bu gerilim farkı alçak gerilim tesislerinin izolasyonunu delebilir. Topraklama geriliminin en büyük değerine  $U_E = I_1 \times R_E$  cüzi miktarda topraklamanın teknik şekli tesir eder Zira hem toprak kısa devre akımı hem

de topraklama direncinin bağlı olduğu tabii sınırlar aşağıda açıklanmıştır.

Topraktan geçen arıza akımı, yıldız noktasına söndürme bobini koymak veya zayıf topraklama ile kısmen sınırlanabilir, fakat bu usul arıza halinde sağlam iletgenleri daha yüksek bir gerilimle yükler ve netice olarak transformatör yıldız noktasında gerilim olur. Böyle bir tertip, görüldüğü gibi, iyi topraklanmış yıldız noktasının faydasını kısmen bertaraf etmektedir. Toprak kısa devre akımları umumiyetle birkaç bin amper olabilir. Dairesel plâk şeklinde basit bir topraklayıcı misâlinde de görüldüğü gibi topraklama direnci iktisadi sebeplerden istendiği kadar küçük yapılmaz. Şekil 2 ye göre;

$$R_E = \frac{\rho}{2 D}$$

Müsait şartlar altında yani özgül zemin direnci  $\rho < 100$  fi m, topraklama tesisatının yerde yayılı olduğu uzunluk  $D > 200$  m olduğunda, transformatörün topraklama direnci 0,1 fjun altındadır. Hava hattı direkleri için uygun değer ise 2 ci dur. Bu yüzden topraklayıcı ve ona bağlı tesisatın elektriki nötr ve civarına nazaran birkaç KV'a kadar potansiyeli olabilir; Yıldız noktası kuvvetli topraklı ise, topraklayıcı gerilimi, ekseriya 125 V'luk kritik değerini aşar, ve toplam gerilimin bir kısmı adım atma veya dokunma ile çarpabilir. Bu sebepten topraklayıcının civarında potansiyel eğrisi, en kötü durumda, adım ve temas gerilimleri, VDE 0141/7.55 talimatnamesindeki şayanı kabul değeri aşmıyacak kadar düşük yapılmalıdır.

Transformatör ve hava hattı direklerinin topraklanması:

Transformatör ve bağlama tesislerinin topraklanması ilk bakışta iç ve dış olmak üzere ikiye ayrılabilir. Tesisin içinde ilk plânda temas gerilimi, buna mukabil dışarıda adım gerilimi tehlikelidir. Transformatör merkezlerinin topraklama sathı oldukça geniş olduğundan, adım ve temas gerilimleri için kâfi miktarda küçük bir topraklama direnci temin edilir. Meşkül durumlarda potansiyel ayarı, izoleli yüzeyler (yalıtkan madde sıvanmış), korkuluk ve diğer tertiplerle tehlikeye mâni olunur.

Topraklayıcı	Yayıma direnci	Potansiyel eğrisi
)/arım küre	$R = \frac{\rho}{\pi \cdot D}$	$\varphi = I \cdot \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{x}$
yuvar/ak plâka	$R = \frac{\rho}{2D}$	$\varphi = I \cdot \frac{\rho}{D} \arcsin \frac{D}{2x}$
Bilezik	$R = \frac{\rho}{\pi} \frac{1}{x} \ln \frac{8D}{d}$	$\varphi = I \frac{\rho}{\pi^2} \frac{1}{x + \frac{D}{2}}$ $F(x) = 2,5 \quad 1,75 \quad 1,6$ $x = 1D \quad 5D \quad 20D$
Band	$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d} \quad (h=0)$ $R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{l}{\sqrt{d}h} \quad (h \neq 0)$	$\varphi = \frac{\rho}{\pi} \ln \frac{\sqrt{(l/2)^2 + x^2} + l/2}{x}$
Çubuk	$2xI \quad J$	$\varphi = I \cdot \frac{\rho}{2xI} \cdot \ln \frac{\sqrt{l^2 + x^2} + l}{x}$

Şekil 2 Basit topraklayıcıların yayılma direnci ve potansiyel eğrileri  
 $\rho = \text{JJ m}$  olarak özgül toprak direnci  
 $x = \text{Topraklayıcının ortasından m olarak uzaklık}$   
 $D, d, l, h$  metre olarak yerme konacak

Direklerin topraklanmasında, transformatörlerdeki mülâhazalar aynen caridir fakat burada yüzey küçük olduğundan topraklanmaları oldukça farklıdır. Burada yüksek topraklama direncinden dolayı Topraklayıcı gerilimi çok büyüktür. Potansiyel ayarı kullanarak namüsaıt kısa devre durumlarında da, adım ve temas gerilimlerini direklerde tehlike arz etmeyecek bir değerde bırakmak, ekseriya güç hattâ bazan imkânsızdır

Toprak iletgeninin, topraklama direnci üzerine tesiri müsbet olmalıdır. Direklerin paralel bağlanmasıyla arıza akımının bir çok direklere taksimi sağlanır ve bilhassa namüsaıt durumlarda direkler boyunca hattın altına bir yer ilet-

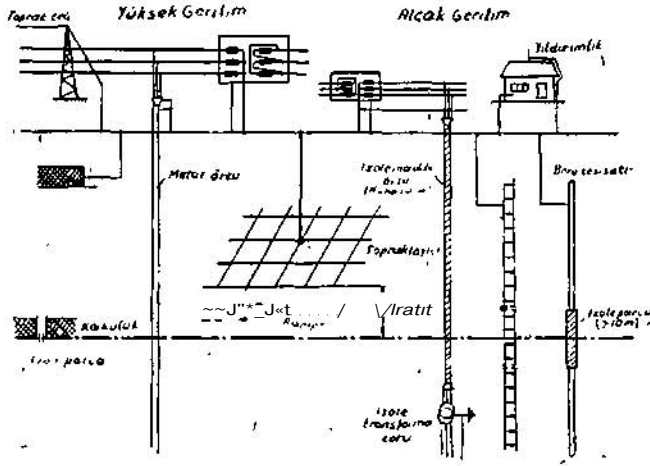
geninin döşenmesi ile adım ve temas gerilimleri sınırlanabilir. Fazla trafıklı yollara 15 metreden yakın olan direkler ekseriya ilâve tesisatı icabettirirler (VDE 0210/2.58, Ş. 32). Burada, potansiyel ayarı veyahut direk ayaklarına izole madde sürmek ve direk zeminine de asbest levhalar koyarak adım ve temas gerilimlerinden doğacak tehlikeler bertaraf edilebilir.

Kafes şeklinde topraklayıcı :

Birbirine tesir etmeden, bir bağlama tesisinin (şalterler vs.) muhtelif parçalarını ayrı ayrı topraklamak pratikte imkânsız olduğundan, bütün madeni kısımlar koruyucu ve işletme topraklamaları müşterek bir topraklayıcı üzerine

Bağranır.Tesisin içindeki izole edilmemiş parçalarda, dışarıya nazaran umumi bir potansiyel vardır, fakat bunun hiç bir. rolü yoktur. Jktisadı sebeplerden bütün transformatör merkezi, bir iletgen Plâka üzerine inşa edilemediğinden, tesisin içinde gerilim, yalnız madenî kısımlarla toprak arasındadır. Bu maksatla ekseriya cüzi bir malzeme sarfiyle lamalardan yapılmış madenî bir kafes, 0,8 ilâ 1 metre derine gömülür.

Topraklama laması olarak hemen her zaman çinko kaplı demir lama veyahut bakır tel



Şekil 3 Topraklayıcının VDE 0411/755'e göre umumi bağlantısı

kullanılır. Topraklama metalinin seçimi doğru- dan doğruya korozyon tesiriyle alâkalıdır.

Kesiti  $q = -a \times b$  olan köşeli bir topraklayıcı  $a + b$  elektrik bakımından çapı,  $d = \frac{a + b}{\sqrt{2}}$  olan

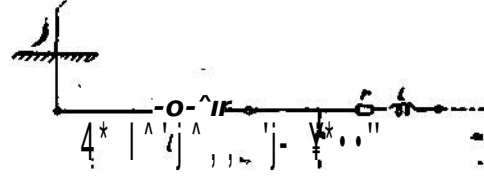
dairesel bir topraklayıcıya eşdeğerdir. Eşdeğer çap, yassı metalle aynı kesitteki yuvarlak (dairesel) metalinkine nazaran aşağı yukarı 2 mislidir. Meselâ 27,4 mm eşdeğer çapın karşılığı, yassı kesit 40 x 3 mm, halbuki 120 mm kesitli yuvarlak metaryalin çapı ise 12,4 mm dir.



Topraklayıcı	40X3	20X6	11 X 11
dEn	27.4	16.6	14

Şekil 4. Band topraklayıcının eşdeğer kesiti

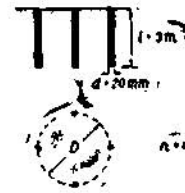
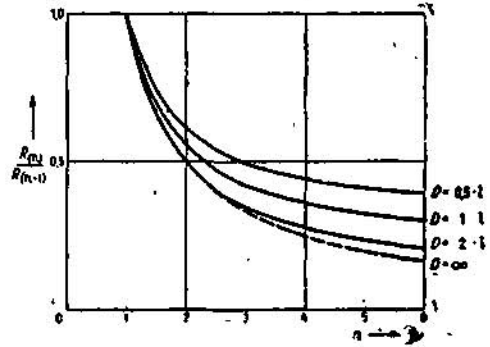
Çok uzun topraklama bandlarında, yayılma direncine bandın uzunluğundan mütevellit kendi direncide tesir eder (Şekil 5). Böyle bir band topraklayıcı zincir iletgeninin özelliklerini havi olur. Bu yüzden yayılma direnci R. şekil 2 ye göre hesaplanmaz, artık şu formül kullanılır.



- $R = \ell \cdot r \cdot \cotgh \frac{l}{n}$   
 $R_e$  : Şekil 2'ye uygun,  $Q$  olarak yayılma direnci  
 $l$  : metre olarak topraklayıcının uzunluğu  
 $r$  :  $Q/m$  olarak direnç  
 $L$  : Endüktivite  $H/m$  olarak

$$R = \ell \cdot r \cdot \cotgh \frac{l}{n}$$

Band uzunluğunun artması durumuna, küçük direnç ancak  $l < 3 < C$  ya kadardır. 3  $C$  kritik uzunluktur.



Şekil 6 Çubuk topraklayıcılar  
 $R$  : bir çubuk topraklayıcının direnci  
 $n$  : çubuk topraklayıcı adedi-

$$C^2 \frac{\mu r}{\rho} = L n \frac{3 < T}{d_{er,}/2}$$

40 x 3 mm lik, kendi direnci  $r = 1,47$  n/km olan bir demir bandın,  $\rho = 100$  fi lik bir zeminde kritik uzunluğu  $3 < C = 1500$  m ve elde edilebilen en küçük yayılma direnei  $R = 0,735$  n dur.

Izgara topraklayıcının yayılma direnci, aynı satıhdaki plâk topraklayıcının direncinden büyük ve uygun bir bilezik topraklayıcınınkinden küçüktür.  $L \geq D$  şartıyla çok yaklaşık olarak

$$R_E = 2D + L \text{ ile bulunur. Burada } L, \text{ zeminde}$$

döşenen bütün band topraklayıcıların toplam uzunluğudur. Toprak homojen olmayıp öz dirençleri farklı ( $p_1, p_2, \dots$ ), muhtelif kalınlıkta ( $h_1, h_2, \dots$ ) tabakalardan meydana gelmiş olabilir. Bu durumda kafes topraklayıcının en üstteki birinci tabakaya yerleştirildiğinde direnci;

$$R_E = \frac{\rho_1 h_1}{4\pi D^2} + \frac{\rho^2}{2D}$$

Üstteki toprak tabakası, alttakine nazaran kötü iletgense ( $p_1 > p_2$ ) akım çizgileri paralel olarak yayıldığından, topraklayıcı alttaki iyi iletgen tabakaya yerleştirilir ve akım sahasının yayılmasının bu tabakada olması temin edilir.

Çubuk topraklayıcı:

Homojen bir toprakta çubuk topraklayıcı ile, büyük bir kafes topraklayıcının direncinden daha cüzi bir direnç edilebilir. 100 a m lik bir zemin özgül direncinde, topraklama direnci 0,5 a olan  $D = 100$  m lik bir kafes topraklayıcı düşünelim. Buna karşılık 3 m boyundaki bir çubuk topraklayıcının direnci 33 fi, 6 m boyundakininde  $R_E = 18,8$  o dur. Ancak çubuklar arasındaki mesafe büyükse (en az boylarının iki misli), bu taktirde fazla sayıda çubuk kullanmak müessirdir. Bu durum şekil 6 da gösterilmiştir. Her durumda kafes ve çubuk topraklayıcı arasındaki tesir aynıdır. Bunun için çubuk topraklayıcılar topraklama tesisatının ortalarına konduğunda, tesisin etrafına konmalarına nazaran daha verimsiz olurlar.

Çubuk topraklayıcılar kullanmaktan sarfınazar edilemezler, zira geçirgenliği iyi olan toprak tabakalarıyla irtibatı sağlandığı takdirde, çok büyük faydalar sağlarlar. Aynı zamanda kötü hava şartlarında da topraklama tesisatının emniyetini sağlar. Zira üst tabakadaki toprağın kurumması veyahut donmasıyla kafes topraklayıcının direnci nominal değerinin üstüne çıkar.

E. M. M. 53

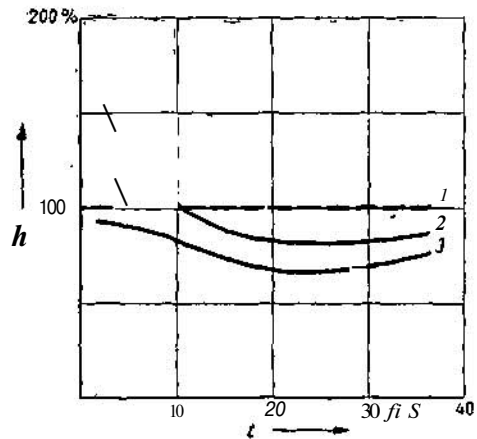
Darbe yayılma direnci, topraklayıcının sathaya yayılma, direncine-tabii olduğundan parafudr'ların da topraklanması için bu çubuk topraklayıcıların kullanılması faydalıdır. Genel olarak uzun bandlarda darbe direncinin başlama değeri 50 Hz lik normal frekansın üzerindedir. Uzunlukları nisbeten kısa olan çubuk topraklayıcılar darbeleri, tamamen normal işletme frekansındaki akım gibi karşılarlar. Kaide olarak bir çubuk topraklayıcının darbe yayılma direnci, normal yayılma direncinin aynıdır. Bu sebepten her parafudr'un yalnız istasyon kafes topraklayıcısına bağlamayıp ayrıca tesis edilecek çubuk topraklayıcıya da bağlanması tavsiye edilir. Burada mümkün merite endüktiviteyi azaltmak için iletgenler, bağlantılarda kısa tutulmalıdır.

Çubuklu topraklayıcının iktisadi olduğunda söyleyebiliriz. En çok kullanılan 6 ve 9 metre boyundaki çubuklar, standart boyu 3 m olan çubukların eklenmesi ile elde edilebilir. Bunlar yere elektrik veya hava kompresör çekicileriyle çaküabilirler. Bu sayede bir toprak harfiyatına lüzum kalmadan kısa zamanda tesis edilebilirler.

Darbe yayılma direnci :

Yıldırım akımı gibi anı ve büyük akımlarla topraklayıcının yüklenmesinde topraklama direnci, artık Şekil 2 deki tabloya göre hesaplanan yayılma direnci değildir. Herşeyden önce topraklayıcının uzunluğundan mütevellit olan endüktivite rol oynar (Şekil 5), bu yüzden topraklayıcının yüzey yayılması darbe yayılma direncine çok tesir eder.

Yüzece büyük ve küçük olan topraklayıcıların darbe akımı ile yüklenmesinde yayılma direnci değişimi Şekil 7 de gösterilmiştir.



Şekil 7 Darbe akımı ile yüklenmede yayılma direncinin zamana bağlı değişimi

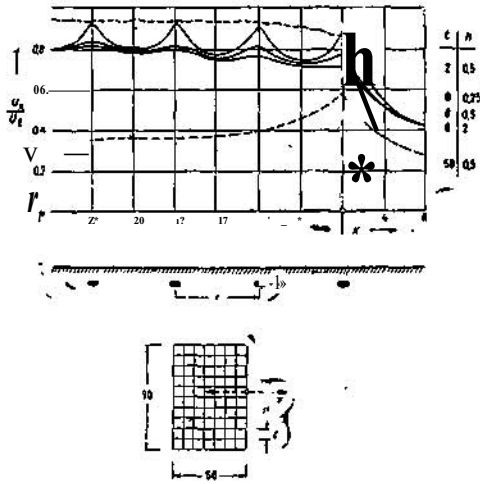
1 - 50 Hz de direnci

2 - Yüzece büyük topraklayıcı (mesela Band topraklayıcı)

3 - Yüzece küçük topraklayıcı (mesela çubuk topraklayıcı)

Zamana bağıli karakteristik; akımın ânliğı, topraklayıcının civarındaki akım yoğunluğu ve topraklayıcının etrafındaki alan şiddeti olmak üzere 3 esaslı faktöre bağılidir.

VDE 0450/XI. 39 za göre yıldırım akımının zamana bağıli seyri 1/50 darbe dalgasıyla gösterilmiştir. Darbe başlangıcı buna göre 1 jx S dir. Bütün durumların % 5 inde tepe değeri 60 KA den büyüktür. 60KA/Slık bir akım analiğı statik olarak hesap edilebilir. Endüktivitesi aşığı yukarı 1,7 JA H/m olarak ölçülmüş olan bir band topraklayıcının uzunluğundan mütevellit endüktivitesi, darbe akımının artmasıyla, 50 Hz de 0.53 x 1(H fi/m olduğı halde 1,71 n/m ye yükselir. Şekil 5 deki eşdeğer bağlantından doğrudan doğruya, uzunluktan mütevellit direncin kesitten dolayı olan dirence oranı ve dolayısıyla darbe direncinin (yayıma direnci başlama değeri) büyüklüğünün, topraklayıcı ne kadar uzun olursa okadar büyük olduğı görülebilir. Meselâ 4 kola bölünmüş olan bir band topraklayıcının aynı uzunluğı havı tek kol halinde tertiplenmiş band topraklayıcıya nazaran darbe yayılma direnci çok küçüktür. Halbuki 50 Hz deki dirençleri her ikisinde aşığı yukarı aynıdır. Topraktaki akım yoğunluğı ve alan şiddet  $R_c$  .1 yi değıştirir (Şekil 5). Toprağın kuruması ve büyük akım yoğunluklarında direnç artar. Koruluk yerlerde (rutubetli) bunun aksi de varit olabir.



Şekil 5 Kafes topraklayıcının içinde ve dışında potansiyelin değışimi

Adım ve temas gerilimleri:

Bir kafes topraklayıcının içinde ve dışında toprak potansiyelinin değışimi şekil 8 de gösterilmiştir. Meydana gelen adım ve temas gerilimleri; kafes genişliğı (t), gömüldüğü derinlik (h) ve topraklayıcı gerilimi  $U_E$  ye bağılidir. Adım ve temas gerilimi birbirine tamamen zıttır meselâ kafes topraklayıcıyı derine gömmekle adım gerilimi küçülür buna mukabil temas gerilimi

mi artar. Küçük kafes genişlikleri ile iyi bir potansiyel eğrisi elde edilebilirse de topraklama metali ve toprak hafriyatı masrafları çok yüksektir. Esas topraklama sisteminin kafes mesafesini küçültmek için umumiyetle 20 cm gömülmeleri kâfi olan potansiyel telleri iktisadi olarak kullanılır. Tesisin dışında adım gerilimi potansiyel kademeleyicileri ile azaltılabilir.

Kafes, çubuk topraklayıcı, potansiyel kademeleyicileri ve potansiyel tellerinden ibaret büyük bir topraklama tesisatında, adım ve temas gerilimleri artık tam olarak hesaplanamaz. Fakat basit bir topraklayıcıda potansiyel durumu araştırılabilir.

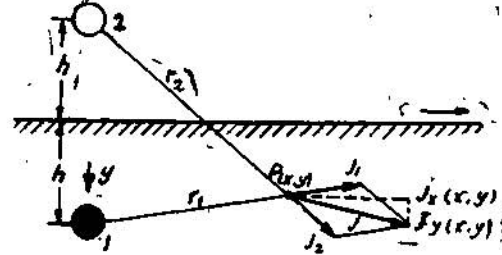
Toprakta her yönde I akımı yayan l uzunluğundaki bir iletgenin, r mesafede husule getirdiğı akım yoğunluğı;

$$j = \frac{I}{2 \pi r l}$$

ayni yerdeki elektrik alan şiddeti  $E = j r$  dir ve mesafeleri  $r_1$  ve  $r_2$  olan iki nokta arasındaki gerilim;

$$V_{12} = \int_{r_2}^{r_1} \frac{I}{2 \pi r l} dr$$

topraklama tesisatının iletgeni toprakta h derinliğinde gömülmüştür.



$$j_x(x, y) = \frac{I}{2 \pi l} \left( \frac{x}{x^2 + (h-y)^2} + \frac{x}{x^2 + (-h-y)^2} \right)$$

$$j_y(x, y) = - \frac{I}{2 \pi l} \left( \frac{h-y}{x^2 + (h-y)^2} + \frac{-h-y}{x^2 + (-h-y)^2} \right)$$

Şekil 9 Uzunlamasına yerleştirilmiş bir topraklayıcının yayılma sahası

1 • Topraklayıcı

2 • Topraklayıcının görüntüsü

Akım yoğunluğunun y dik bileşeni, toprak üst yüzünde kaybolur ( $y = 0$ ), akım dağılımında bu şart dikkate alınarak, yansıma teorisi ile topraktaki akım sahası bulunabilir. Akım yoğunluğunun X ve y bileşenlerinin değerlerim bulmak için şekil 9 un altındaki denklemler caridir. Eğer topraktaki iletgen sayısı fazla ise bileşkeleri alınır. Yer yüzünde dik y bileşeni, iletgenin gömülü olduğı yerde ise X bileşeni sıfır olur. Her iki durum için sıfır olmayan Dİleşenin (bir defasında X, diğesinde y) ifadesi basitleşir.

Toprak yüzünde topraklayıcıdan X kadar uzaklıkta, s adım mesafesi için adım gerilimi;

$$U_s = \int_{X-s/2}^{X+s/2} j_x(x,0) p dx$$

ekseriya adım mesafesi  $s = 1 \text{ m}$  kabul edilir. Topraklayıcı ( $y = h, X = 0$ ) ile ( $X = y = 0$ ) yani toprak yüzü arasındaki temas gerilimi;

$$U_B = P \int_{y=h-d/2}^{-o} j_y(o,y) p dy \int_{x=0}^X$$

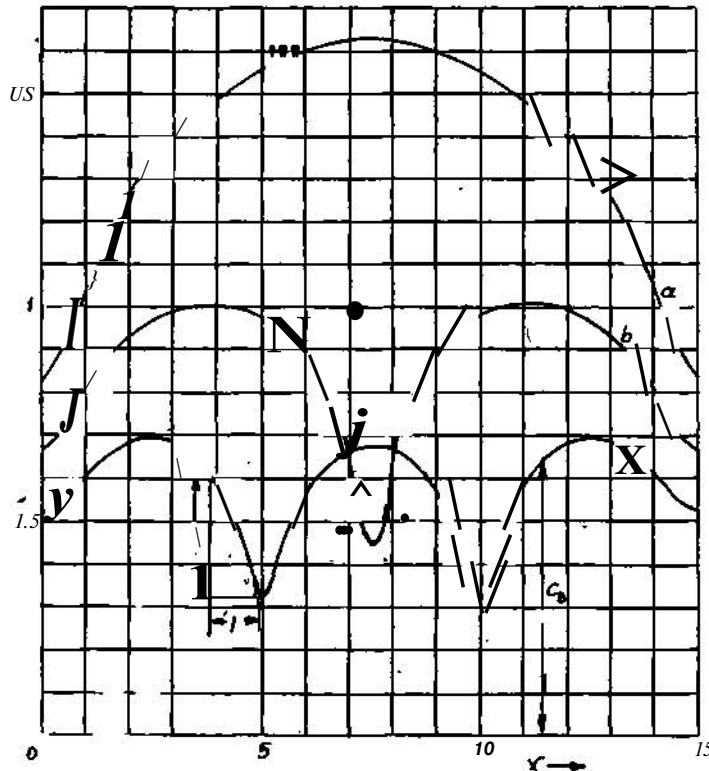
$$j_x(x,0) p dx$$

Bu iki integral muayyen topraklama tesisi için aşağıdaki hale sokulabilir

$$U_{D.S} = \frac{I \cdot \rho}{I \cdot \pi} \text{ CBS}$$

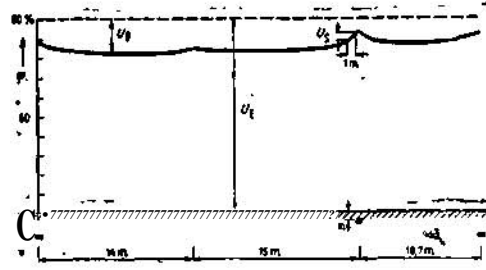
Temas gerilimi için  $C_B$  ve adım gerilimi için  $C_S$  faktörleri  $X$  mesafesine bağlıdır.  $C_B$  ve  $C_S$  e tabi olan max müessir gerilimler, a, b, c olarak 3 ayrı şekilde düzenlemeye göre verilmiştir.

	a	b	c		a	b	c	d
CBMAX	1,62	1	0,69	CSMAX	0,59	0,34	0,23	0,21
CSMAX	0,25	0,38	0,28		% 100	% 58	% 39	% 36'



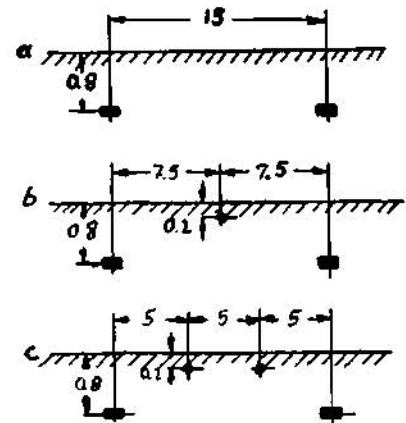
Şekil 10 Potansiyel telli ve potansiyel telsiz adım ve temas gerilimleri  
Topraklayıcı  $40 \times 3 \text{ mm}$   
Potansiyel teli  $6 \text{ mm}$

$$\text{Adım gerilimi } U_S = \frac{I \rho}{\pi l} C_S \quad \text{Temas gerilimi } U_B = \frac{I P}{\pi l} C_B$$



Şekil 11. Kafes topraklayıcının içinde ölçülen potansiyel  
Kafes genişliği  $8 \text{ m}$ , Topraklayıcı  $40 \times 3 \text{ mm}$ , Potansiyel teli  $6 \text{ mm}$

Buna göre potansiyel telleri, temas gerilimini çok küçültür buna karşılık adım gerilimini cüzi miktarda artırır. Teorik olarak elde edilen neticeler şekil 11 vasıtasıyla tahkik edilebilir. Potansiyel kademeleyicisinin tesiri şekil 12 den görüldüğü gibidir, a, b, c, d düzenlemeleri için  $C_s$  e tekabül eden max gerilimler;



Tesisatın korkuluğunu, gerilimi nisbeten yüksek olan kısımları içine alacak şekilde koymak lâzımdır, hattâ namüsait" durumlarda tesisin etrafındaki adım gerilimi, izole taban malzemesi ile de zararsız hale getirilebilir. Aynı değerde oldukları zaman dahi, temas gerilimi adım geriliminden daha tehlikeli olduğundan, meselâ direklerde, temas gerilimini küçültmek için potansiyel kademeleyicileri kullanılabilir. Bu takdirde potansiyel tellerini topraklanan cihazdan 20-30 cm. derine gömmek kâfidir.

Kullanılan bazı tertiplerin potansiyelle tesiri şekil 10 ve 12 de görülüyor,  $l/l$  değeri akımın yayılmasına bağlı olup bu da hesaplanmadığından, potansiyelle tesir daha derin incelenemez. Fakat harici band topraklayıcıların dahil-dekilere nazaran daha fazla akım yaydıkları bilinmekte olup ölçme ile de tahkik edilmiştir. Mamafih toplam kısa devre akımının yarısının etraftaki band topraklayıcı tarafından yayıldığını kabul etmek uygundur. Temas ve adım gerilimlerine bir göz atalım, bu kabule göre harici band topraklayıcının yüklenmesi 5 A/m yi aşmalıdır.

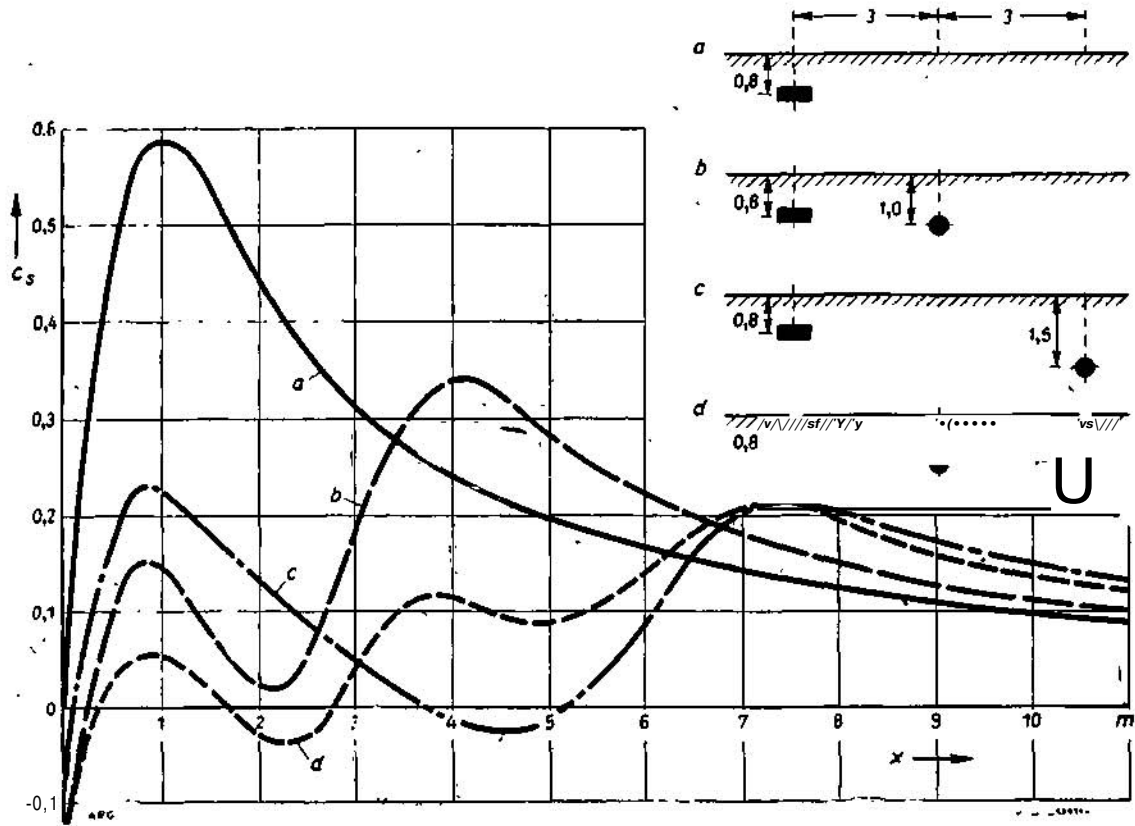
Bir merkezden toprak kanalıyla dışarı çıkan iletgenler, meselâ kabloların metal muhafazaları, üzerinden muayyen bir akım akacağından, topraklayıcı gerilimleri sabit ve istenilen değerde tutulamaz. Kablo muhafazasının gerilimi bir e fonksiyonuna göre;

$$U_x = U_E \cdot e^{-x/lf}$$

$X = 3$  (T uzaklığında (Kritik uzunluk) metal muhafaza pratik olarak gerilimsizdir.

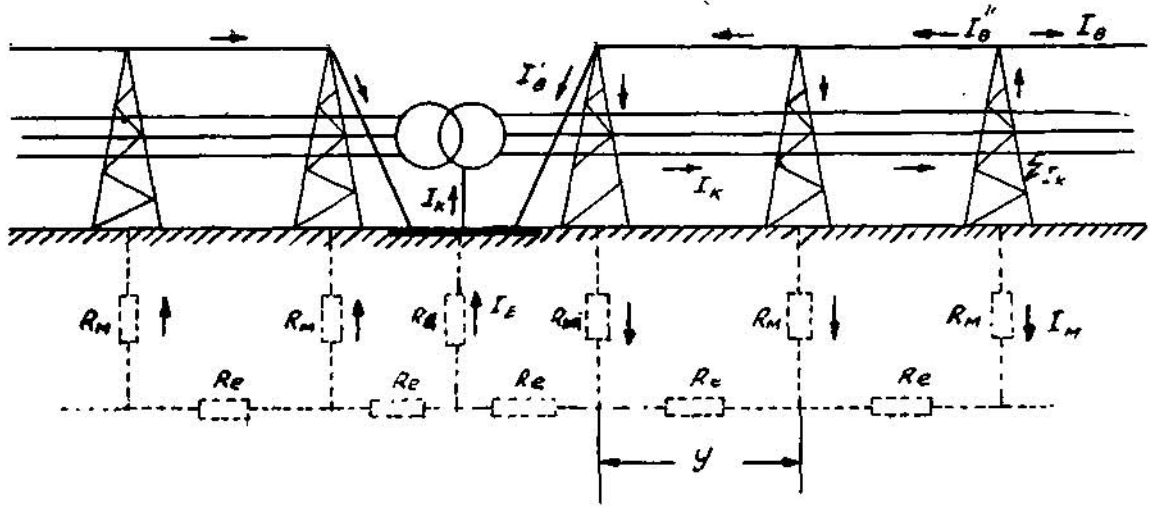
Kabloların kritik uzunlukları birkaç kilometre tutabileceğinden, bu potansiyelden personelin korunması için, ekseriya koruyucu tertipler lüzumludur. En müessir olanları; izole transformatorları, izole madde ile üzeri kaplı kablolar (şekil 3), izole muflar ve büyük topraklayıcı gerilimlerinde aşırı gerilim sevkedicileridir.

İnsan ve hayvanlar için elektriğin tehlikeli olması, vücuda tesir eden gerilimin büyüklüğüne ve devam müddetine bağlıdır. Hesapladığımız adım ve temas gerilimlerinin yalnız köprü teşkil edilen kısmı müessir olup mühim bir kısmı



Şekil 12 Potansiyel kademeleyicili ve kademeleyicisiz adım gerilimi  
Potansiyel kademeleyici teli 6 mm  $\Delta$

$$\text{Adım gerilimi } U_s = \frac{I P}{n I} C_s$$



Şekil 13. Tek fazlı bir kısa devrede akım dağılımı  
 RE Merkez topraklama direnci  
 RM Direğin topraklama direnci  
 Re Toprak direnci  $R_e = 7 i^2 \cdot f \cdot y \cdot 10^4$   
 y cm olarak direkler arası mesafe

tesirsiz kalır. Akım taşıyan kısımlara dokunulmayla vücut direnci topraklama direnci ile paralel olur bu sayede insan vücuduna tatbik olan gerilim bir miktar daha azalır. Vücut direnci, ayakkabı, basılan yer ve daha bir çok faktörlere bağlı olup 3000-4000 n arasındadır (daha da büyük olabilir). Birçok tesadüf ve faktörlere bağlı olduğu için vücut direncinin hesabı imkânsızdır. Bu yüzden tehlikeye düşülüp düşülmeyeceği maruz kalınan gerilime dolayısıyla vücuttan geçecek akımı sınırlayan izole zemin vs. gibi tertiplere bağlıdır.

Toprak telinin tesiri :

İlk plânda toprak teli, elektrik tesislerini aşırı atmosferik gerilimlere karşı korur. Eğer iyi iletgen malzemeden yapılıp, transformatör merkezlerinin topraklamalarına bağlanırsa, topraklamayı ve buna bağlı faktörleri tashih eder mahiyette rol oynar. Bu sayede hem topraklama direncinin düşmesini hem de topraklayıcı akımının yarıya düşmesini sağlar

Toprak telinin faydaları:

- 1 — Topraklama direnci; toprak telinin, transformatör merkezi ve direklerin münferit topraklamalarıyla paralel bağlanmasıyla azalır,
- 2 — Yıldırım akımı, bir çok direk üzerinden toprağa akar,
- 3 — Tek fazlı arıza akımının bir kısmı toprak teli üzerinden transformatör yıldız noktasına döner,
- 4 — Kısa devre akımı toprağa ve toprak teline bölündüğü için bilhassa civardaki zayıf akım iletgenlerine olan endüktif tesiri azalır.

Tek fazlı bir kısa devrede akımın bölünüşü şekil 13 de gösterilmiştir. Basit ve şematik olarak bu şekilde, arıza olmayan tarafta akım geçtiği görülebilir. Esasında toprak muayyen direnci olan üç boyutlu bir iletken olup toprak akımı derinliğine ve genişliğine yayılır. Bu durumda hava hattından uzaklaştıkça akım yoğunluğu azalır, pratik olarak toprağa nüfuz derinliği şu formülden hesaplanır;

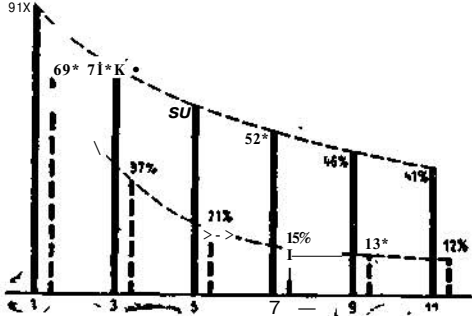
$$8 = 658 \sqrt{\frac{p}{f}}$$

Burada S metre ve p O metre ve toprak akımının frekansı Hz olarak yerine konulduğu takdirde iş oldukça basitleşir. Esasında her yöne taksim olan akıma eşdeğer olarak, bu derinlikte cüzi sembolik bir akımın akması icabederdi.

Hattın sağ tarafındaki (arıza olan kısım) toprak teli akımı; Toprak teli - Direk - Toprak zincir iletgeni direncine ve toprak teli ile toprak arasındaki manyetik kuplaja bağlıdır. Eğer bu zincir iletgenin direnci sıfır olsaydı, tek fazlı kısa devre akımının aşağı yukarı % 35'ini toprak teli üzerinden transformatör yıldız noktasına dönerdi. Arıza yerinde akımın bölünmesi, büyük ölçüde arızanın vukubulduğu direğin, topraklama direncine tabidir. Hattın geçtiği arazide akımın yayılması, toprak telinin direnci ve direklerin topraklama direncine bağlı olup, toprak teli direncinin artması, arıza mahallinden transformatöre dönen akımı azaltır. Eğer toprak teli merkezin topraklama tesisatına bağlanmış ise, her durumda merkez yayılma direncinden geçen  $I_E$  akımı,  $I \setminus$  kısa devre akımından küçüktür.  $I_E < \setminus \setminus$



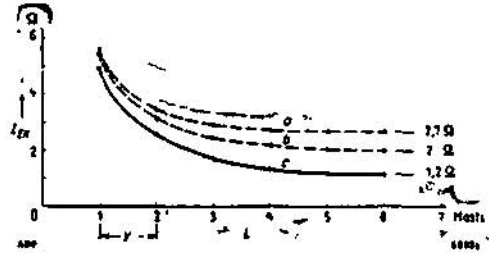
Toprak kısa devre akımının bölünmesine ait değerler Tablo I de verilmiştir. Arızanın olduğu yerdeki direk, kısa devre akımının ancak küçük bir kısmını toprağa sevkeder. Kısa devre akımının toprak teli üzerinden merkeze dönen diğer kısmı; toprak telinin iletgenliğine, R M ve R E toprak dirençlerine, özgül zemin direncine ve arıza mahalline bağlıdır (şekil .14). Yıldırım akımlarında endüktivite işletme frekansındaki kısa devreye nazaran daha ağır ba-



Şekil 14 Tek fazlı bir kısa devrede 1 inci direkten 11 inciye kadar  $j'_B$  toprak teli akımları  
— Çelik - alüminyum toprak teli  
..... Çelik toprak teli

saçağından, durum daha kötüleşir. Her direk için  $R M = 5 \Omega$  alınır, yıldırım akımı; % 20 arızalı direğin solundaki toprak teline, % 60 sağ tarafına % 20 de arızalı direğe ayrılır. Elimizde mevcut olan, bir hava hattının eşdeğer bağlantısından, dağılan akımların hesabı müşküldür. Basitleştirmek için toprak telinin tesiri yalnız hattın sıfır empedans değerinde dikkate alınır ve transformatör yıldız noktasına dönen bütün akımın, merkezin topraklama direncinden geçtiği kabul edilir. Kısa devre akımı geçmiyen bütün hava hatları, (şekil 13 de sol taraf), toprak teli merkeze giriyorsa, zincir iletgen empedanslarıyla topraklama direncine paralel girerler. Toprak teli empedansı bir minimum değere yaklaşır, bu değer çelik - alüminyum toprak telleri için umumiyetle 1 ilâ 3 arasında-

dır (şekil 15). Bu değer nisbeten direkler arası mesafeye bağlı olup merkez topraklama direnci artık muayyen bir hat uzunluğundan itibaren değerini muhafaza eder yani hattın uzaması topraklama direncini küçültmez. İletgenliği iyi olan bir toprak teli (Çelik - alüminyum kullanılırsa bu takdirde 6 km den sonra topraklama direnci minimum değerini alır. Direklerin topraklama direnci ne kadar küçük olursa, bu mesafe o kadar kısaldır. Demirin reaktif geçirgenliği ve iletgenliği akım yoğunluğu ile değiştiğinden, çelik toprak telinin zincir iletgen empedansı, toprak telinin yüklenmesine de bağlıdır.



Şekil 15. Hat uzunluğuna bağlı olarak toprak telinin zincir empedansı

- a Çelik toprak teli ( $i > 0 \text{ S A/mm}$ )  
b Çelik toprak teli ( $i < 0,5 \text{ A/mm}$ )  
c Çelik - Alüminyum toprak teli

Bütün bu müşahadeler, yıldız noktası iyi topraklanmış yüksek gerilim şebekelerini toprak teli ile teçhiz etmenin ve bunu merkez topraklamasına bağlamanın faydalarını gösteriyor. Billhassa bir çok hava hatlarının çıktığı bağlama tesislerinde, bu şekilde, topraklamanın tashihi şarttır. Tek fazlı kısa devrede, toprak teli çok büyük bir akımla yüklenebilir. Esasen çelik toprak telinin iletgenliği az olduğundan ve akım yoğunluğunun artması ile bu daha da kötüleşeceğinden, çelik toprak telinin termik olarak yüklenmesi de mümkündür. Halbuki aynı kesitteki çelik - alüminyum telin akımdan mütevellit fazla ısınması bahis mevzuu değildir.

T A B L O : I

Tek fazlı bir toprak kaçığında, yedinci direkte toprak telindeki akım dağılışı  
 $R_e = 0,2 \Omega$  fi  $R M = 5 \Omega$  fi  $P = 100 \text{ fi m}$  §<sup>ekil</sup> 13 e bakınız.

Toprak teli	İ					
	K	*E	M	B	Tu	T''
Çelik - Alüminyum	%100	%51	%7,5	% 2	%63	%31
% 40 Bakır, % 60 çekirdek (Çelik)	%100	%60	%10	%38	%56	%33
Çelik-Alüminyum (toprak teli merkez topraklamasına bağlanmamış)	%100	%100	%9	%00	%57	%37
Çelik	%100	%85	%20	%15	%44	%73