

# Türkiye’de Yerli Yüksek Gerilim Kablo Aksesuarlarının Dizaynı ve Üretimi

## Design and Production of High Voltage Cable Accessories in Turkey

Enis TUNA , Jurgen KRAUS

Demirer Kablo Aksesuar Departmanı  
Aksesuar Dizayn-R&D Şefi  
Kraus Consulting  
Accessories Dept. Manager

[enis.tuna@masscable.com](mailto:enis.tuna@masscable.com), [juergen.kraus@highvoltage-projects.com](mailto:juergen.kraus@highvoltage-projects.com)

### Özet

Temel olarak başlıklar ve ekler olarak adlandırılan Yüksek Gerilim kablo aksesuarları önceden-kalplanmış silikon enjeksiyon teknolojisi ile 420 kV'a kadar dizayn edilip geliştirilmiştir.

Başlıklar birkaç bileşenden oluşmakta olup bunlar; önceden kalplanmış stres kon, buşing ya da epoksi izolatör , izolasyon dolgusu ve metalik parçalardan oluşmaktadır.

Ek dizaynı temel olarak konnektör, önceden-kalplanmış silikon ek gövdesi ve çevresel koruma gibi bileşenleri içermektedir.

Üretilen tüm stres kon ve eklere IEC 60840 ve IEC 62067'ye uygun olarak %100 rutin test yapılmaktadır.

Basit yapılarından dolayı bu başlık ve eklerin montajında, eski sarmalı (yağlı kağıt, EPR bantlı) dizaynlarda olduğu gibi montörlerin yetenekli olmasına ihtiyaç duyulmaz ve montaj süreleri bu sayede düşürülebilir.

170 kV ve de 380 kV gerilim seviyelerinde tip testler IEC'ye uygun olarak başarı ile tamamlanmış olup ; tip testler de harici başlıklar ( porselen ve kompozit) , ekler, yağlı tip ve kuru tip GIS başlıkları "back to back" şeklinde montajlanarak tip test devreleri oluşturulmuştur.

### Abstract

HV cable accessories -which can be named mainly as terminations and joints- based on prefabricated silicone injection technology were being designed and developed up to 420kV.

Terminations consists a few parts such as pre-molded stress cone, bushing or epoxy insulator, insulation filler and metal parts.

Joint design consists mainly a connector, prefabricated silicone joint body and outside protection.

Manufactured all stress cones and joints are 100% routine tested according to IEC 60840 and IEC 62067.

Due to such simple construction, these terminations and joints does not require high jointing skills, as previous lapped designs, and assembling time can be reduced.

Type test for 170kV and 380kV cable system have been successfully performed according to IEC, having outdoor terminations (porcelain and composite), joints, conventional and dry type GIS sealing ends in a back to back arrangement in the loop.

Prequalification test following IEC 62067 is ongoing and will be completed last quarter of 2017.

### 1. Giriş

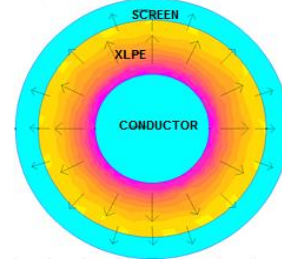
Yüksek ve ekstra yüksek gerilim enerji sistemlerinde son teknoloji ürünü olarak kullanılan yüksek gerilim kablo aksesuarları temel olarak iki görevi üstlenmektedirler. Bunlar hattın akım devamlılığını (hatta ek bir direnç yükü getirilmeden) sağlamak ve de yüksek gerilim seviyesinin yarattığı elektrik alan zorlamalarını kontrol altında tutarak enerjinin istenen yönde (yer altından havai hatlara, GIS/trafo merkezlerinden yer altına vb.) transferini efektif olarak sağlamaktır.



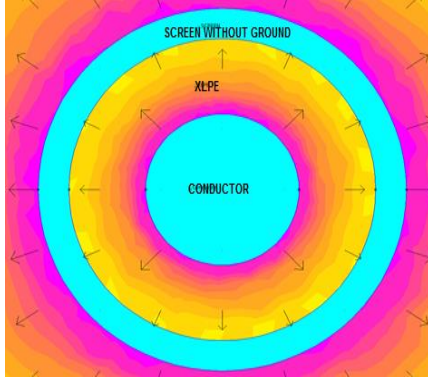
Şekil 1. Yüksek gerilim kablo aksesuarları

Yüksek gerilim yeraltı kablolarının üretimi esnasında karşılaşılan mekanik sınırlamalar (üretim tekniği gereği karşılaşılan doğal sınırlamalar)ve de sevkiyatı sırasında görülen engeller nedeniyle kablolar sınırlı uzunluklarda üretilmekte olup ; enerji hattının devamlılığını sağlamak adına sınırlı kablo uzunlukları YG kablo ekleri ile birleştirilerek istenilen hat devamlılığı sağlanmaktadır. Aynı şekilde enerji hattının havai hat yada GIS/trafo merkezine yapılacak sonlandırmalarda da yüksek gerilim aksesuarları kullanılarak hattın enerji transferi ve yüksek elektrik alan zorlamaları kontrol altında tutulmaktadır.

Yüksek gerilim kablolarında izolasyon (XLPE,yağlı kağıt,PE,EPR vb.) üzerinde bulunan ekran katmanı izolasyon üzerinde homojen bir elektrik alan dağılımı yaratmaktadır.[2]

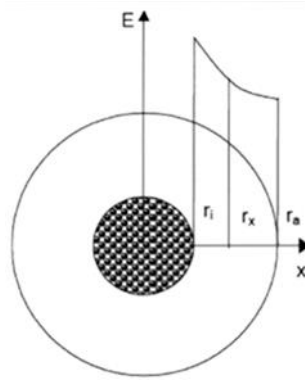


Şekil 2. Topraklı YG kablosunda elektrik alan dağılımı



Şekil 3. Topraksız YG kablusunda elektrik alan dağılımı

Yüksek gerilim kablolarında gerilimin yaratmış olduğu elektrik alan zorlaması kablo ekseninden dışarı doğru homojen bir şekilde yönelim göstermekle birlikte artan izole kalınlığı ile izole üzerindeki stres logaritmik olarak azalmaktadır.



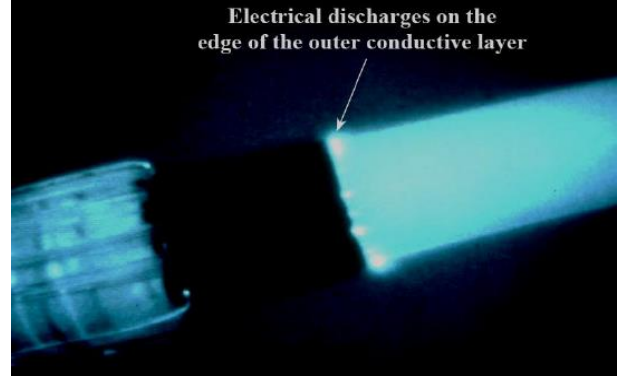
Şekil 4. Silindirik sistemde elektrik alan zorlamasının dağılımı

$$E_x = \frac{V}{r_x * \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)} \quad [1]$$

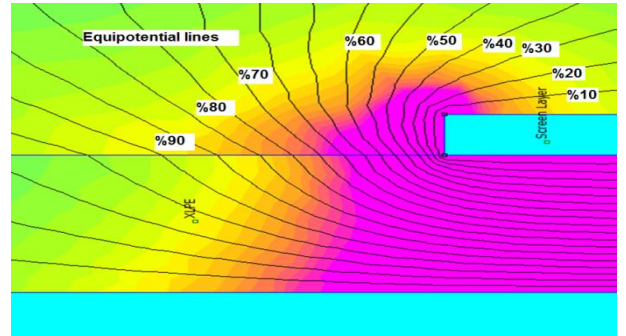
Yüksek gerilim başlıklarının ve eklerin montajında doğal olarak toprak potansiyelinde bulunan ekran; yüksek gerilim potansiyelinden (kablo iletkeninden) elektriksel atlama-kısa devre oluşumlarını engellemek adına belli bir mesafeye uzaklaştırılmaktadır. Bu mesafe gerilim seviyesi ile orantılı olup; ekranın uzaklaştırılması ile kablo izolasyonunun üzerinde kablo boyunca homojen olarak dağılan elektrik alanın bozulmasına ve de elektrik alanın yaratmış olduğu stresin en yakın ekran potansiyeli noktasına odaklanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5. Ekranı soyularak uzaklaştırılmış YG kablusu



Şekil 6. Toprak potansiyelinde görülen kısmi deşarjlar



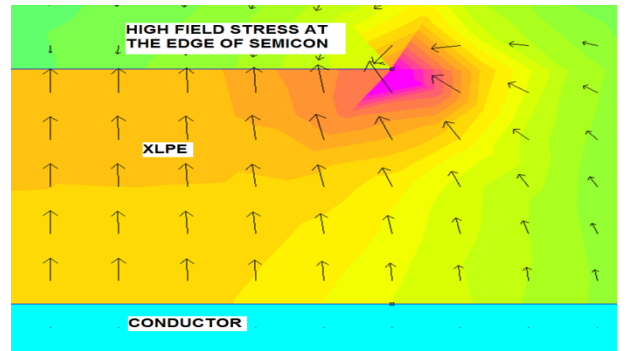
Şekil 7. Eko-potansiyel alan çizgilerinin bir ekran noktasındaki dağılımı

Şekil-7'den görüleceği üzere; elektrik alanın yarattığı stres, ekranın sonlandığı bölgede odaklanmakla birlikte, kablunun izolasyon tabakasının dielektrik dayanımını aşacak şekilde bir dağılım göstermektedir. Bu şekilde kablo üzerinde gerçekleşecek bir stres yoğunlaşması kısmi deşarja ve nihayetinde izolasyonun komple delinmesine sebep olacaktır.

Bu şekilde yüksek gerilim kablo ekranı üzerinde oluşabilecek aşırı elektrik alan streslerini kontrol altına almak ve kritik bölgede elektrik alan stresinin azaltılması gerekmektedir.

## 2. Yüksek Gerilim Aksesuarlarında Paralel Elektrot Sistem Benzetimi

Yüksek gerilim sistemlerinde elektrik alan stresinin yarattığı problemi daha iyi anlamak adına, 3 boyutlu yapısı silindirik sisteme eşdeğer olan kablo; ekran kenarında meydana gelen stresin daha net anlaşılması adına 2 boyuta indirgenip paralel elektrot sistemi altında incelenmiştir.



Şekil 8. YG kablolarında paralel elektrot benzetimi

2D perspektifinden bakıldığında paralel elektrot düzleminde ki stres :

$$E = \frac{V}{d} \left[ \frac{kV}{mm} \right] \quad [2]$$

olmakla birlikte Şekil-8’de görüleceği üzere elektrik alan vektörleri elektrot sisteminin köşesine odaklandığı görülmektedir. Burada 2D’ye indirgenen problemde arasında bulunan izolasyon malzemenin olduğu bölge homojen olarak E stresine maruz kalıyor iken toprak potansiyelinde ki elektrodun köşesi E değerinden daha fazla bir elektrik alana maruz kaldığı görülmektedir.

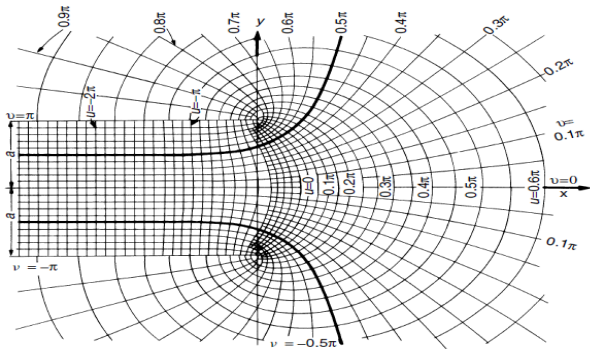
3D perspektifinden bakıldığında kablo sistemi bir eksen etrafında dönen silindirik yapıya sahip olmakla birlikte kablo ekranı üzerinde denklem [1] de görülen elektrik alan stresi oluşmaktadır. Yüksek gerilim aksesuarlarında kullanılan geometrik stres kontrol yönteminin amacı ; kablo boyunca homojen olarak devam eden elektrik alan şiddeti E’nin [2] seviyesini aşmayacak şekilde dizayn edilen profilin paralel elektrot sonlarına eklenerek profil boyunca elektrot yüzeylerinde görülen elektrik alanın max. E değeri ve profil boyunca ilerledikçe bu stres seviyesinin düşürülmesi hedeflenmektedir.[3]

## 2.1. Geometrik Stres Kontrol Yöntemleri

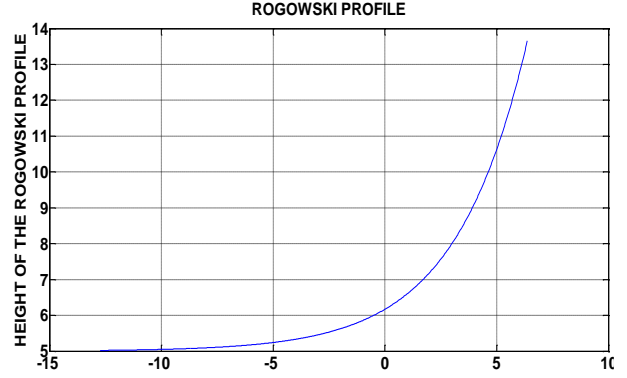
Geometrik stres kontrol yöntemlerine örnek olarak temelde Rogowski ve Borda profilleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.1.1 Rogowski Profili

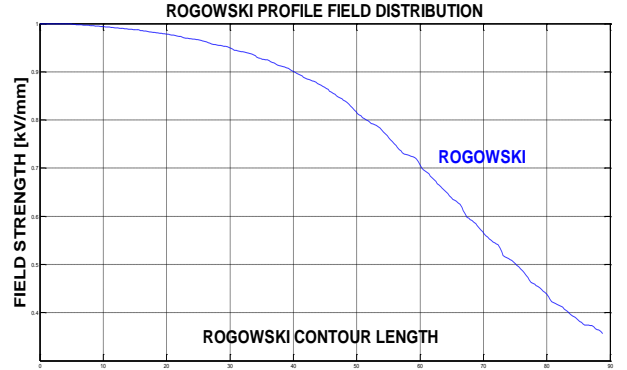
Rogowski profili incelendiğinde ; paralel elektrot sistemlerinde ilk olarak Maxwell tarafından ortaya konan [2] nolu denklem Rogowski tarafından incelenerek ; paralel elektrot sisteminin köşelerinde meydana gelen stres yoğunlaşmasını azaltan ve de oluşan yeni profilde elektrik alan şiddetinin profil sonuna doğru giderek düşmesini sağlayan ve “Rogowski Profili” olarak adlandırılan profili önermiştir. [1]



Şekil 9. Rogowski profilinde elektrik alan dağılımı



Şekil 10. Rogowski profilinin ölçüsel karakteristiği

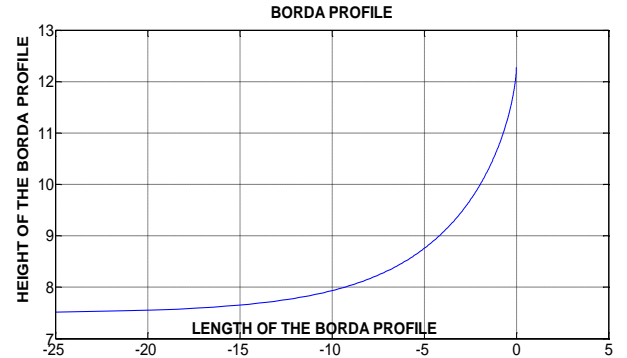


Şekil 11. Rogowski profili üzerinde ki elektrik alan dağılımı.

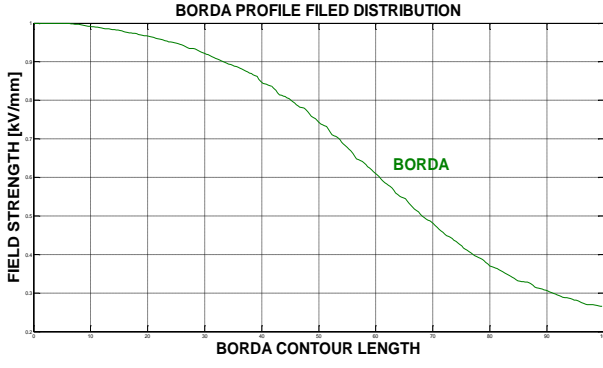
Şekil-11’de görüleceği üzere elektrik alan şiddeti değeri max değerini elektrotların birbirine paralel olduğu bölgede almakla birlikte bu değer profil boyunca ilerledikçe düştüğü görülmektedir.

### 2.1.2 Borda Profili

Borda profili de Rogowski’nin sunmuş olduğu profile benzemekle birlikte ; paralel elektrot düzleminde görülen elektrik alan stres seviyesini aşmayacak şekilde ve daha kompakt profil boyutları ile kontrol altına alabilmektedir.[4]

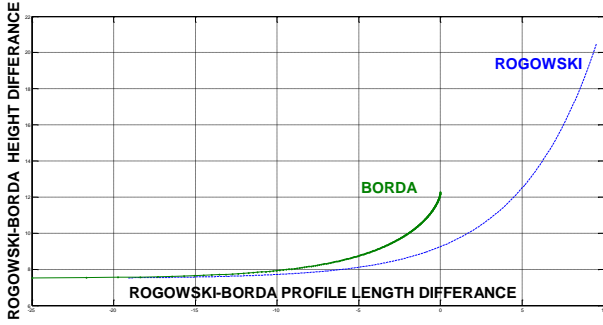


Şekil 12. Borda profilinin ölçüsel karakteristiği

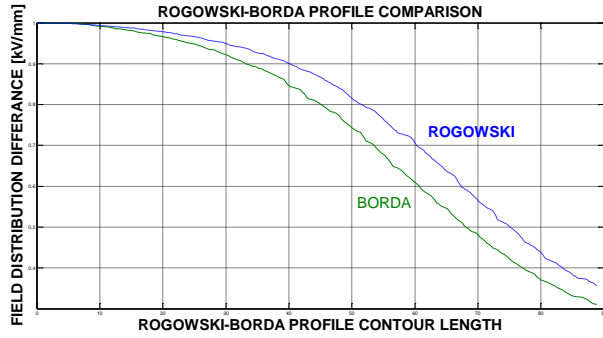


Şekil 13. Borda profilinin ölçüsel karakteristiği

Rogowski ve Borda profilleri karşılaştırıldıklarında yüksek gerilim aksesuarlarında stres kontrolünü yapan stres kon ve eklerde Borda profilinin kullanılmasının hem boyut hem de elektrik alanın kontrolünde daha avantajlı olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 14. Rogowski-Borda profilleri ölçüsel karşılaştırılması



Şekil 15. Rogowski-Borda profilleri elektrik alanı düşürme performansı karşılaştırılması

### 3. Yüksek Gerilim Aksesuarlarının Dizaynı

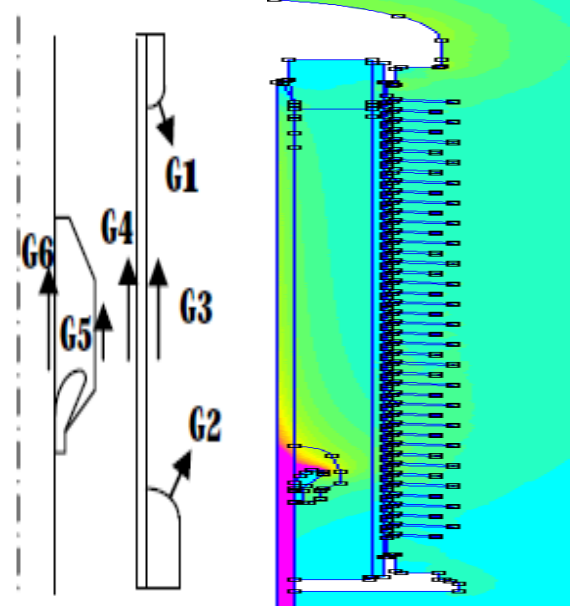
Yüksek gerilim aksesuarlarının dizaynında temel ve en önemli olarak stresin kontrol altına alınması gereken en kritik bölge kablunun izole ekran geçişi olduğu ve bunun için uygulanması gereken geometrik alan kontrolünün detayları çalışmanın üst başlıklarında görülmektedir.

Bununla birlikte yüksek gerilim aksesuarları üzerinde meydana gelen ve dizayn aşamasında dikkate alınması

gereken temel noktalar Şekil-14-16 ve 18 da belirtilmiştir.

#### 3.1 Harici Başlıklar ve Dizayn Kriterleri

Yüksek gerilim başlıklarında temel dizayn kontrol bölgeleri Şekil-14'te görüldüğü gibi olup; ana dizayn kriteri bu bölgelerde bulunan malzeme ve ortamda bulunan bileşenlerin ( hava, yağ, gaz vb.) dielektrik dayanım sınırlarının aşılması prensibine dayanmaktadır.



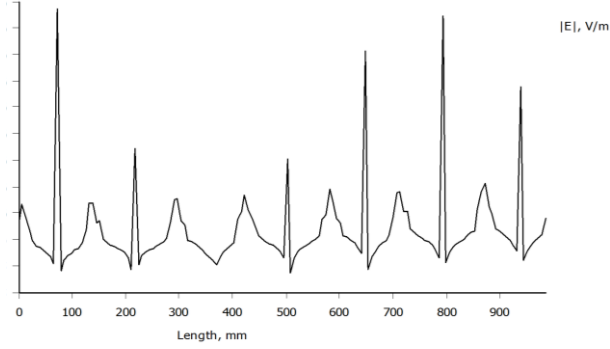
Şekil 16. Harici başlık elektrik alan kontrol bölgeleri



Şekil 17. 380 kV kompozit ve harici başlıklar

- G1: Başlık üst flanş ( YG potansiyeli )
- G2: Başlık üst flanş ( Toprak potansiyeli )
- G3: İzolatör-ortam arayüzü
- G4: İzolatör-izolasyon akışkanı arayüzü
- G5: Stres kon-izolasyon akışkanı arayüzü
- G6: Stres kon-kablo arayüzü

Şekil-14'te görüleceği üzere yüksek gerilim harici başlığının montajlanmış hali ; tüm malzemelerin elektriksel özellikleri FEM (Finite Element Method) yöntemi ile çalışan bilgisayar tabanlı simülasyon programlarına girilerek 2D ya da 3D olarak alan analizleri gerçekleştirilmektedir



Şekil 18. Harici başlık saçakları-hava arayüzü stres dağılımı örneği

Harici başlıkların dizayn kriterleri :

- Harici başlıklar dış ortamlarda çalıştıklarından çevresel koşullar (yağmur,sis,kir,toz vb.) performanslarında etkilidir.
- Harici başlıkların çeşitli uzunluk ve krepaj uzunluklarına sahip olmalarının nedeni IEC 60815 ile tanımlanmış ve de “çok hafif” sınıfından “çok hafif” sınıfına kadar tanımlanan ortam koşullarına ve de hattın gerilim seviyesi ile alakalı olarak tanımlanmış çeşitli BIL seviyelerine sahip olmalarıdır.
- Harici başlığın montajlanacağı ortamın sıcaklığı
- Kompozit yada porselen olmasına bakılmaksızın yukarıdaki tüm kriterler tüm harici başlıklar için geçerlidir.

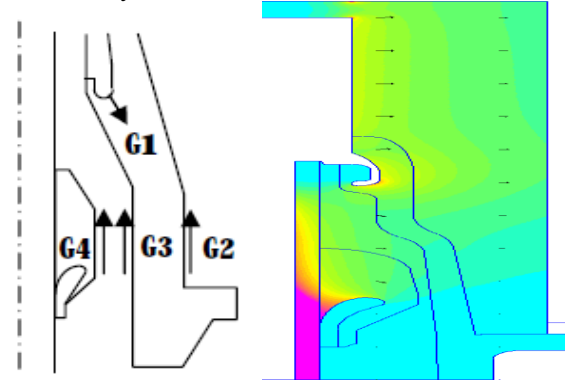
Kompozit ve porselen izolatörler olarak kullanımda olan harici başlıklarda son yıllarda market kompozit izolatöre doğru yönelmiştir.Kompozit izolatörün daha kompakt,güvenli olmaları ve stabil üretim koşullarına sahip olması tercih edilmesini sağlamaktadır.Hidrofobiti ve UV dayanımı kompozit izolatörleri porselen izolatörlerden bir adım önde tutmaktadır.

Kompozit izolatörlerin başlıca avantajları :

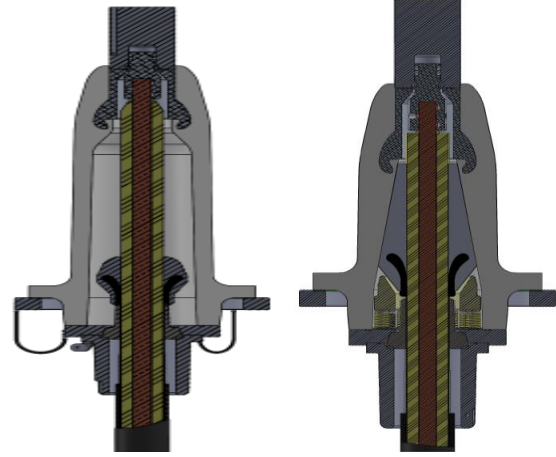
- Porselen izolatörlere nazaran daha hafiflerdir
- Üretim ve teslim tarihleri porselen izolatörlere nazaran kısadır
- Silikon kauçuğun hidrofobiti özelliği kompozit izolatörlere daha iyi bir dış ortam dayanımı vermektedir
- UV dayanımları iyidir
- Dielektrik dayanım-performansı iyi seviyelerdedir
- Dizaynlarda esneklik sağlar
- Üzerine silah atışı yapılması vs saldırı durumlarında porselen izolatöre nazaran daha güvenlidir.

### 3.2 Dahili Başlıklar ve Dizayn Kriterleri

Yüksek gerilim dahili başlıklarında da harici başlıklarda olduğu gibi Şekil-15'te görülen; ana dizayn kriteri bu bölgelerde bulunan malzeme ve bileşenlerin ( basınçlı hava,yağ,gaz vb.) dielektrik dayanım sınırlarının aşılması prensibine dayanmaktadır.



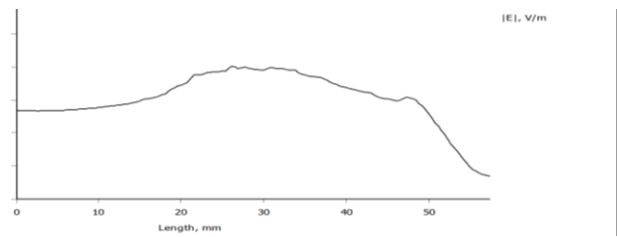
Şekil 19. Dahili başlık elektrik alan kontrol bölgeleri



Şekil 20. 380 kV konvansiyonel ve kuru tip başlıklar

- G1: Yüksek gerilim elektrodu
- G2: İzolatör-GIS/trafo kompoartmanı arayüzü
- G3: İzolatör-izolasyon akışkanı arayüzü (yağlı tip)
- G3: İzolatör-stres kon arayüzü (kuru tip)
- G4: Stres kon-izolasyon akışkanı arayüzü

Yapılan simülasyonun sonunda stres seviyesi merak edilen bölge incelenerek ; o bölgede bulunan malzeme üzerinde oluşan stresin malzemeye olan etkisi ve sonuçlar uygun ise dizaynın sonlandırılması yada stres seviyesinde iyileştirme gerekiyor ise dizayn optimizasyonuna devam edilmesine karar verilir.



Şekil 21. Dahili başlık örnek bölgesel elektrik alan dağılım grafiği

Dahili başlıkların dizayn kriterleri :

- Dahili başlık bileşenlerinin birçoğu harici başlıklarda da kullanılmasına karşın farklı geometrileri vardır.
- Harici başlıklarda kullanılan kompozit ve porselen izolatörlerin yerine epoksi izolatörler kullanılmaktadır.
- Dahili epoksi izolatörlerin dış ölçüleri IEC standartları ile tanımlanmış olup bu sayede dizayn edilen izolatörün tüm GIS/trafo kompartmanlarına uygun olması sağlanmıştır.
- Dahili başlıklar yağlı (konvensiyonel) ve kuru tip olmak üzere iki şekilde dizayn edilirler.
- Dahili başlığın montajlandığı kompartman SF6 gazı yada yağ dolu olabilir.Buyüzden elektrik alanı kontrol eden bileşenler kompartmanda bulunan izolasyon akışkanı dikkate alınarak dizayn edilir.

Dahili başlıkların montajlandığı kompartmanda bulunan izolasyon akışkanı yağ ise bu durum ürünü daha çok zorlayan streslere maruz bırakmaktadır. Kompartmanda SF6 gazı kullanılması başlık üzerinde görülen stresleri düşürürken ;son yıllarda kullanım rahatlığı ve de SF6 gazının izolasyon yağlarından daha rijit yapıda olması ve ürünün efektif çalışma süresi boyunca (40 yıl) tüm dielektrik özelliklerini koruması kompartmanların SF6 ile doldurulması yönelimini arttırmıştır.

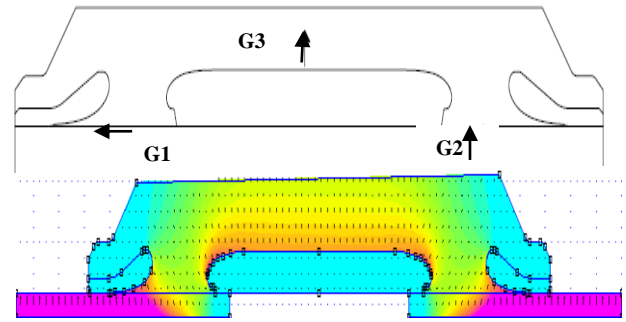
Yağlı (konvensiyonel) ve kuru tip olarak markette kullanım gören dahili başlıklarda son yıllarda kuru tip dahili başlığın tercih edildiği ve de yağlı başlıkların yerlerini aldığı görülmektedir.Dahili kuru tip başlığın konvensiyonel tipe göre avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Konvensiyonel başlıklarda kablo+stres kon (erkek bileşen) ile epoksi izolatör arasında bir izolasyon akışkanı (yağ vs.) bulunurken ; kuru tip başlıklarda kablo+stres kon ile epoksi izolatör arasında herhangi bir izolasyon akışkanı bulunmaz.Stres kon epoksi yüzeyine direk temas edecek şekilde dizayn edilir.
- Kuru tip dahili başlık "plug-in" teknolojisine sahiptir.Bu sayede başlığın epoksi izolatörü trafo/switchgear üreticisine gerçek saha montajından çok önce gönderilerek fabrika testlerinin yapılması ve kompartmanın sahada tekrar açılmasına gerek kalmaz. Trafo sahaya ulaştığında kablo+stres kon izolatöre takılarak montaj kolay bir şekilde tamamlanır.
- Kuru tip başlıkta daha kısa kablo hazır yapılarak montaj tamamlanır.
- Konvensiyonel başlığa göre kuru tip çok daha kompakt ve hafiftir.
- Kuru tip başlıkta herhangi bir izolasyon akışkanı olmadığından izolasyon için ekstra bir bant ,o-ring vs ekipmanlar kullanılmaz.

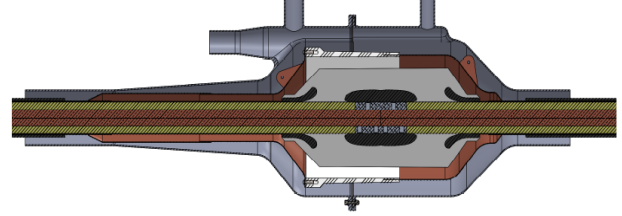
- Basit adaptör parça dizaynı ile birlikte konvensiyonel başlığın ölçüleri yakalanarak (IEC'ye uyacak şekilde) şebekede kullanılan konvensiyonel tip başlıklara göre dizayn edilen kompartmanlara sorunsuz şekilde montaj yapılabilir.
- Başlığın montajında yağ dolmu, yağın yerleşmesi gibi süreçler yoktur.Montaj süreleri kısadır.

### 3.3 Ekler ve Dizayn Kriterleri

Yüksek gerilim aksesuarlarının en önemli bileşeni konumunda ki eklerde de başlıklarda olduğu gibi istenen gerilim seviyesinin yarattığı stresler tüm ürün boyunca incelenerek nihai dizayna ulaşılmaktadır.

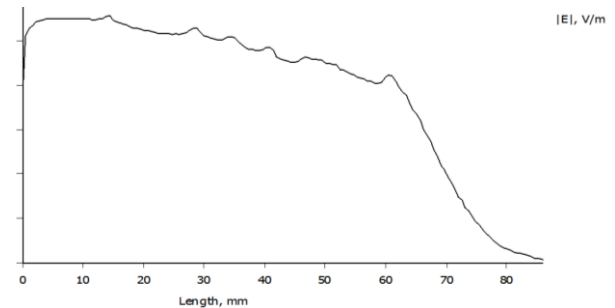


Şekil 22. Yüksek gerilim eki elektrik alan kontrol bölgeleri



Şekil 23. 380 kV izole eki

- G1: Orta elektrot-yan elektrot arayüzü
- G2: Normal yönde (radyal) stres
- G3: Orta elektrot-izolasyon arayüzü



Şekil 24. Yüksek gerilim eki örnek elektrik alan dağılım grafiği

Eklerin dizayn kriterleri:

- Ekler; ekin bir ucundaki kabloya ait ekran bağlantıları direk olarak ekin diğer ucundaki kablo ekranına kısa devre edilirse düz ek; iki kablunun ekran uçlarını birbirinden izole edecek şekilde ekran bağlantısı yapılıyorsa izole ek olarak adlandırılır.
- Ekin montajlandığı kablunun iletken kesitini karşılayacak ve sisteme ek bir rezistif yük getirmeyecek bir konnektör dizaynını içermelidir.
- Konnektörler presli, mekanik sıkımalı yada kaynaklı olmakla birlikte 185 mm<sup>2</sup> 'den 3000 mm<sup>2</sup> 'ye kadar tüm kesit ailesini kapsamalıdır.
- Konnektörün ölçüsüne uygun ve optimum elektrik alan dağılımını sağlayan orta elektrot seçimi yapılmalıdır.
- Önceden kalıplanmış ek gövdesi ile kablo arayüzünde uygun bir sıklık (uygun bir genleşme) seçilerek arayüzde görülen elektrik alan zorlamaları kontrol altında tutulmalıdır.
- Ekin ölçüleri optimum seviyede tutulup ek çukurlarında montaj kolaylığı sağlanmalıdır.
- Ekin mekanik sızdırmazlık testleri IEC 60840 ve IEC 62067'ye uygun olarak test edilmelidir.

Yüksek gerilim aksesuarlarının temel görevleri olan, akımın (enerjinin) iletimi konnektör teknolojisi ile mümkün olur iken; yüksek gerilim seviyesinin yarattığı elektrik alanın kontrol altında tutulması malzeme teknolojisine ( dielektrik dayanım) dayanmaktadır.

Aksesuarların dizaynı aşamasında "What-If" metodu izlenerek ; prottip olarak tasarlanan bileşenler çizim ortamında 2D-3D olarak montajlanıp simülasyon ortamına aktarılmaktadır. Geometrik stres kontrol metoduna göre tasarlanan silikon kauçuk-yarı iletken ve iletken bileşenler çalışma koşullarına birebir uyacak şekilde tüm ortam şartları ve malzeme bilgileri önceden tanımlı olarak istenilen nihai aksesuar dizaynı elde edilene kadar iteratif adımlarla dizayn edilmektedir.

#### 4. Yüksek Gerilim Aksesuarları ile Yapılan Testler

##### 4.1. Tip Testleri

Bir ürün geliştirildikten sonra IEC 60840 ve IEC 62067'de bulunan test koşullarına uygun olarak bir tip test gerçekleştirilmelidir. Tip testi; geliştirilen ürünün (kablo ve/veya kablo+aksesuar) satışı yapılmadan önce dizaynın doğrulanmasını hedeflemektedir. IEC'ye uygun olarak gerçekleştirilen bir tip test sonrasında ; dizayna ait bir malzeme değişikliği , üretim metodu değişikliği vb. gibi değişiklikler yapılmadığı sürece başarı ile geçilmiş tip testlerin tekrarlanmasına gerek yoktur. Daha basit bir anlatım ile tip testi dizaynda kullanılan malzemelerin ve dizaynın tamamının doğru olup-olmadığının ispatını yapmaktadır. [br paper]

Çalışmanın önceki başlıklarında incelenen dizayn kriterleri takip edilerek Demirer Kablo'nun tasarlanmış olduğu 123 kV-

420 kV (U<sub>max</sub>) 'a kadar gerçekleştirilen tip testler aşağıdaki gibidir :

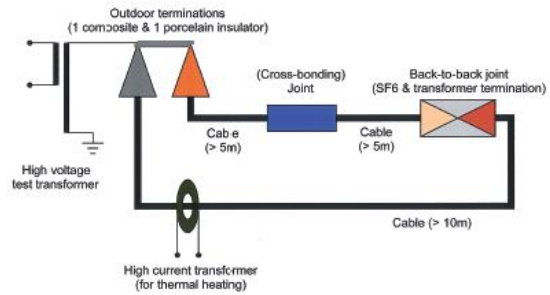
- 170 kV (U<sub>max</sub>) ,BIL 750 kV 1600 mm<sup>2</sup> Cu/XLPE/Al Sheath/HDPE (TEİAŞ,CESI ) Kompozit harici başlık , Porselen harici başlık,Konvensiyonel dahili başlık, Kuru tip dahili başlık, İzole ek , Düz ek.
- 170 kV (U<sub>max</sub>) ,BIL 750 kV 2000 mm<sup>2</sup> Al/XLPE/Smooth Al Sheath/HDPE (TEİAŞ,CESI ) 170 kV (U<sub>max</sub>) ,BIL 750 kV 2000 mm<sup>2</sup> Al/XLPE/Al Wire/HDPE (TEİAŞ,CESI ) Kompozit harici başlık,Konvensiyonel dahili başlık, Kuru tip dahili başlık, İzole ek,Düz ek.
- 420 kV (U<sub>max</sub>) , BIL 1425 kV 2000 mm<sup>2</sup> Cu/XLPE/Smooth Al Sheath/HDPE (dahili) Kompozit harici başlık , Porselen harici başlık,Konvensiyonel dahili başlık, Kuru tip dahili başlık, İzole ek.



Şekil 25. 170 kV 2000 mm<sup>2</sup> tip test devresi



Şekil 26. 420 kV 2000 mm<sup>2</sup> tip test devresi



Şekil 27. Karakteristik tip test şeması

Şekil-xx'te görülen şemada karakteristik tip test devresi görülmektedir.

Tip test devresinde harici başlıklar (kompozit + porselen); devreye yüksek gerilim bağlantısının yapıldığı noktalardır. Aynı şekilde harici başlıkların arasına yapılan kısa devre bağlantısı ile akım devamlılığı sağlanmaktadır.

Harici başlıklardan sonra IEC 60840 ve IEC 62067 'te tanımlanan kablo aralıklarında ek ve dahili başlıkların bağlantısı yapılır.

Tip test devrelerinde genellikle izole ek bağlantısı yapılırken müşteri isteklerine yada dizayn onaylanması istendiğinde hatta düz ek te ilave edilir.

Tip test devreleri müşteri isteklerine uygun şekilde seçilen aksesuarlarla yapılacağı gibi tüm aksesuar ailesine onay alınması (dizaynın onaylanmasının ) istenen durumlarda tüm aksesuar ailesi devreye dahil edilebilir.

Dahili başlıkların tip test devrelerine bağlanması "back to back joint" terimi ile tabir edilen ve de başlıkların kompartman içindeki şartlarda test edilmesini sağlayan bir bağlantı şeklidir. Back to back tankı müşteri talebine göre SF6 gazı ya da yağ ile doldurulabilir. Yada tüm dahili başlık ailesinin dizaynının onaylanması istendiğinde ; tip test devresine hem yağ dolu hem de SF6 ile doldurulmuş back to back joint bağlantısı yapılabilir.

Tip test devresine istenen tüm aksesuar montajları yapıldıktan sonra IEC 60840 ve IEC 62067'de tanımlanan elektriksel testler (dönemli ısıtma , kısmı deşarj , lightning impulse, switching impulse vs.) gerçekleştirilir. Ürünlerin elektriksel testleri başarı ile geçmesinin ardından IEC'de tanımlı mekanik testler (ekin sızdırmazlık testleri, mekanik yük testleri vs.) gerçekleştirilir

2015 ve 2016 yılında gerçekleştirilmiş birçok tip testin ardından 420 kV gerilim seviyesinde 2000 mm<sup>2</sup> Cu iletkenli TEİAŞ spesifikasyonlarına uygun olarak imal edilmiş Demirer Kablo ve aksesuarları ile 2016 yılı içinde CESI gözetimi altında bir tip test daha gerçekleştirilecektir. Tip test devresinde ; harici kompozit başlık , harici porselen başlık , dahili konvensiyonel tip başlık, dahili kuru tip başlık ve izole ek kullanılacaktır.

Başarı ile gerçekleştirilecek tip test sonrasında Demirer Kablo 420 kV (U<sub>max</sub>) gerilim seviyesinde ilk defa %100 yerli mühendislik ile tasarlanan ürünlerin Türkiye'de ki ilk ve yerli tedarikçisi olacaktır.

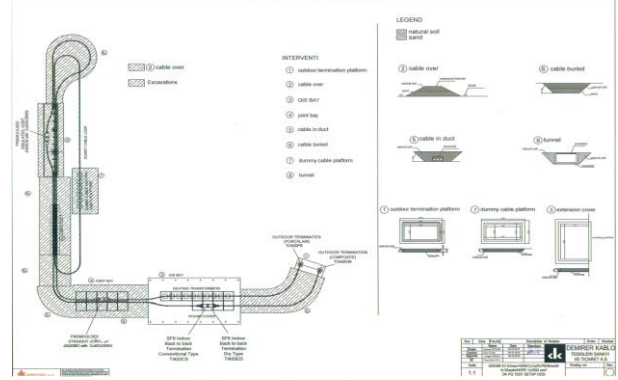
#### 4.2. Ön-Yeterlilik (Pre-Qualification) Testleri

IEC 60840 ve IEC 62067 'ye göre yapılan tip testler ürünün dizaynını , seçilen malzemelerin doğruluğu gibi dizaynın genel olarak doğruluğunu test ederken ; ön yeterlilik (Pre-Qualification (PQ)) testleri aksesuar ve kablo sistemlerinin uzun dönem çalışma performansını ölçümlemeyi hedeflemektedir. PQ testleri sadece U<sub>max</sub> gerilimi 170 kV'un üstünde olan kablo sistemleri için uygulanmaktadır.

IEC 62067'ye göre PQ testlerinin amacı ticari olarak satışa sunulmadan önce bir kablo sisteminin (kablo+aksesuar) ağır şartlar altında ve de tüm saha koşullarını içinde barındıran bir devrede montajlanarak ; kablo ve buna montajlanmış aksesuarların uzun dönem performansını ölçümlemektir.

PQ testleri bağımsız test laboratuvarlarında (CESI, IPH, KEMA vb.) gerçekleştirilen uzun süreli ve pahalı testler olduklarından test devresine mümkün olduğunca çok onay alınması ve markete sürülmesi istenen aksesuarlar montajlanmalıdır. Diğer yandan satış açısından düşünülen tüm aksesuarları PQ devresine ekliyor olmanın arıza ve problem olasılığını da yükselttiği unutulmamalıdır.

Demirer Kablo 420 kV (U<sub>max</sub>) seviyesinde ve 2500 mm<sup>2</sup> kesitli Cu iletkenli kablo ve aksesuarları ile 2017'nin son çeyreğinde tamamlanacak PQ test montajını CESI (Milano) yerleşkesinde aşağıda görülen kablo ve aksesuarları ile gerçekleştirmiştir.



Şekil 28. 420 kV 2500 mm<sup>2</sup> PQ test devresi şeması

- U<sub>max</sub> =420 kV 2500 mm<sup>2</sup> Cu/XLPE/Smooth Al Sheath/HDPE
- T0420CM Kompozit harici başlık
- TO420PR Porselen harici başlık
- TI420DS Kuru tip dahili başlık
- TI420CS Konvensiyonel tip dahili başlık
- JI420CN İzole ek
- JS420B0 Düz ek



Şekil 29. 420 kV 2500 mm<sup>2</sup> PQ devresi harici başlıklar





Şekil 30. 420 kV 2500 mm2 PQ devresi dahili başlıklar



Şekil 31. 420 kV 2500 mm2 PQ devresi izole ek montajı

## 5. Sonuçlar

Geliştirilen 170 kV ve de 420 kV yüksek gerilim kablo aksesuarları IEC standartlarına uygun olarak test edilmiş olup bağımsız gözlemciler tarafından yapılan tip testleri onaylanmıştır.

Tip testlerinden harici olarak ürünlerin geliştirilmesi süresince uzun dönem performanslarını görme, aksesuar ve yüksek gerilim kablosunun uyumunu inceleyen ve de dizaynı zorlayan birçok elektro-mekanik teste gerçekleştirilmiş olup nihai dizaynlar ile testler başarıyla tamamlanmıştır.

Mevcut yüksek gerilim aksesuarları kolay ve hızlı montaj yapılmasına imkan verecek şekilde dizayn edilmiş olup; dizaynın temeleni sıvı silikon enjeksiyon teknolojisi ile önceden-kalıplanmış ve rutin test edilmiş silikon kauçuk (LSR-liquid silicone rubber) ürünler oluşturmaktadır. Bu kriterlere göre dizayn edilen 420 kV aksesuarlar PQ test için hazırlık aşamasındadır. 2017'nin son çeyreğinde PQ testin tamamlanması planlanmaktadır.

## 6. Kaynaklar

- [1] TUNA Enis , 2015, "Optimization of High Voltage Electrodes and HV Cable Accessories Design by Using MATLAB and FEMM"
- [2] Ali HIRJI, 2011, "A Review of Electrical Stress Control Systems for Medium and High Voltage Cable Accessories"
- [3] E.KUFFEL, W.S. ZAENGL, J.KUFFEL, 2000, "High Voltage Engineering", Newnes, Oxford, ENGLAND, 206-207
- [4] Jean-François OSTIGUY, 1993, "Longitudinal Profile and Effective Length of a Conventional Dipole Magnet", 1993 IEEE, 2901-2902