

Yıldırım Ve Aşırı Gerilimlerin Yüksek Gerilim Hatlarına Etkileri-Direklerin Topraklama Direnci İle İzolatörlerin Atlama Gerilimi İlişkisi – Parafudrlar-Transformatör Eklatörlerinin Etkin(!)liğı

N.Cahit GENÇER

EMO Ankara Şubesi
Elektrik Mühendisi
ncg32@hotmail.com

ÖZET:

Yüksek gerilim tesislerinin yıldırım ve aşırı gerilimlerden korunması için bugüne kadar yapılan araştırmaları, yayınlanan bildiri ve makaleleri genel anlamda bir araya getirerek 30 yılı aşan meslek yaşantım boyunca edindiğim bilgi ve tecrübelerimle harmanlayarak bu yazıyı meslektaşlarımla paylaşımına sunuyorum.

Anahtar kelimeler; Yıldırım , Aşırı Gerilim, Topraklama, İzolatör, Parafudr, Eklatör.

GİRİŞ:

Enerji nakil hatlarında gerilim çöküntüleri ve kesintilerine temel olarak, hava koşullarının yol açtığı yapılan araştırmalardan ortaya çıkmıştır. Yıldırım darbeleri neticesinde meydana gelen akımlar elektrik tesislerinde yüksek darbeli gerilimlere yol açabilir.

YILDIRIM OLUŞUMU

Genellikle yüklü olan bulut tabanında, izleyici (tracer) olarak bilinen düşük ışıklıkta bir boşaltım gerçekleşir. Bu yer altında yol alır ve metrelerce derine iner.

Yıldırımın olası değerleri 400 ile 500 kV/m'dir. Yıldırıma yakın noktalarda (ağaçlar, bacalar, paratonerler vb.)atmosferik hava iyonlaşma eşiğine ulaştığında (30 kV/m)akımlar oluşur. Bu fırtına bulutu ile yer arasında bir iyonize kanal oluşturarak kusursuz elektriksel bir bağlantıya yol açar.

Özetle yıldırım, toprak ile hava arasındaki enerji deşarjıdır.



Şekil 1:Yıldırım darbesi ve zaman ilişkisi(1).

Yukarıdaki grafikten anlaşılacağı gibi ölçülmüş yıldırım darbesi yaklaşık 1000-1100 µs'ler sürmekte simüle edilen turuncu eğride ise yıldırım deşarjında, 50 kA'lık yıldırım darbesi 0-10 µs 'lik sürede tepe değerine ulaşır ve 10-350 µs 'lik zaman diliminde yarı değerine doğru düşmektedir.

Yıldırım akımına dayanım özellikleri: 10-350 µs karakteristiğindeki deşarj akımı kapasitesi ile belirlenir(1).

YILDIRIM, ENERJİ NAKİL HATTI DİREKLERİNE VE İLETKENLERİNE İSABET EDEBİLİR YILDIRIMIN ENERJİ NAKİL HATLARINDAKİ DİREKLERE İSABET ETMESİ HALİ

Esas itibarı ile tüm YG ve transformatör direklerinde koruma topraklaması mevcuttur ve yıldırım için ayrıca bir topraklama yapmaya gerek yoktur. Yıldırım direk üzerine düştüğünde yıldırım akımı direk ve topraklama üzerinden toprağa akar.Direğin topraklama direncine bağlı olarak direk üzerinde çok yüksek bir gerilim oluşur.Oluşan bu gerilim darbe gerilimi olarak adlandırılır ve YG izolatörlerinin darbe dayanma gerilimi olan 170 kV'dan daha büyük bir değere ulaştığında geri(tepme) atlama yaparak direk üzerinden iletkenlere atlar ve bu sırada izolatörlerin hasarlanmasına yol açarlar.İşte bu nedenle direklerin topraklama direncinin bu geri atlamayı önleyecek değere düşürülmesi

gerekir. Şurası muhakkak ki eğer topraklayıcı üzerinden yıldırım akımının geçmesi esnasında darbe halinde meydana gelen gerilim, havai hatlarda kullanılan izolatörlerin darbe atlama geriliminden küçük olması durumunda izolatörler üzerinden gerilim geri (tepmesi) atlaması olmaz. Bu husus göz önünde bulundurularak topraklayıcı düzenlemek gerekir(2).

HAVAI HAT DİREKLERİNDE MAKSİMUM YAYILMA DİRENCİ HESABI

$R_d \leq U_d / I_d$ (Direğin topraklama yayılma direnci ve bu değer altında bir gerilim atlaması söz konusu olmaz.

U_d ; Havai hat izolasyonunun darbe gerilimi(kV)

I_d ; Yıldırım akımının havai hat direğinden geçen tepe değeri (kA)' dir.

(hesap stasyonier bir akım değeri ile yapılan basit bir hesap şeklidir).

Çizelge 1:Havai hat direklerinden geçen yıldırım akım şiddetleri ölçülmüş ve çok büyük yıldırım akım değerlerinin nadiren meydana geldiği görülmüştür. Havai hat direğinden geçen yıldırım akım değerleri ve % olarak aşılmaayan değerleri (2).

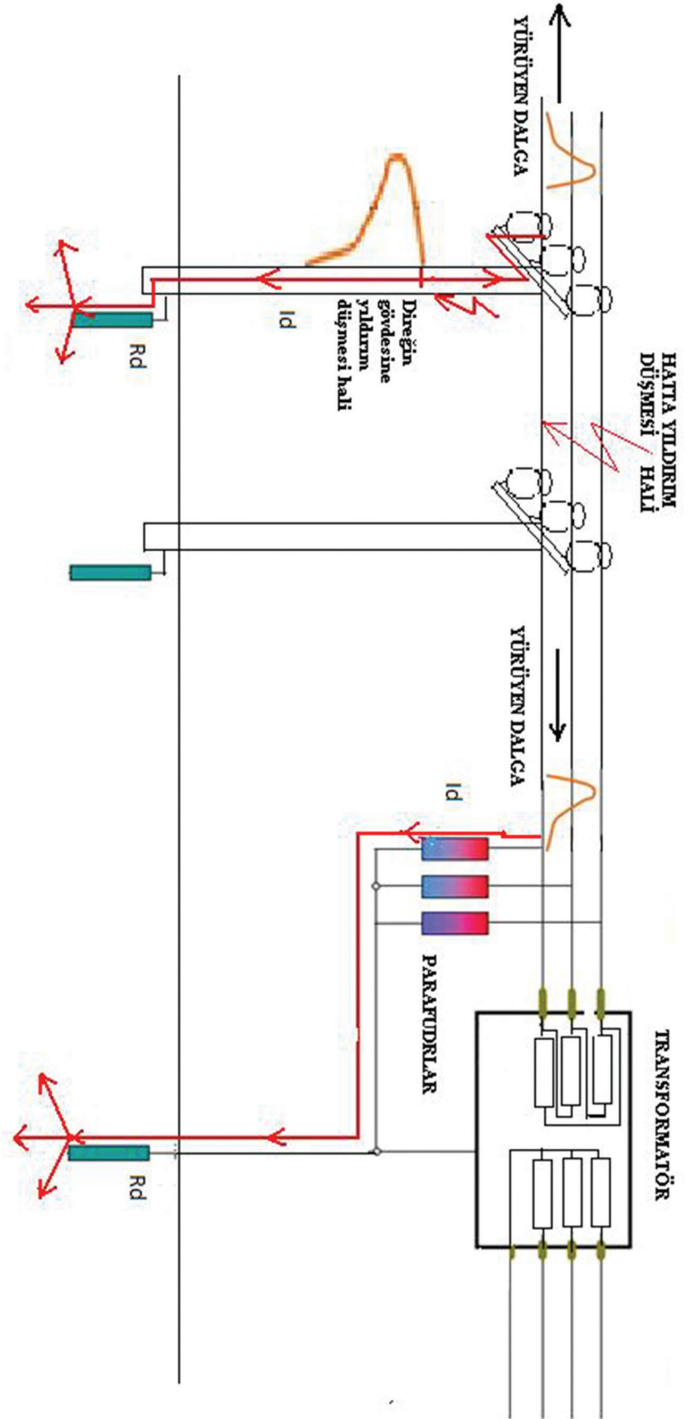
$I_d(kA)$	20	30	40	50	60
Yıldırımların %'si olarak aşılmaayan değerler	79	91	95	98	99

Buna göre yıldırımların birçoğu 20 kA'in altındadır. Ancak hesaplamalarımızda daha emniyetli olması bakımından 30 kA kullanılacaktır.

36 kV izolatörlerin Yıldırım Darbe Gerilim Dayanımı 170 kV'dur. Bu değer, kuru, temiz, hasarsız bir izolatörün dayanabileceği bir darbe gerilimidir.

Enerjili bir nakil hattındaki izolatörlerin yıldırım darbe gerilimlerinden etkilenmemesi için direklerin topraklama direnci;

R_d 'nin ; $(170 \text{ kV}) / (30 \text{ kA}) \cong 5 \text{ ohm}$ 'dan büyük olması gerektiği hesaplanmaktadır.



Şekil 2: Enerji Nakil Hatlarına yıldırım düşmesi hali.

İZOLATÖRLERDE KİRLENME VE İZOLASYON BOZULMASI

İzolatorlerin yıldırım darbelerine dayanıklı olması kirli, çatlak, kırık, nemli, kimyasal gaz ve tozlarla kaplanmış olması gibi etkenlere de bağlıdır.

İzolatorler farklı tipte çeşitli doğal kirlenmelere maruz kalırlar(5).;

a) Çöl Kirlenmesi: Kimyasal analiz sonuçları çöl kirinin çoğunluğu sülfat ve klor olmak üzere, %18 çözünebilir tuz, %10 CaSO₄, %3 NaCl ve %0.5 KCl karışımından oluştuğunu göstermiştir.

b) Endüstriyel Kirlenme: Endüstriyel alanlarda kullanılan izolatorlerde oluşan kir tabakasının, çimento tozları, fabrikaların pis kokulu gazları ve dumanların kimyasal bileşenlerinden oluştuğu tespit edilmiştir .

c) Deniz Kirlenmesi: Rüzgar deniz suyu damlacıklarını izolator yüzeyine taşır. Yüksek iletkenlikli tuzlu su damlacıkları izolator yüzeyini kaplar. Kuruma sonucu izolator yüzeyi ince bir film ile kaplanır. Bu işlem birkaç saat içerisinde gerçekleşir. İzolator yüzeyindeki iyileşme süresi ise 8 ile 12 saat arasındadır. Sonuç olarak kirlenme periyotları arasında kısmi bir iyileşme beklenir. Kirlenme periyotları rüzgârın yönüne bağlıdır. Denizden karayadoğru esen rüzgârlar kirliliğe sebep olurlar. Karadan Denize doğru esen rüzgârlar veya güneş ışığı ile desteklenen durgun şartlar, kuruma ve iyileşmeye neden olurlar(5).

İzolatorlerdeki yüzeysel kirlenmeler, yüzeyden kapasitif-rezistif özellikli bir kaçak akım akmasını sağlayarak alan dağılımını bozarlar ve yüksek gerilim izolatorlerinde sık sık kısa devre olaylarına sebep olarak istenmeyen enerji kesintileri ve ekonomik kayıplar meydana getirirler(5).

Çizelge 2: Temiz izolatorlere ait test sonuçları(3).

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey kaçak akımı (mA)
10	0,3
20	0,6
30	1,00
50	1,95
55	2,20
59	Atlama

Çok kirli şartlar altında ve izolator yüzeyini kaplayan ıslak kir filmi direncinin çok küçük değerli olması halinde tutuşan ön deşarj, yüksek atlama yoğunluklu ark deşarjı şekline dönüşerek yayılmakta ve atlama yapmaktadır. Sızma akımının değeri ile atlamaların meydana gelip gelmeyeceği arasında kesin bir bağlantı kurmak mümkün değildir(5).

Ancak, izolator yüzeyi boyunca kaçak akım değerinin artması atlama ihtimalini kuvvetlendirmektedir(5).

Çizelge 3: Seyitömer Termik Santral kir numunesiyle yapılan testin sonuçları(5).

(Yüzey iletkenliği = 0.5 μ S, t = 14 °C)

Uygulanan gerilim (kV)	%84 nem oranı için yüzey kaçak akımı (mA)	%88 nem oranı için yüzey kaçak akımı (mA)
5	-	0,44
10	0,39	0,68
15	0,54	1,10
20	1,20	1,80
25	-	2,00
26	Atlama	-
30	-	3,00
35	-	Atlama

Yüksek gerilim izolatorlerinde çevresel kirlenmelerin meydana getirdiği yüzeysel atlamalar, işletme bakımından çok büyük problemleri beraberinde getirmektedir. Sanayinin gelişmesi ile oluşan kirlilikler, termik santrallerin baca tozları, deniz tuzu gibi dış etkenler izolator yüzeyinde önemli derecede iletkenlik oluşturmakta ve izolatorün en önemli fonksiyonu olan elektriksel izolasyon görevini yerine getirmesine engel olmaktadır(5).

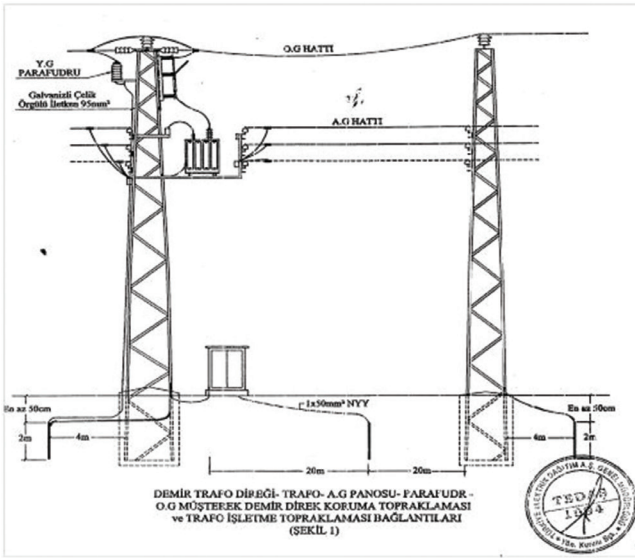
Yapılan araştırmalardan anlaşılabacağı gibi izolatorlerin kirli, kırık, çatlak, çizik, imalat hatası ve nemli-ıslak ortamlarda izolasyon seviyesinin düşmesi, nispeten küçük darbe gerilimlerinde (yürüyen dalgalar dahi atlamalara neden olabilmektedir.

İzolatorlerin zaman içerisinde temizlenmesi , kırık –çatlak – çizik olanların gözle ve test cihazları ile tespit edilerek değiştirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde hafif bir rüzgarda veya şarjlı bir havada enerji nakil hatlarında oluşan yürüyen dalgalarda ve küçük yıldırımlarda izolatorlerin hasarlanarak kısa devre yapması

neticesi elektrik kullanıcılarının uzun süreli elektriksiz kalmalarının önüne geçilebilecektir.

YILDIRIMIN ENERJİ HATTI İLETKENLERİNE İSABET ETMESİ HALİ

Yıldırım, hat iletkenlerine isabet etmesi durumunda, yıldırım darbe akımı ikiye bölünerek hattın iki yöne doğru yürüyen dalgalar biçiminde ışık hızında ($v \approx 300 \text{ m}/\mu\text{s}$) hareket eder. Yürüyen dalgalar, ortaya çıkmalarına yol açan olaylara ve şebekenin yapısına bağlı olarak, genlikleri, işletme geriliminin birkaç katına ulaşabilen aşırı gerilimlerin oluşmasına yol açarlar(3). YG/AG transformatörlerine ulaşan yıldırım darbe akımı buradaki parafudrlar üzerinden toprağa akar. Yıldırım darbe akımı parafudrun taşıyabileceği akım değerinden fazla olduğunda parafudrun hasarlanmasına yol açar. Eğer parafudr yoksa transformatörün YG sargılarında dinamik ve elektrikli zorlanmaya neden olur ve transformatörlerin hasarlanmasına ve devreden çıkmasına neden olur. YG sargılarında meydana gelen aşırı gerilim AG tarafına da geçer ve buradan da AG şebekesine yayılır(4).



Şekil 3: TEDAŞ Topraklama Uygulamaları (El Kitabı-6)

Yürüyen dalgalar, sistemde yayılırken, örneğin hat dirençleri, kaçak iletkenlikler ve oluşan korona kayıpları nedeniyle zayıflarlar. Ancak, sistemin süreksizlik noktalarında oluşan yansıma ve kırılmalar sonucu, süreksizliğin türüne bağlı olarak gerilimlerinin genlikleri artabilir ya da azalabilir(4).

Yürüyen dalgalar, büyük güçlere sahip olmakla birlik-

te; genel olarak çok kısa süreli olduklarından, düşük enerjilere sahiptirler. Ancak, üzerinde yol aldıkları iletim ortamlarının karakteristik empedanslarına bağlı olarak oluşturdıkları aşırı gerilimler, aygıtların yalıtımlarını bozabilmektedirler. Genel olarak, sistem üzerinde işletme gerilimi de bulunduğundan, aşırı gerilimler nedeniyle ortaya çıkan yalıtım bozulmaları Şebeke kısa devrelerine dönüşmektedir. Şebeke kısa devreleri ise enerji kesintilerine, sistemde önemli hasarlara ve aygıtların kullanılamaz hale gelmesine yol açabilmektedirler(4).

Bunun yanı sıra, ülkemizde, özellikle orta gerilim dağıtım transformatörlerinde geçit izolatorlerine (buşingle-re) eklatör (ark boynuzu) yerleştirilmekte ve bu şekilde transformatörlerin de aşırı gerilimlere karşı korunabileceği varsayılmaktadır(4).

Eklatörlerin bu amaçla kullanılabileceğine ilişkin değerlendirmeler yönetmeliklerimizde de yer almaktadır(4).



Resim 1: Transformatör buşingi ve eklatörü (ark boynuzu)

Orta gerilim dağıtım sistemlerinde kullanılan aygıtların darbe geriliminde dayanma düzeyleri ilgili standartlarda tanımlanmıştır. Örneğin, 36 kV'luk sistemde kullanılan aygıtlar için standart yıldırım darbe dayanma düzeyi, genel olarak 170 kV'tur. Diğer taraftan bu aygıtların aşırı gerilimlere karşı korunmasında kullanılacak koruma aygıtlarının (parafudrların) artık gerilimlerinin, belirli koşullarda 120 kV'u aşmaması gerekmektedir. Bu sınır değerinin tanımlanmış olması, aşırı gerilimlere dayanma açısından, aygıt yalıtımlarında bir güvenlik payı bulunması gerektiği biçiminde yorumlanabilir. Diğer yandan, ark boynuzlarında, 30-36 kV'luk sistem için elektrot açıklığının 22 cm alınması gerektiği belirtilmektedir. Oysa, 22 cm açıklığa sahip ark boynuzlarında, pozitif darbeye 170 kV, negatif darbeye ise 180 kV üstündeki gerilimlerde atlama olmakta; diğer bir deyişle ark boynuzları bu gerilimlerden daha yüksek gerilimlerde çalışabilmektedirler(4).

Ark boynuzlarında elektrot açıklığı 16 cm'ye düşü-

rüldüğünde, her iki kutbiyetdeki darbeler için 140 kV düzeyinde atlama gerilimleri elde edilmektedir. Buna göre, ilgili standartların, koruma aygıtları için öngördüğü 120 kV'luk sınırın altına düşülebilmesi için, ark boynuzlarında açıklığın 16 cm'den de küçük seçilmesi gerekmektedir(4).

Burada dikkat edilmesi gereken, önemli bir diğer konu, ark boynuzlarının gecikmeli çalışmalarıdır. Yürüyen dalgaların yayılma hızları (hava hatlarında ışık hızında ($v \approx 300 \text{ m}/\mu\text{s}$) ve özellikle yıldırım darbe gerilimlerinin cephe dikliği de göz önüne alındığında, ark boynuzlarının, örneğin dağıtım transformatörleri gibi aygıtların güvenli bir şekilde korunmasında yeterli olamayacağı görülmektedir(4).

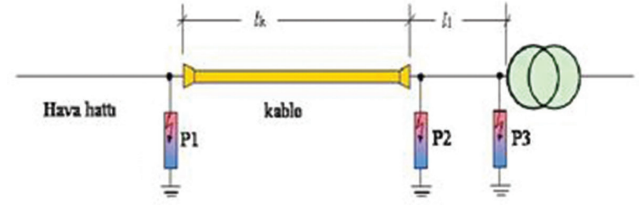
Ark boynuzları, özellikle iletim sistemi izolatörlerinde, aşırı gerilim kaynaklı bir atlama sonucunda oluşabilecek bir arkı, yüzeyden uzaklaştırarak, izolatörlerin hasar görmesini önlemek amacıyla kullanılırlar. Aşırı gerilimin etkisi geçtikten sonra arkın sönmesi, işletme geriliminin, dolayısıyla şebeke enerjisinin de kesilmesini gerektirir(4).

Ancak, elde edilen deneysel sonuçlardan da, dağıtım transformatörü gibi aygıtların korunmasına yönelik olarak önerilen, ark boynuzu açıklıkları oldukça büyüktür. Ayrıca atlamının, darbe sisteme ulaştıktan, en azından birkaç μs sonra gerçekleşiyor olması, özellikle dik cepheli darbelerde, ark boynuzlarının koruma aygıtı olarak değerlendirilemeyeceğini göstermektedir(4).

Sonuç olarak, ark boynuzlarının, yalnızca izolatör(buşing) koruma aygıtı olarak tanımlanabileceği görülmektedir(4).

Eklatörler yıldırım darbelerinde sadece buşingi koruyabilirken, parafudrlar dağıtım transformatörünü korumaktadır.

Bununla birlikte; Yıldırım darbe akımı transformatörlere ulaşmadan YG enerji havai hatları ile yer altı kablolarının birbirine bağlı olduğu kablo başlıklarında ve yer altı kablo ek yerlerinde izolasyonu bozarak atlama ve delinmelere de neden olabilecektir. Bu nedenledir ki havai hat ile yer altı kablolarının birleştirildiği yerlerde parafudr montajı yapılmalıdır. Parafudr topraklaması direnci direğin koruma topraklaması ile birleştirilerek 5 ohm'un altında olması sağlanmalıdır.



P1 ve P2 kablo koruması, P3 ise transformatör koruması içindir.

Kablo boyu $L_k < 30 \text{ m}$ için P1 yeterlidir. $L_k > 30 \text{ m}$ için kablo iki ucundan ayrı ayrı korunur.

Eğer L_1 mesafesi P2'nin koruma alanından küçükse P3'den vazgeçilir.

Şekil 4: Yeraltı kabloları, Hava Hatları ve Transformatörlerin Parafudr ile korunması.

PARAFUDR SEÇİMİ

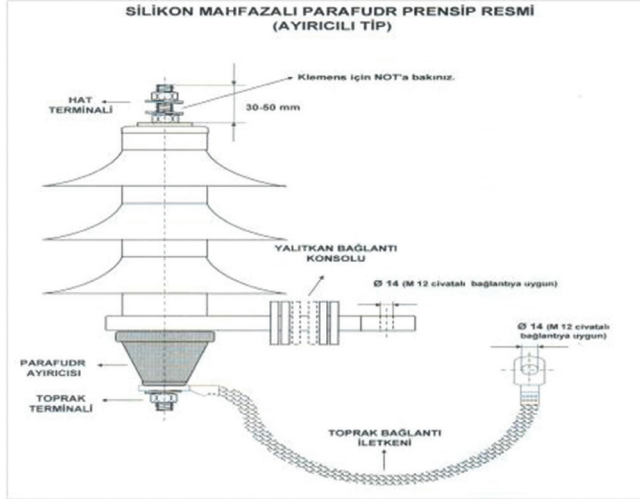
Parafudrlar 5-10 kA darbe boşalma akımına göre yapılmaktadır. Atmosferik boşalmaların yoğun olduğu bölgelerde 10 kA (dağıtım hatları ve bu hatlara bağlı YG kabloları, köy-ilçe-kasaba dağıtım transformatörleri), yıldırım akımlarının seyrek olduğu yerlerde 5 kA'lık parafudr seçimi uygun olmaktadır.

Çizelge 4: 36 KV'a kadar dağıtım sistemlerinde parafudr seçimi.

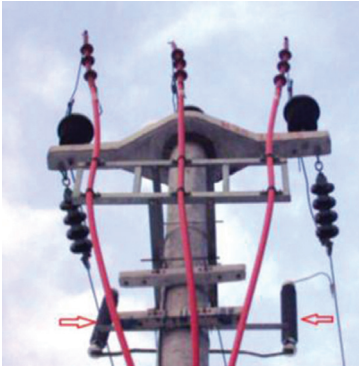
Anma Gerilimi (kV)	Parafudr Gerilimi (kV)		Parafudr Darbe Boşalma Akımı (kA)		Parafudr Kısa Devre Akımı (kA)		
	Sistemin Durumu						
	Doğrudan Topraklı	Direnç ile Topraklı ve Üçgen Devre					
3,3	3	3,3	5	10	10	20	40
7,2	6,3	7,2	+	+	+	+	+
12	10,5	12	+	+	+	+	+
17,5	15	18	+	+	+	+	+
36	30	36	+	+	+	+	+

Transformatör direklerinde parafudr topraklaması ile koruma topraklaması birleştirilir ve birlikte topraklama işlemi gerçekleştirilir. Aksi takdirde parafudr üzerinden toprağa akan akımın toprakta oluşturduğu gerilim halkası içerisinde kalan koruma topraklaması üzerinde bir miktar gerilim oluşur ve tehlikelere yol açabilir. Ayrı iki topraklamanın yapılması topraklama direncinin azaltılamaması ve maliyetinde fazla olmasına neden olacaktır.

Parafudrların aşağıdaki şekilde ayırıcılı tip montaj edilmesi halinde parafudrun hasarlanması sonucu parafudr ayırıcısı gövdeden ayrılacak ile toprak bağlantı iletkeni fleksibil olduğu için aşağı düşecek ve bir arıza kaynağı olmayacaktır.



Resim 2: Ayırıcılı tip parafudr montajı



Resim 3: Havai hat şebekesi ile yeraltı kablo şebekesinin irtibatlandırıldığı bir beton direkte parafudr uygulaması.

SONUÇ;

Yıldırım ve aşırı gerilimler, yüksek gerilim hava hatları, yeraltı kabloları, dağıtım transformatörleri, izolatörler, kablo başlıklarına, hatta AG alıcılarına zarar vermektedir. Elektrik tesislerinde kısa veya uzun süreli kesintilere yol açacak bu tehlikenin varlığı dikkate alınarak tesislerin yapımı ve işletilmesi gerçekleştirilirse hem milli ekonomimiz daha az zarar görür hem de kesintisiz ve kaliteli bir elektrik enerjisi kullanımına sunulmuş olur.

Kaynaklar:

- (1) Sefa Ersin ÖZDEMİR, Yıldırım ve Aşırı Gerilimlerden Koruma Sistemleri Hasarlar ve Önleyici Tedbirler.
- (2) Kemal ÜÇLEROĞLU, Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Koruma.
- (3) Okan PEKİNER, Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Aşırı Gerilimler.
- (4) Hasan İSMAİLOĞLU, Aşırı Gerilimlere Karşı Korumada Ark Boynuzlarının Etkinliği.
- (5) Muhsin Tunay GENÇOĞLU-Mehmet CEBECİ, İzolatör Kaçak Akımlarının ve Yüzeysel Atlama Gerilimlerinin Çevresel Faktörlere Bağımlılığı.

BİTİRME PROJELERİ SERGİSİ (BPS) VE İLK BİLDİRİLER KONFERANSI (İBK) 2015 DÜZENLENİYOR

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Ankara Şubesi'nin Ankara ve Çankaya Üniversitelerinin ilgili bölümleri ile işbirliği halinde beşincisini planladığı Bitirme Projeleri Sergisi (BPS) 2015 ve Bilkent ve Orta Doğu Teknik Üniversitelerinin ilgili bölümleri ile işbirliği halinde üçüncüsünü planladığı İlk Bildiriler Konferansı (İBK) 2015 eş zamanlı olarak 12-13 Haziran 2015 tarihlerinde

Ankara İvedik OSB Sergi ve Toplantı Salonları'nda gerçekleştirilecek. Etkinlikler, tüm üniversitelerinin Odamızla ilgili bölümlerinde okuyan ve yüksek lisans yapan öğrencilerine açık olup, elektrik, elektronik, haberleşme, biyomedikal, kontrol, otomasyon kapsamındaki projelerin ve bildirilerin sergilenmesine olanak sağlayacak. BPS 2015 Proje Başvurusu İçin Son Gün, 15 Mayıs 2015; Poster Gönderimi İçin Son Gün, 29 Mayıs 2015 olarak belirlendi. İBK 2015 bildiri gönderimi için son tarih ise 20 Nisan 2015.

Tarih: 12-13 Haziran 2015

Yer: Ankara İvedik OSB Sergi ve Toplantı Salonları (1368. Cadde No: 61, İvedik OSB/Ankara)

