

Epoksi Reçinelerin Yüksek Gerilim İzolasyonlarında Kullanılması

Yazan :

Ziyaretçi Y. Prof. Dr. Robert WILKINS
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Tercüme:

Y. Prof. Or. Ahmet RUMELİ
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Dökme epoksi reçineler mükemmel elektrik ve mekanik özelliklerinden dolayı yüksek gerilim izolasyonlarında çokça kullanılmaktadır. Son zamanlara kadar başlıca kullanma sahası daha çok dahili yüksek gerilim sistemlerinin izolasyonu olmuştur. Bununla beraber, epoksi reçinelerin harici izolasyon tatbikatlarında da kullanılması bugün artık söz konusu olmuştur.

Bu makalede, epoksi reçinin harici izolasyon tatbikatlarında arzettiği fayda ve problemler incelenmiş, harici şartlara uygun yeni tip epoksi reçinelerin geliştirilme usulleri izah edilmiştir. Sentetik izolasyon maddelerinin kullanılması, harici izolasyon koordinasyonunda önemli gelişmelere yol açabilecektir.

ABSTRACT

Cast epoxy resins are now widely used in high voltage applications, because of their excellent combination of electrical and mechanical properties. Up to the present time, the major field of application has been for indoor insulation. There is however, much interest today in the possibility of using resins outdoors under electrical stresses.

This paper reviews the special problems encountered by outdoor insulation, and describes the way in which new classes of resins, which are suitable for outdoor applications, have been developed. By the use of these synthetic materials, major improvements in outdoor insulation techniques are possible.

1. GİRİŞ

Dökme epoksi reçinenin son zamanlarda yüksek gerilim cihazlarının izolasyonunda geniş ölçüde kullanılmasına başlanmıştır. Sistem ve cihaz gerilimi arttıkça, izolasyon tekniğinin ıslahı maliyet yönünden teşvik görmekte ve uygun izolasyon koordinasyonu ile önemli derecede ekonomi sağlanabilmektedir. Bilhassa çok yüksek gerilimlerde izolasyon, direkt ve indirekt olarak maliyete oldukça tesir etmektedir. Mesela, bir transformatörde izolasyon, öngörülen izolasyon seviyesi için lüzumlu izolasyon kalınlığı yönünden direkt olarak ve sargolarda açığa çıkan ısı enerjisinin transferini önlemeyecek bir izolasyon kalınlığı tesbiti yönünden de indirekt olarak transformatör boyutlarının tayininde mühim rol oynar. Dolayısıyla, en uygun izolasyon koordinasyonunun tayini ile, kullanılan izolasyon malzemesi pahalı olsa bile hayli ekonomi sağlanabilir.

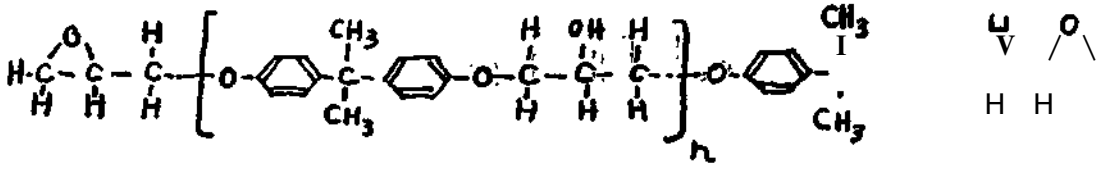
Bu hususlar epoksi reçinenin bilhassa son zamanlarda dahili tip yüksek gerilim cihazlarının izolasyonunda çokça kullanılmaya başlanması ile daha da belirli hale gelmiştir. Epoksi reçinenin yüksek mekanik mukavemeti, bunun hem izolasyon hem de strüktür yapı malzemesi olarak kullanılma imkânını vermektedir. Epoksi reçinenin ayrıca kompleks şekillerde dökülebilir

me özelliği, dahili tip metal muhafazalı salt cihazları, kesici, ayırıcı, v.s. (metal clad switchgear) dizaynında önemli gelişmelere imkân vermiştir. Böyle bir sistemde, kuru tip transformatör kullanılabilenkte, bara izolasyonu dökümden yekpare bir şekilde yapılarak sistemin toplam boyutlarında azalma sağlanmaktadır.

Epoksi reçinenin dahili yüksek gerilim izolasyon tatbikatlarında kullanılması bugün artık benimsenmiş, bulunmaktadır. Bununla beraber, bu yazıda diğer izolasyon maddeleri yanında epoksi reçinenin harici yüksek gerilim izolasyon tatbikatlarında kullanılması imkânları ve sağlayacağı büyük ekonomik avantajlar üzerinde durulmuştur. Harici tatbikatın sebep olduğu bazı problemler münakaşa edilmiş ve bu problemlere yol açan şartlarda daha uygun performans sağlayan geliştirilmiş yeni tip reçineler incelenmiştir.

2. EPOKSİ REÇİNELER

Yüksek gerilim izolasyonlarında en çok kullanılan epoksi reçineler bisfenol A'nın epikloridin ile reaksiyonundan elde edilmektedirler. Bunların genel moleküler yapıları şöyledir.



Molekül yapıdaki 'n' sayılı elde edilen reçinenin, viskozluk derecesi İla İlgüü olup, *n' nln büyük değerleri kata reçinelere tekabül eder. 'n' değeri, dolayısıyla reçinenin viskozluk derecesi, reaksiyonda kullanılan bi-fenol ve epikloridln oram ile değiştirilebilir. Bu şekilde elde edilen esas reçine, asit anhidrid veya amin gibi bir eertleştirici veya oluşturma reaktifi ile karıştırılırsa, reçine ve sertleştirici maddi molekülleri arasümda meydana gelen—bir çapraz-bağ reaksiyonu sonucu set, üç buutlu ve çapraz-bağ katı bir izolasyon maddesi hasil olur. Böylece elde edilen sentetik katı izolasyon maddesi mükemmel mekanik, termik ve elektriksel izolasyon özelliklerine sahiptir. Esas reçinenin sertleştirici veya oluşturma reaktifi ile reaksiyonunda herhangi bir yan ürün meydana gelmez ve reaksiyon için bir dış basınç tatbiki gerekmez. Elektriksel İzolasyon tatbikatlarının çoğunluğu için, karışıma ayrıca kuvars tozu ilave edilir. Kuvars tozu elde edilen sentetik maddenin mekanik mukavemetini daha da iyileştirir ve maliyetini azaltır.

3. SENTETİK İZOLASYON MADDELERİNİN HARİCİ İZOLASYON TATBİKATLARINDA SAĞLADIĞI AVANTAJLAR:

Sentetik izolasyon maddelerini harici yüksek gerilim izolasyon tatbikatlarında kullanmakla bir çok avantajlar sağlanabileceği gibi, porselen ve cam gibi kullanılagelmekte olan izolasyon maddelerinin arzettiği bazı problemlerde giderilmiş olacaktır. Bu avantajları şöylece sıralyabiliriz.

a. Hafiflik:

ön dizayn araştırmaları, sentetik maddeden yapıli bir askü izolatörünün porselen yapıli bir izolatöre nazaran % 30 daha hafif olduğunu göstermiştir. Bu - husus, enerji nakil hatlarının inşasında önemli bir ekonomik avantaj demektir.

b. Yüksek Çarpma Mukavemeti:

Sıkıştırılmış cam ve porselenin çarpmaya karşı mukavemetleri oldukça zayıftır. Bu yüzden enerji nakil sistemlerinin yapımı sırasında cam ve porselen izolatörlerde kırılmalar ve çatlamlalar olur.

c. Uygun Termik Şok Direnci:

Yapılan çok sayıda deneyler, sentetik reçinte yapıll izolatörlerin binlerce amper akım taşıyan arka, alternatif akımın bir kaç periyodu zaman-

da tahrip olmadan dayanabildiklerini göstermiştir. Halbuki, aynı şartlar altında porselen bir İzolatörün sır tabakası çatlayarak dökülür ve yüksek ark akımlarında İzolatör tamamen kırılır.

d. Yüksek Mekanik Mukavemet:

Yuka/da (a), (b) ve (c) gıklarında da belirtildiği gibi epoksi reçine, bilhassa cam fiber ile takviye edilince, yüksek mekanik mukavemet kazanır. Buna ilaveten, epoksl reçinenin cam ve porselene nazaran daha yüksek gerilme mukavemeti dizaynda çok daha fazla elastikiyet sağlar. Meselâ, bir enerji nakil hattı dlreğindeki izolatörler ve metal konsollar aynı sentetik maddeden yapılabilir. Bunun Bağlıyacağı avantaj aşikârdır. Diğer taraftan dizaynda önemli değişmelere imkân vermesi, İzolasyon koordinasyonunda önemli diğer ekonomik avantajlar sağlar.

e. Elverişli İmalât özellikleri:

İyi kalitede bir dökme epoksl reçine mamulü için gerekli teknik bilgi iyi tırl porselen mamulü için gerekli teknik tecrübeden fazla değildir. Fırınlama sarasında bir porselen izolatör boyutlarında % 8 kadar bir değinme olabilir. Bu, 400 kV luk yekpare bir porselen izolatör için izolatör boyunda 40 cm kadar bir azalmaya tekabül eder. Bu durum, büyük eibatta porselen bir izolatörün fırınlanma esasında tesbitini zorlaştırır. Fırınlanan porselen bir İzolatör gekil ve boyutlarında meydana gelen değişmeler bazen müsaade edilir limitlerden fazla olabilir ve imâl edilen edilen izolatör kullanılmayabilir. Aynı boyutlardaki İzolatör reçineden imâl edilirse daha uygun toleranslar sağlamak mümkündür.

4. KARBONLAŞMA:

Çeğitli avantajlar sebebiyle, 1950 sıralarında harici tatbikatlar için sentetik yapıli izolatörlerin denenmesine bağlandı. Daha sonra sentetik izolatörlerin, yukarda belirtilen birçok avantajlarına karşılık, bazı zorluklar çıkardığı görüldü. Bunlar İçinde en önemlisi Sentetik izolatör yüzeyi boyunca «tracking» denen ağaç dallan şeklinde İletken karbonlze yolların teşekkül etmesidir.

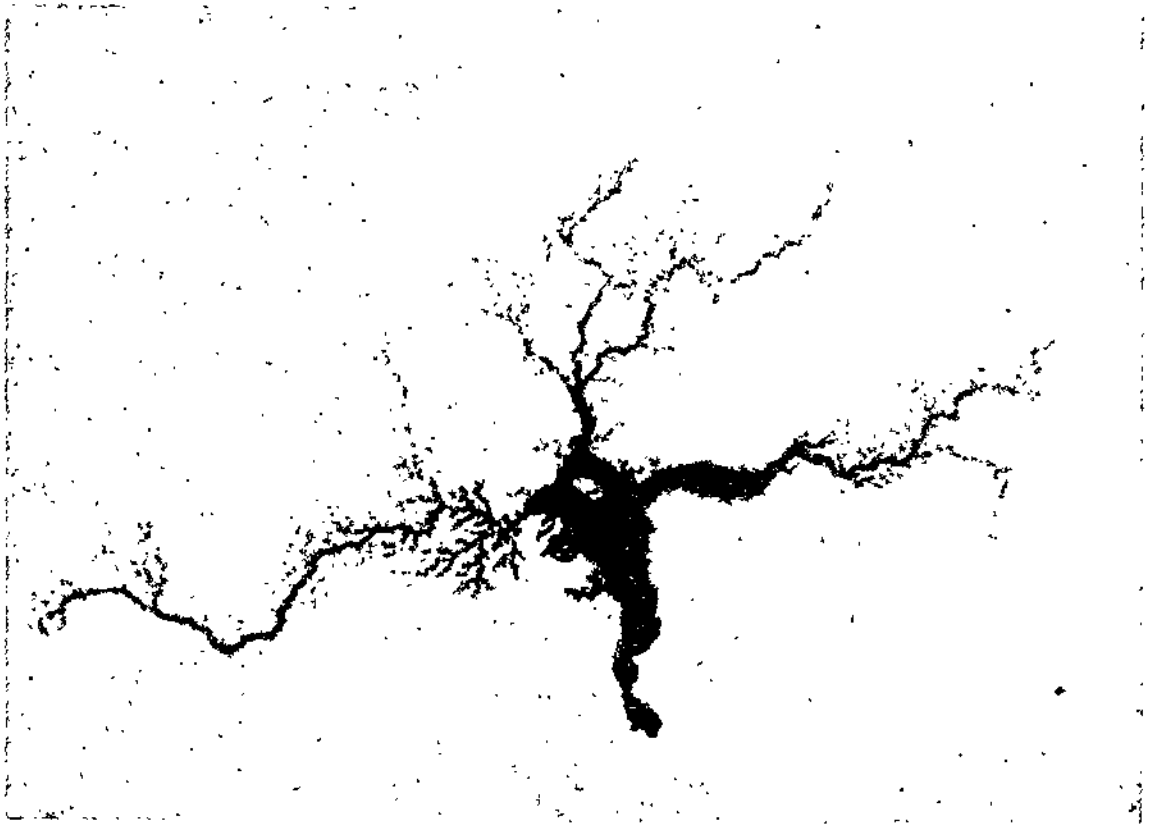
Harici tip bir izolatör yüzeyinde bu olay şöylece meydana gelmektedir. 1 Rutubetli şartlarda İzolatör yüzeyinde birikmiş kir tabakası iletken hale gelerek yüzey boyunca kaçak

(sızma) akımların akmasına sebep olur. Kaçak akımlar kir tabakasının bazı bölgelerini kurutarak «kuru band» adı verilen bölgeler meydana gelir. Kuru bandlar ekseriya izolatör yüzeyinde akım yoğunluğunun en fazla olduğu dar kalımlarda meydana gelir. Kuru bandlar boyunca gerilim düğümü havanın dielektrik dayanımını aşınca, izolatör yüzeyinde miliamper mertebesinde atam taşıyan deşarjlar meydana gelir. Porselen ve cam, genellikle yüksek sıcaklıklara mukavim olduklarından, bu tür deşarjlara dayanırlar. Sentetik izolasyon maddeleri ise bu tür deşarjlara fazlaca dayanamazlar. Deşarj uçlarının izolatör yüzeyi ile temas eden kısımları karbonize olur ve neticede izolatör yüzeyinde ağaç dallarına benzer iletken karbonize izler meydana gelir. Bir kasket-pln İzolatöründe karbonlaşmalar ekseriya kapak ve sap kısımlarının sızma yüzeyi boyunca genişlemesine tekabül eder. Şekil 1 deki fotoğraf sentetik yapılı izole bir yüzeydeki karbonlaşmayı göstermektedir.

Yukarda izah edilen mekanizma ile deşarjlar daha sonra karbonize yolların uçlarından tutuşarak izlerin büyümesini sağlar. Neticede, izolatör yüzeyinde metal elektrodlar (kapak-sap) arasında ağaç şeklinde sürekli karbonize izler meydana gelerek izolatör sızma yüzeyi kısa dev-

re edilmiş olur. Ortam şartlarına ve sentetik izolasyon maddesinin cinsine de bağlı olmak üzere bu ameliye bir kaç saat gibi çok kısa bir sürede veya bir kaç yıl çok uzun bir zamanda meydana gelebilir.

Epoksl reçine yapılı harici tip askı izolatörlerinin geniş ölçüde denenmesine ilk defa 1959 yılında Amerika da başlandı. Denenen izolatörler, cam fiber yapılı bir ana gövde üzerine uygun profilde dökülmüş epoksi reçine yapılı idi. Kısım 2. de izah edilen bi-finol reçine esas sentetik madde ve dolgu maddesi olarak normal kuvars tozu (SiO_2) yerine alüminyum-tri-hidrat ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri dolgu maddesi olarak *ALppiZKfi* nun irüüajın karbonlaşmayı biraz azalttığını göstermiştir. Deney izolatörleri Amerikada, taşlanma ve kirlenmenin en fazla olduğu bölgelerde servis şartları altında denemelere tabi tutulmuşlardır. Bu izolatörler basit şekillerine, porselen ve cam izolatörlere nazaran daha yüksek yüzeysel gerilim gradyanı altında tutulmalarına rağmen oldukça iyi performans göstermişlerdir. Bu denemelerde sentetik izolatörün porselen izolatörden her bakımdan daha iyi olduğu iddiası gibi yanlış bir gaye ile hareket edilmiştir. Bununla beraber, karbonlaşma prob-



Şekil 1. Sentetik yapılı İzole bir yüzeyde karbonlaşma olayı

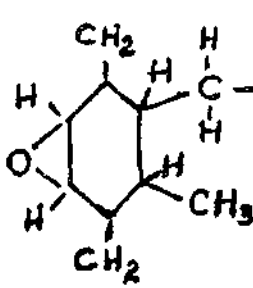
lemi yönünden tamamen aksi sonuç elde edilmiştir.

Sentetik izolatörler üzerinde Amerikada bağlantılan bu denemelerin sonucu yek teşvik edici olmamış, ve 1967 yılına kadar denemelere tabi tutulan sentetik izolatörlerin önemli bir yüzdesi karbonlaşma sebebiyle kullanılamaz hale gelmiştir. Bu sonuç, bir çok kimselerin sentetik izolasyon maddelerinin dış izolasyon tatbikatları için uygun olamayacağı gıtoı yanlış, bir kanaat edilmelerine sebep olmuştur.

Devam eden laboratuvar çalışmaları, reçine ve dolgu maddesinin moleküller yapılarında değişiklikler yapılarak karbonlaşma probleminin tamamen, önlenmesinin, mümkün olabileceğini göstermiştir. Bu araştırmalarda, benzen halkası ihtiva eden sentetik maddelerin (mesela bi-fenol epoksi reçine gibi) karbonlaşmaya meyyal oldukları görülmüştür. Bunun sebebi, benzen halkasının dengeli olmayışı, termik ayrışma esnasında halka yapısının yüzeyde değişmiyerek, volatik moleküler parçalarla birleşerek yüzeyde grafit yapıda karbonize bir kalıntı (artık) teşkil etmesidir. Diğer bazı jnoleküler yapılar ve bilhassa halojenize maddeler (PVC gibi) karbonlaşma gösteriler. Bu gibi maddelerde yan gurupların, kaybolması, grafit yapıya polimerize olan karbonize bir kalıntının meydana gelmesine sebep olmaktadır.

Araştırmalar sonucu, fırt olarak karbonlaşma göstermeyen bazı moleküler yapı/ tipleri bulundu ve bunlardan siklo-alifatik reçinenin moleküler yapısı şöyledir.

Moleküler yapıdan görüldüğü gibi siklik yapı hiç karbon bağı (C=C) ihtiva etmemektedir.



Yükardaki reçine uygun bir sertleştirici madde ile muamele edildiği takdirde hiç karbonlaşma göstermeyen sentetik bir İzolasyon maddesi elde edilebilir. Bu tür bir izolasyon maddesinin yüzeyinde deşarj sebebiyle | bir ayrışma olsa bile yüzey karbonlaşmayıp hafifçe pürüzlenir. Bu pürüzlerime, dolgu ve sertleştirici maddenin itina ile seçilmesiyle minimum bir dereceye indirilebilir.

önceleri geliştirilen siklo-alifatik reçine zayıf mekanik mukavemet gösterirken, son geliştirilen tiplerde, dahili izolasyonlarda kullanılan bi-fenol yapıları reçinelerin mekanik mukaveme-

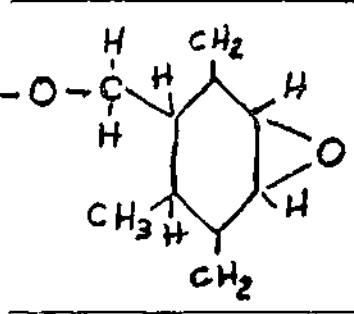
tine yaklaşan yüksek mukavemetler sağlanabilmiştir. Siklo-allfatik reçinelerin geliştirilmiş olma kimyacıya, istenen özellikli sentetik bir reçinenin kolayca imal edilmesini mümkün kılan bir fleksibilite sağlamıştır.

5. SENTETİK İZOLASYON MADDELERİ VE DIŞ İZOLASYONLARDA TATBİKATI:

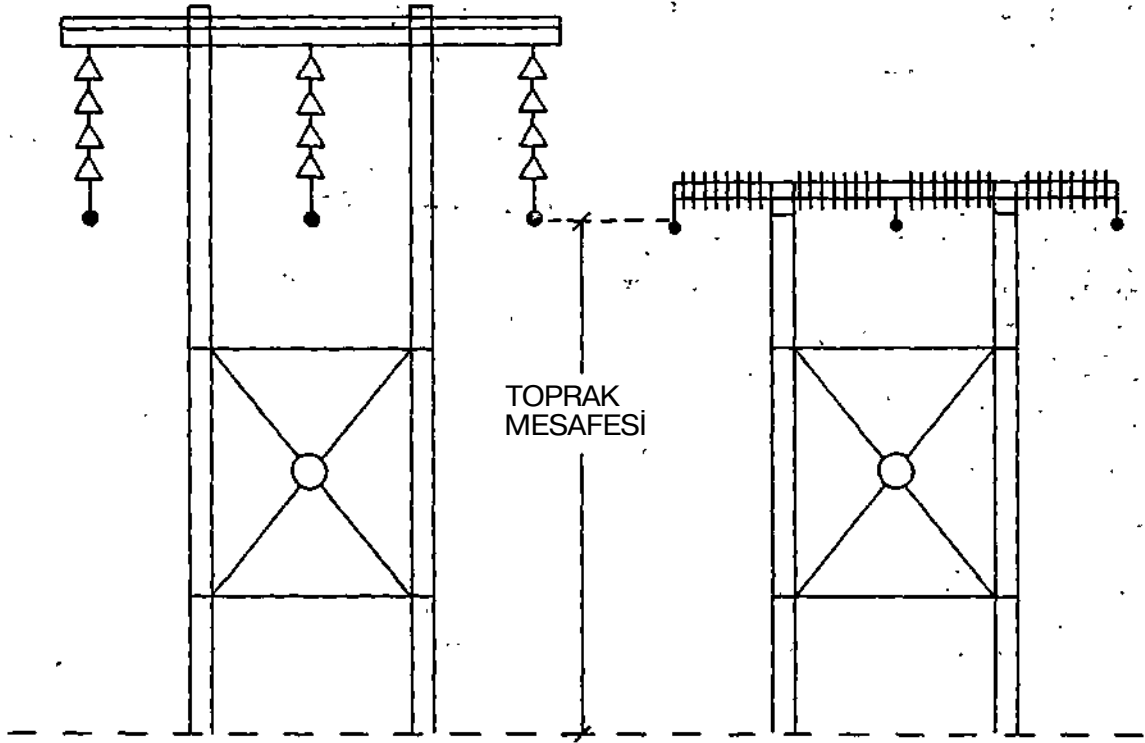
Dünyanın çeşitli yerlerindeki test istasyonlarında dış şartlar altında çeşitli denemelere tabi tutulan siklo-allfatik epoksi reçinenin uygun dizayn gartı altında dış İzolasyon tatbikatlarında emniyetle kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Son bir kaç yıldan beri sentetik izolasyon maddelerin kullanıldığı harici tip yüksel gerilim cihazlarının ticari maksatla imalatı artmaktadır. Sentetik izolasyon maddelerinin geniş çapta ve kolaylıkla kullanılabileceği bir sahada kuru tip akün ve gerilim transformatörleridir. Gerilim transformatörleri çok yüksek gerilimlerde oldukça pahalıya mal olmaktadır.

Batı Almanya'da imal edilen, dökme yekpare busingli, tamamen siklo-allfatik reçine ile izole edilmiş, 220 kV luk bir akım transformatörü satılmış bulunmaktadır. Amerikada son bir kaç yıl içinde sentetik yapıları onbinlerce 15 kV luk harici tip gergi izolatörü satılmış, sistemlere monte edilmiş ve gayet iyi performanslar elde edildiği bildirilmektedir. Sentetik izolasyonların kayda değer artmakta olan diğer tatbikat Bahaları olarak, tren elektrifikasyon tesisleri ile transformatör merkezlerinde bara izolatörleri olarak kullanılmalarını zikredebiliriz.



Sentetik izolatörlerin ana enerji nakil hatlarında kullanılmaları henüz araştırma safhasındadır. Bu konuda maksimum bir ekonomi sağlanması radikal dizayn mefhumuna bağlıdır. Şekla 2 de denemelerde başarılı sonuç veren btr dizayn tarzı görülmektedir. Bu dizayn 132 kV civarındaki gerilimler için en uygundur. Görüldüğü gibi, konsolların sentetik izolasyondan yapılması hem konstruksiyonu basitleştirmekte hem de boyca kısalmayı mümkün kılmaktadır. Benzer dizayn daha yüksek gerilimler için kullanılabilir.



(a)

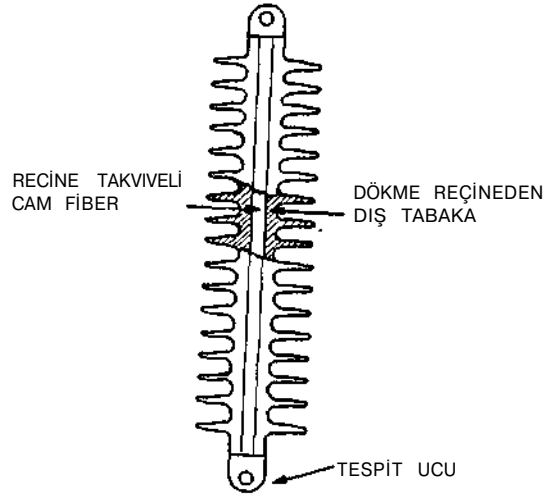
(b)

Şekil 2. Sentetik reçinenin direk dizaynında tatbikatı

- a) NormaJ demir direk dizaynı
b) Konsolları sentetik reçine yapıb direk dizaynı.

Bir çok elektrik müesseseleri mevcut porselen zincir tip izolatörlerin yerine kullanmak üzere sentetik reçine yapıb askı tip izolatörlerle ilgi göstermektedirler. Her ne kadar porselen izolatör zincirinin sentetik İzolatör zinciri ile değiştirilmesi ilk bakışta büyük bir ekonomi sağlamazsa da, mevcut enerji nakil sistemi üzerinde az bir montaj işi ile sentetik İzolatör zincirinin nasıl bir performans göstereceği denemiş olur. Bununla beraber sistem gerilimi 1 MV a erigirse, porselen izolatör zinciri kullanmanın arz edetegi bir sürü problemler (mekanik mukavemet, porselenin imalat zorluğu, v.s.) reçine yapıla İzolatörlerin tercihini kaçınılmaz kılacaktır.

Halen tatminkar bir askı tip sentetik izolatör dizaynı mevcut değildir. Tipik bir askı (çubuk) ip İzolatörün yapısı Şekil 3 de gösterilmiştir. Bu dizaynda ortada cam fiber yapıb bir ana 3Wde ite onun etrafında uygun profilde sentetik reçineden dökme bir kısım vardır. Sentetik İzolatör imalinde esas zorluk, orta kısımda kullanılan cam, fiber ile onu kuşatan sentetik reçinenin farklı gerilme uzanımları göstermelerinden ileri gelmektedir. Bu durum, izolatörün yük



Şekil 3. Tipik bir sentetik askı izolatörü

altında bulunması halinde reçine kısmının çatlamasına yol açmaktadır. İngiltere ve İsviçre'de halen bu problem üzerinde araştırma ve geliştirmeler devam etmektedir. Bu zorluğun gide-

ıldığını ve yakın bir gelecekte 33 kV ve daha yüksek gerilimler için harici askı tip sentetik reçine yapı izolatörlerin denemelere hazır olacağını söyleyebiliriz.

6. SONUÇ:

Epoksl reçine yapık izolatörlerin dış ortamlarda kullanılması belirli bir çok avantajlar arz etmektedir. Sentetik reçinelerin mekanik dizayn elastikiyeti, teorik optimum şartlara daha uygun, mesela kirlenme atlamalarına karşı daha elverişli performans sağlayacak, bir izolatör şekli imâlini mümkün kılabilir. Mekanik mukavemetin uygun bir tarzda koordinasyonu ile, enerji nakil sisteminin bir çok noktalarında dizaynda basitleştirmeler, boyutlarda azaltmalar yapmak dolayısıyla daha iyi performans ve ekonomi sağlamak mümkün olur.

Sentetik izolasyon maddelerinin yüzeylerinde deşarjlar altında ilk zamanlarda görülen karbonlaşma problemi, siklo-alifatik epoksi reçine gibi yeni tip sentetik maddelerin geliştirilmesi

ile artık giderilmiş, bulunmaktadır. Uygun bir dizayn sağlandığı takdirde siklo-alifatik- epoksi reçinenin Harici izolasyon tatbikatlarında kullanılması ile iyi performanslar elde etmek mümkündür. Halen sentetik izolasyon maddelerin tatbikatta kullanılması izafi olarak fazla olmakla, beraber kullanma oranı cesaret verici bir artış göstermektedir.

7 REFERANSLAR:

1. Rumeli, A.: «İzolatörlerde Kirlenme ve Atlama Problemi», Elektrik Mühendisliği Mecmuası, Cilt 13, Sayı 156, 1969.
2. Lee, H. ve Neville, K.: «Epoxy resins; their applications and technology», (Mc Graw HiU)
3. «Proceedings of the Symposium on the High - Voltage Applications of Epoxy Resins», CIBA (AJt.L) Ltd, Duxford, Cambridge, U. K.