

[poxy-Reçine (Epoxy-Resin) Maddesinin Yüksek Gerilim Altında Çalışan Ölçü Transformatörlerinde Kullanılışı

Derleyen :
Httsehin **ARABUL**
Elk. Yük. Müh.

ÖZET :

Ölçü transformatörlerinin konstruksiyonları nazarı dikkate alınarak epoxy reçinenin tarihçesi, mekanik, elektriki özellikleri, yurdumuzdaki tatbikatı anlatılmıştır. Verilmiş olan örnekler, modern dizayn metodları ve en son keşiflere göre hazırlanmıştır.

Tarihçesi :

Otuziki yü önce, sentetik reçineler hakkında ilR çalışmalarına Zürlch'de bir firma tarafından bağlanmıştır. Bu ilk çalışmaların amacı imalat hatalarını giderebilecek döküme müsait! bir malzemenin bulunmasıydı. Döküm içerisinde hava kabarcığı meydana gelmemesi için döküm esnasında kimyasal reaksiyon ile herhangi bir gazın çıkmaması gerekiyordu. Daha da önemlisi, dökümde sonradan olması muhtemel çatlamları önleyecek mekanik ve kimyasal gücün mevcut olması lâzımdı. Bugün çeşitli sahalarda kullanılan epoxy reçinelerin ilk ve sağlam temeli Pierre Castan (1) ve maiyetindeki kimyacılar tarafından atılmıştır.

Diphenylol propan ve epichlorohydrin bileşenlerini fitlik hidrat ile karıştırarak 110°C ve 150°C arasında sertleşen ve sonradan eritemeyen ilk reçineyi bulmuşlardır. Bu ameliye ancak 1938 yılında, dikkatleri sonradan üzerine «çeken, 21116 nolu işveç patenti ile az da olsa geliştirilmiştir. Bir kaç yıl sonra, epoxy reçinelerinin sıcaklık ayarlamaları üzerindeki çalışmalar Amerika'da Defoe ve Reynolds üe Shell, işviçre'de ise CIBA Basle tarafından yapılmıştır. 1945 yılındaki önemli gelişmelerin patenti CIBA Basle tarafından alınmıştır. (2,3)

1946 yılında Araldit A olarak bilinen Ethoxylated reçine ilk epoxy olarak piyasaya çıkmıştır. Fitahk hidrat, Araldit I'm XV ve 101 tiplerinin 100°C ile 200°C de sertleşen bu sentetik reçinesi, elektrik endüstrisinde büyük bir ilgi toplamıştır. Shell tarafından Amerikada imâl edilen epoxy'ler Epon ve Epikote reçineleri diye isimlendirilmişlerdir. Fakat bu çalışmalar daha ziyade kaplama verniği imalatının geliştirilmesine yöneltilmiştir.

Kendilerinden önce çeşitli sentetik reçineler ve plâstik malzemeler olmasına rağmen epoxy reçinenin başarı nedenini incelemek ilgi çekici

olacaktır. Bu konuda ilk ortaya çıkan Fenol formaldehit veya kâşifi Baekeland'a izafen Bakalit'dir. Elektrik tesisatı malzemeleri ve küçük parçaların imâli için Üre, Melamin reçineleri yaygın vaziyettedir. Yukarıda isimleri verilen malzemeler pratik olarak, erimiş cins reçineler idi, fakat döküm ameliyesi sonucu hacimde bir azalma vuku bulmaktaydı. Döküm esnasında su ve amonyağın çıkması ile hava kabarcıklarının teşekkül etmemesi için dökümün yüksek basınç altında yapılması gerekiyordu. Bu çeşit dökümü gerçekleştirmek mümkün olduğu için elektrik malzemelerinin çoğunluğu yukarıdaki malzemelerden imâl edilmiştir.

Termoplastikler sınıfına dahil, polietilen, polivinil klor, poliester ve bunun gibi sentetik malzemeler imâl edilmiştir, fakat bunlar döküm sonucu hacimce % 10 azalmaktadırlar. Dielektrik yönünden olumlu özelliklere sahip olmasına rağmen 100° C veya aşağısında akıcılık kazanıp sonradan tekrar sertleşmesi, yanıcı kabiliyete sahip olması yüzünden kullanışlı değildir. Bu sebeple sıcaklığın, atmosfer sıcaklığından fazla yükselmediği tel, kablo veya bunlar gibi malzemelerde kullanılır. Saf epoxy reçinenin de termik plâstik malzeme karakteristiklerine sahip olduğu unutulmamalıdır.

1949 yılında Imhof (4,5) kuru tip ölçü transformatörleri imalatındaki tatbikatı ile, ve yine Imhof (6) ve Koller (7,8) gerilim, akım trafoları, yıldırım çekicileri, mesnet izolatörleri ve diğer elektrik malzemelerinin imalatı ile epoxy'lerin gelişmesinde büyük rol oynamışlardır.

1950 yıllarına kadar epoxy reçinenin imalatı ve işlenmesi hakkında en ilginç yazı Schrade (9) tarafından yazılmıştır. Bir yü sonra Jahn (10) Araldit'lerin yapılan, özellikleri ve tatbikatı hakkında çeşitli yazılar yazmıştır. Aynı yıllarda, epoxyler üzerinde ihtisas sahibi Narrocot (11), Dearborn ve diğerleri (12) ihtiyacı hlssemi-

len yeni sentetik maddeler hakkında öğretici bilgiler vermişlerdir. 1957 yılında da Lee ve Neville (13) tarafından epoxy'ler hakkında ilgi çekici iki kitap yazılmıştır.

Bugün iyice gelmiş olan epoxy reçineler, genellikle yukarıda 'bahsedilen Castan'm patentine uymaktadır. Piyasada mevcut en önemli birkaç epoxy reçinenin katı ve sıvı olarak, viskozitesi, epoxy numarası Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

Aşağıda verilmiş olan Tablo: 3'de ise, ita-lik anhidrat ile işleme tabi tutulan bazı önemli epoxy reçinelerin (Araldit) özellikleri çegitli yayınlarından faydalanarak hazırlanmıştır.

Epoxy reçinenin en önemli Özelliklerinden bir diğeri de çeşitli katkı maddeleri Ue birleşerek, çalışma sahası geniş olan bileşikleri meydana getirmesidir. Katkı maddelerini kullanmak aynı zamanda en uygun ekonomik şartları yaratır. Tablo : 4'de bazı katkı maddeleri özellikleri Ue birlikte verilmiştir.

TABLO: 1
Yönlendirilmemiş bazı sıvı reçineler

Recine ismi	Eposy No :	Viskoste cP (25°Cde)	imalâtçı
Araldit F	185-200	9000 - 13000	CIBA
DER 831	186 - 192	11000 - 14000	Dow Chem. Co.
Dobeckot 501	?	7000 - 8000	Dr. Beck
Epikote 828	190 - 210	10000 - 15000	Shell
Epotuf 37/140	185 - 190	10000 - 15000	Reichhold
ERL 2774	182 - 186	11000 - 14000	Union Carbide
GfT 0164	182 - 186	13000 - 14000	Ges. für Teerver.
Grilonite G3	185 - 200	8000 - 15000	Emser Werke

TABLO: 2
Yönlendirilmemiş bazı katı reçineler

Reçine ismi	Epoxy No :	Yumuşama noktası °G	imalâtçı
Araldit B	370 - 440	50-60	CIBA
DER 661	475 - 575	70-80	DowChem. Co.
Dobeckot 501	360 - 420	?	Dr. Beck
Epikote 864	300 - 375	40-45	Shell
Epotuf 37/300	390 - 440	52-56	Reichhold
GfT 0180	380 - 400	50-53	Ges. für. Teerver.
Grilonite G1	370 - 415	50-60	Emser Werke
Lekuthermx-30	340 - 380	45	Bayer

TABLO: 3
Çok kullanılan Uç ayrı reçinenin karakteristikleri

Karakteristik ismi	Araldit B	Araldit I	Araldit CYT75
Eğilme mukavemeti, kg/mm ²	9-12	9-13	3-7
Çarpma mukavemeti kgcm/cm ²	13-20	7-13	4-5
Young Modülü. kg/mm ²	300 - 400	400 - 450	475
Gerilme mukavemeti, kg/mm ²	5,5 - 8,5	5-8	3-4
Marten sıcaklığı. °C	95	125 - 135	200
Dielektrik sabitesi. 20°Cde	3,7-3,9	3,5 - 3,55	3,7
100°C de	3,7 - 3,9	3,7 - 3,9	3,7
Dielek. kayıp farkı. 20° C de	0,4 - 0,7	0,3 - 0,5	0,5
100° C de	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7	0,4
150° C de	3,0 - 4,0	-	0,5
200°C de	-	-	0,5

TABLO: 4 Bazı katkı maddeleri ve karakteristikleri.

Katkı maddeleri	özgül ağırlık. gr/cm ³	Hacimsal ağırl. gr/100 cm ³	Boyut mm	Karışım %
Kuvars tozu	2,65	100 - 110	0,06	100-400
Kuvars taneciği	2,65	130 - 160	0,1-1	300 - 700
Mika tozu	2,6 - 3,2	45-55	0,1	25-100
Kaolin	2,6	25-45	0,1	25 - 200
Tebeşir tozu	2,7	100 - 120	0,1	50 - 300
Mermer tozu	2,5	45-70	0,6	25 - 150
Talk	2,7	50-60	0,5	25 - 200
Porselen tozu	2,4	100	0,06	100-400

Genel olarak bir karışımın bileşenleri, ağırlıkları dikkate alınarak aşağıdaki şekilde ayarlanabilir.

100 kısım Dobeckot 504 reçine
70 kısım işlem malzemesi 702
0,5 kısım hızlandırıcı 803 250
kısım dolgu maddesi

Epoxy reçinenin ölçü transformatörlerine uygulanışı :

Yüksek gerilim altında çalışan ölçü transformatörlerinin konstrüksiyonunda en büyük rolü, izolasyon maksadıyla kullanılan çeşitli maddeler oynar. Kullanılacak olan izolasyon maddelerinin gayesi minimum yer işgal ederek, çeşitli kısımlar veya toprak ile bu kısımlar arası mevcut elektrik kuvvetine mukavemet edebilmesidir. Güç transformatörlerinde olduğu gibi ölçü transformatörlerinde de, tatbikatta kolaylık sağlayacak, en uygun bir dizayn meydana getirebilmek için bir takım mekaniki, elektrik! özelliklere ve tedbirlere ihtiyaç hissedilmektedir.

Yukarıda anlatılan özelliklerin etki ve neticeleri dikkate alınarak aşağıda bazı tipik örnekler verilmiştir.

Son yularda, elektrik endüstrisinde gerek izolasyon maddeleri ve gerekse diğer çeşitli elektrik malzemelerinin imali için bir çok epoxy reçineler ve organik maddeler sık sık kullanılmaya başlan • mistir. Bunlar şimdiye kadar ölçü transformatörlerinde kullanılmakta olan porselen dökümlerden farklıdır. Yanma noktasının yüksek olması ve belirli toleranslara sahip olması yüzünden malzemenin imalatı fabrikasyon haline sokulmuştur.

Epoxy reçine, kalıplama ve döküm için ideal vasıflara sahiptir. Cihazı çevreleyen böyle bir döküm, aktif elemanlar ile diğerleri (toprak) arasında izolasyonu sağladığı gibi elemanları mekanik kuvvetler ile atmosferik etkilere karşı korumaktadır. Epoxy reçine magnetik dalgalar için bir engel olmadığından, hareketli elektrodlan Is-

tenildiği şekilde yerleştirme imkânı verir. Katalizör kullanılarak sıvı halden katı hale geçildiği için, test 'gerilimine dayanacak konstrüksiyon kalıbının hazırlanıp dökülmesi ve hattâ dökümün işlenmesi mümkündür.

Sıvı (macun) halindeki reçine, değişik oranlarda çeşitli organik, inorganik maddeler ve mineraller ile karıştırılabilir. Bu karışım genellikle sıvının daha yapışkan olmasını ve teknolojiye arzu edilen bir çok mekanik, termik, elektrik özelliklerinin yaratılmasını sağlar. Katkı maddesi ölçü transformatörleri imalatındaki reçineler ile birlikte kullanıldığından, bunlar hakkında ilâve bilgiler sırası geldikçe verilecektir.

Macun halindeki reçine ister seyreltilmiş), isterse seyreltilmemiş olsun münferit sargı katları arasına, deliklere, boşluklara ve malzemenin gözeneklerine kolaylıkla girebildiği için mükemmel bir izolasyon dolgusu meydana getirmektedir.

Döküm halindeki epoxy reçinenin mekanik V3 termik karakteristiklerini inceleyecek, katkı maddelerinin saf reçine üzerindeki etkileri kolaylıkla anlaşılacaktır.

Saf epoxy reçine üzerine mineral maddeleri ilâve edilmek suretiyle reçinenin termik iletkenliği saf macununkinden çok daha yüksek olan (6-8) 10⁻³ W/cm°C değerine yükselir. Bu sebeble ölçü transformatörleri konstrüksiyonunda kullanılan döküm reçinenin termik iletkenliği diğer organik izolasyon maddelerine nazaran hissedilir derecede büyüktür. Böylece, ısınma tehlikesi olmadan belirli miktar güç istihsal edilebilir.

Döküm reçinenin en önemli özelliklerinden bir.ı yüksek sıcaklıklara dayanımıdır. Dökümden sonraki karakteristikleri sabit kalmak şartıyla 100°C ve üzerindeki değerlerde hiçbir değişikliğe uğramaz. Saf epoxy reçine alev karşısında çıra gibi yanar. Halbuki katkılı bir reçine dökümü devamlı alev karşısında yanmaya başlar fakat alev uzaklaştırıldığı an yanma durur. Başka bir deyimle kendi kendine yanma mevzubahis değildir.

Katkı maddeleri mevcut hacim devamlılığını sağlar, (buradaki anlam büzülmeden meydana gelen hacim değişikliğidir). Saf reçine doğrudan doğruya döküldüğünde, sertleşme süresince hacminde bir değişme vuku bulur. Değişim, diğer maddelere nazaran az olmasına rağmen yine de bir miktar büzülme yaratır. Mevzubahis olan büzülme, dahili basıncı doğurduğu gibi iç kısımda belirli bir süre kendini belli etmiyen çatlaklıklar meydana getirir. Bunlara en iyi çare katkı maddesinin ilavesidir. Saf reçine dökümünde büzülme miktarı, katılaşma sırasında % 1,5, tamamen soğuduktan sonra % 3'e kadar yükselmektedir. Halbuki katılı dökümde bu oran maksimum % 0,6 ya çıkabilir. Aynı şekilde boyca genişleme katsayısı saf reçine için $(4-6)10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ olmasına rağmen katkı maddeleri kullanılıncaya (2-3) $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ değerine düşerek imalattaki emniyeti artırmaktadır. Reçine dökümünün katılaşmaya başladığı an ile tamamen sertleşme arasındaki büzülme miktarı iki halde sıcaklık ve bunlar arasındaki zaman ile değişmektedir.

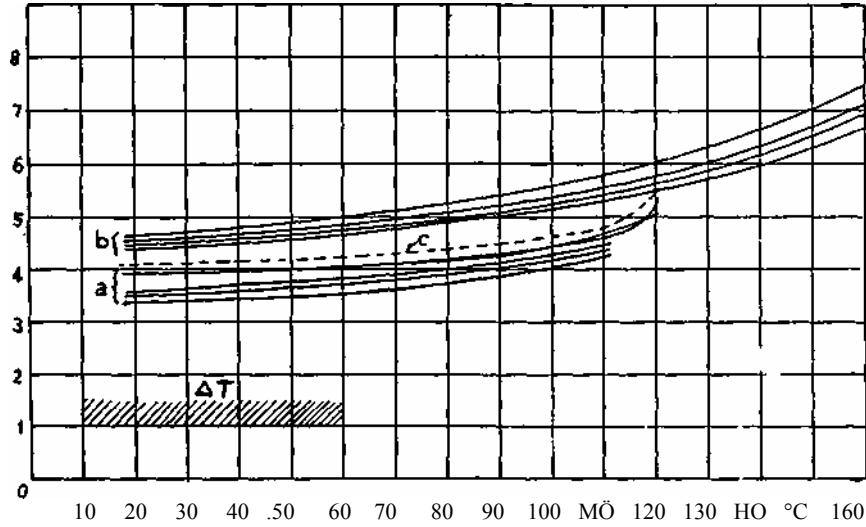
Döküm epoxy reçineleri, mekanik yönlerden incelenecek olursa, gerilme mukavemeti takriben 800 kg/cm^2 dir. Böyle bir değerle, küçük

parçalar rahatça yerlerine yerleştirilebilir, bağlantılar tam ve kafi olarak yapılabilir.

Dökülmüş epoxy reçinenin, iç bünyesinin homojen ve izotropik karakteristiğe sahip olması önemlidir, zira ayrı kademelerden meydana gelmediği için, yüksek izolasyon kabiliyeti ortama eşit olarak yayılmıştır.

Brown Boverl ve General Electric gibi teşekküller, yüksek gerilim altında çalışan ölçü transformatörleri için çeşitli şartlar dikkate alarak değişik malzemeler üzerinde tecrübeler yapmışlardır ve aşağıda anlatılacak, istenilene en yakın neticelere ulaşmışlardır.

Değişik karışımlardan meydana gelmiş epoxy reçinelerin izafi dielektrik sabitelerinin sıcaklık ile değişimleri şekil 1'de gösterilmiştir. Test edilmiş serinin ilk (a) kısmı alçak sıcaklıkta katılaşmaya bırakılmış epoxy reçine çeşitleridir, ikinci (b) kısımda ise, işletme yönünden önemli faydalar temin eden hızlandırıcı bileşikler kullanılmıştır. Üçüncü 'karışım (c) ise en mükemmel elektrik karakteristiklerine sahip dökümdür. Bu konuda yapılan çalışmalar, pratikde en çok kullanılan sıcaklığa göre ayarlanmıştır. Pratikde en çok kullanılan sıcaklık bölgesi şekil 1 üzerin-



Şekil : 1 — Epoxy reçinede feofli dielektrik sabitesinin sıcaklık ile değişimi.

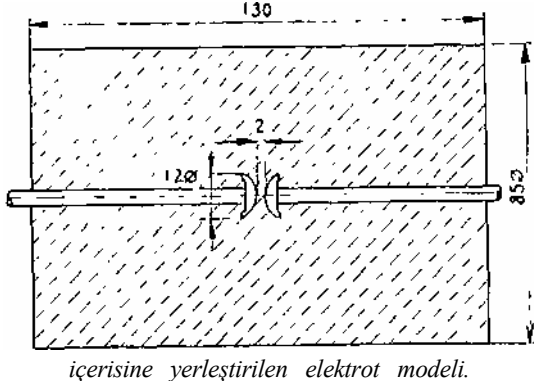
parçaların ve münferit iletkenleri reçine içerisinde sabitletirmek mümkündür. Bu özellikten faydalanarak transformatörlerin dahili bağlantıları kolayca tesbit edilebildiği gibi kısa devrelere karşı koyabilecek direngen kuvvet de artmış olur.

Şayet döküm iyi ve arzu edilen şartlara uygun olursa, parçaların hassas ve değiştirilebilir şekilde imâl edilmesi mümkündür. Yukarıda anlatıldığı gibi hacimce 'büzülme çok az olduğu için,

de AT ile isimlendirilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan testlerden, epoxy reçinenin, diğer izolasyon maddelerinden daha yoğun dielektrik ortamına sahip olduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda anlatılmış olan yüksek dielektrik yoğunluğu, gerçek değerinin tam olarak bulunması çok güç olan elektrik kuvvetine karşılıktır. Atlama gerilimi değerlerinin tesbiti için, epoxy reçine içerisine şekil 2'de gösterildiği gibi küresel elektrodlar yerleştirilmiş ve tablo V'deki değerler elde edilmiştir.

Şekil Z — Atlama gerilimi testi için reçine



içerisine yerleştirilen elektrot modeli.

dielektrik test neticelerinin oda sıcaklığındaki neticelere çok yakın olması önemli bir özelliktir. Döküm epoxy reçinede boyutların büyümesi veya küçülmesi elektrik dayanım kuvveti ile doğru orantılı değildir. Fakat bu tip ölçü transformatörlerinin dizaynında, magnetik alan kuvvetinin isteğe uygun olması için konstruksiyonu çok küçültmemelidir.

Hem yağlı tip nemde reçineli ölçü transformatörleri üzerinde yapılan mukayeseli muayenelerden elde edilen sonuçlara göre, ikinci tip izolasyonun daha yüksek değerlere çıktığı ve şok gerilim testlerinde emniyet sınırının hissedilir derece geniş, olduğu hatta faktörün 1'den büyük çıktığı tesbit edilmiştir.

Kullanılacak epoxy'nin kalitesi hakkında en sıhhatli bilgiyi dielektrik kayıp faktörü

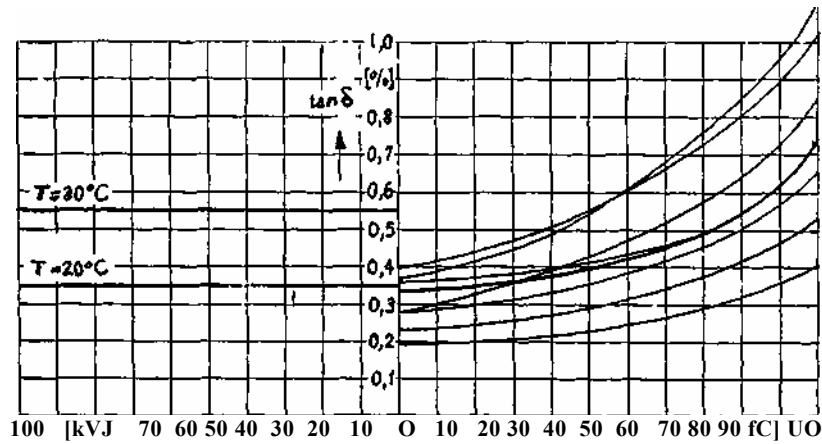
TABLO : 5 Döküm reçine numunesinin 2-3 mm mesafedeki atlama değerleri.

Test serileri	Gerilim değerleri				Şok gerilimi faktörü	
	50 p/sn kV/mm		1/50 gök kV/mm		20°C	100°C
	20°C	100°C	20°C	100°C		
I	66	—	168	—	1,8	—
n	61	55	121	112	1,41	1,43

Yukarıda verilen değerler, değişik zamanlarda birbirine bağlı olmayarak yapılan test senleri sonunda çıkmıştır. Değerlerden anlaşıldığı gibi elektrik dayanımı yönünden epoxy reçine mükemmeldir.

Şok gerilimi muayeneleri neticesi de yüksektir, fakat her model için ayrı değerler bulunmuştur. Buna sebep olarak, modellerin değişik dizaynlara sahip olması gösterilebilir. 100° C deki

g) vermektedir Şekil 3'ün sol tarafında görüldüğü gibi kayıp faktörü yüksek gerilim, değerlerine kadar sabit kalmaktadır. Böyle bir değişim malzemenin homogenliğinden meydana gelmiştir ve durum yüksek sıcaklıklar içinde aynıdır. Aynı şeklin sağ tarafında, kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir, ince çizgiler yayılma sahasını gösteren kayıp açılarının çizgileridir.



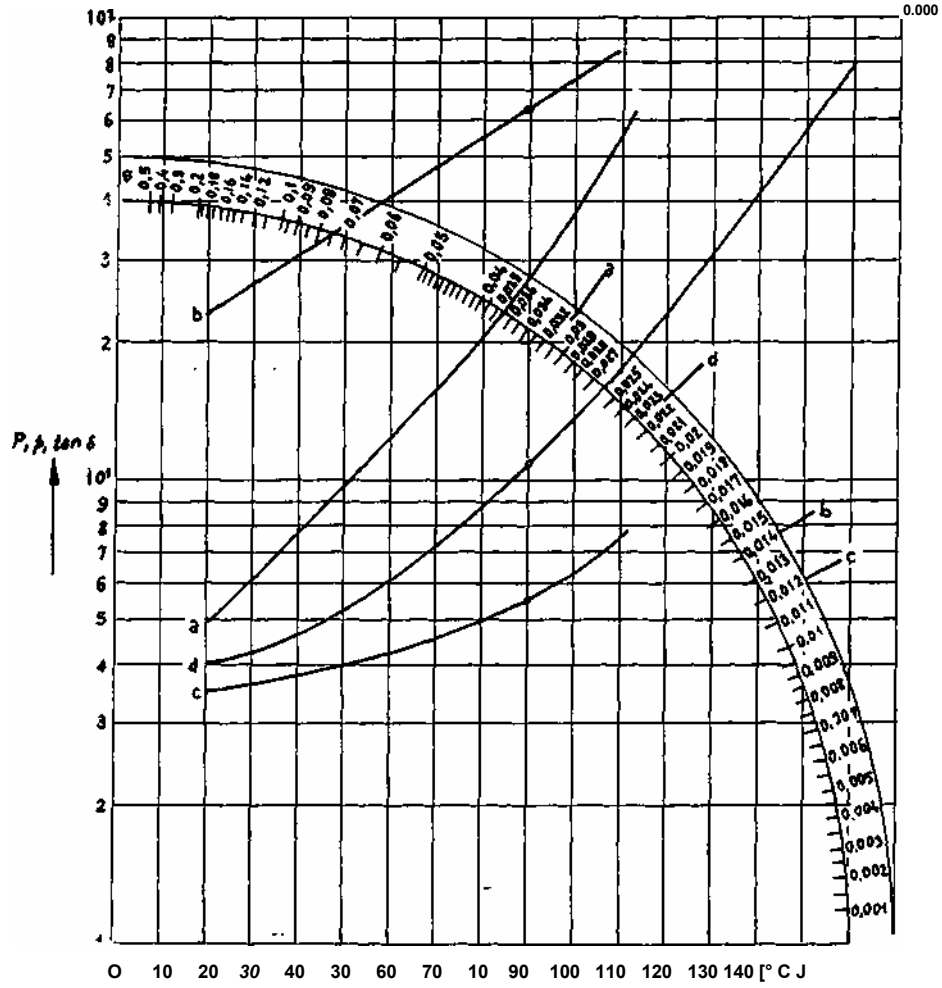
Şekil 3 — Reçine dökümünün dielektrik kayıp faktörü

Dielektrik hakkında daha geniş bilgi sahibi olmak için, dielektrik kayıpları ile sıcaklık arasındaki yakın ilgiyi araştırmak gerekir. Şayet kayıplar şekil 4'deki gibi basit logaritmik skalya çizilecek olursa değişimin doğrusal olduğu görülür. Böylece, kayıplar yaklaşık olarak eksponansiyel fonksiyon ile ($\tan \delta \sim e^{-aT}$) gösterilebilir. Buradaki a değeri, kayıp faktörünün eğimine sahip, orijinden geçen doğru ile $\tan \delta$ eğrisinin kesişmesinden çıkan neticedir. Şayet yukarıda bahsedilen doğrusal değişim bir eğri şeklinde tezahür ediyorsa, çalışma; sıcaklığına göre belirli bir değeri vererek teğet veya kirig çizmek mümkündür.

$$U_k = 2510$$

Epocoy'nin termik iletkenliği $\lambda = 1.103 \cdot \text{yy/cm}^2 \cdot \text{C}$ ve dielektrik sabitesi $\epsilon = 4,2$ alınacak olursa, dökümün kritik gerilim değeri aşağıdaki gibi olur.

Kritik gerilimi sıcaklığın fonksiyonu olarak bulmak mümkündür. Şöyleki, $\tan \delta$ ve g değerleri şekil 4'den daha önce anlatıldığı gibi tesbit

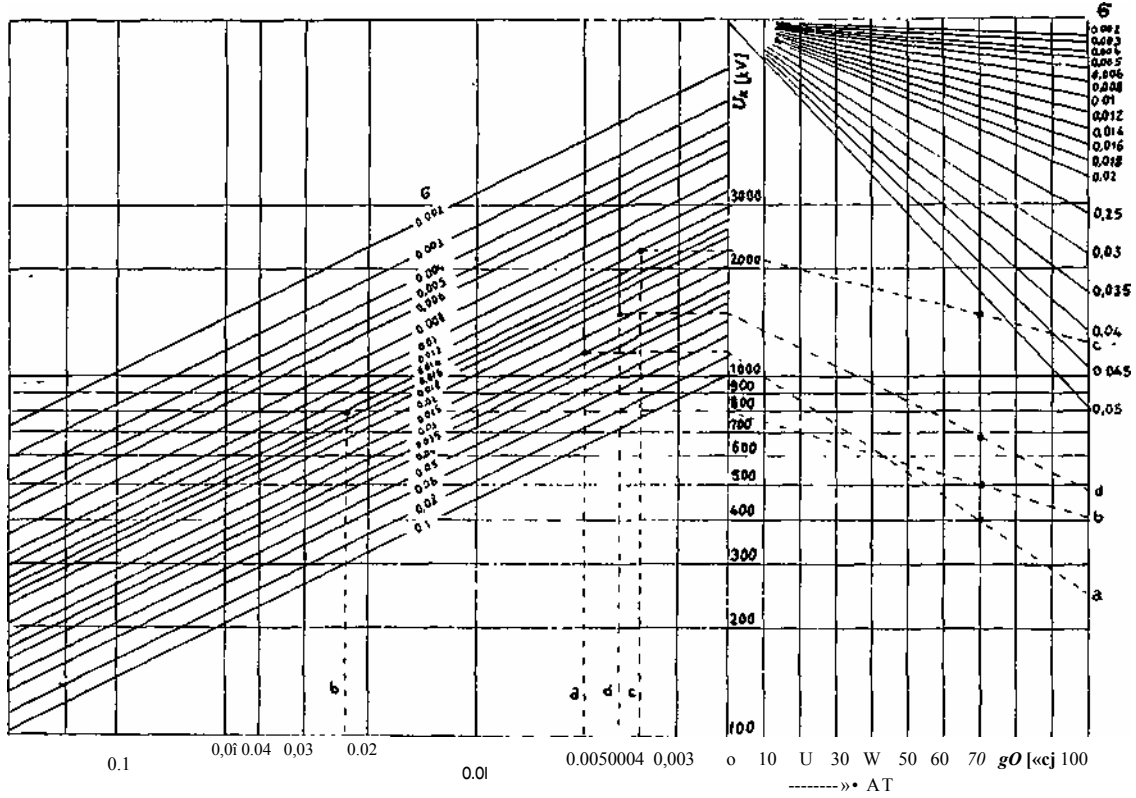


4 — Dielektrik Kayıplar P , birim kayıplar q , veya kayıp faktörü $\tan \delta$ ile sıcaklık değişimlerinden sıcaklık faktörünü hesaplama metodu.

5 (γ) nin mutlak değeri, dielektrik kayıplarının sıcaklık ile değişimini gösteren bir ölçüdür. Buradan izolasyon maddesinin kritik gerilim karakteristikleri ortaya çıkar, iki taraflı olarak soğutulmuş bir plâka için termik kritik gerilim aşağıdaki formül ile ifade edilir.

edilir. Bulunan değerler şekil 5'in sol tarafına yerleştirilir ve sağ tarafından da aranılan değişim elde edilir.

Şekil 4 ve 5'de dört ayrı cins reçinenin dielektrik değişimleri örnek olarak gösterilmiştir. Bu örnekler daha öncede şekil 1'de gösterildiği gibi



Şekil 5 — Sıcaklık artımına karşılık kritik gerilim U_c nin tesbit edilmesi

sırasıyla, düşük sıcaklıkta işleme tabi tutulan (a), hızlandırıcı katalizör kullanılarak işleme tabi tutulan (b) ve elektriksel karakteristikleri yönünden en iyisi olan (c) karışımlarıdır. Şekil 5'ten elde edilen sıcaklık katsayıları ile, oda sıcaklığından başlayıp AT aralıklarına göre kritik gerilim değişimi çizilmiştir. Elde edilmiş kritik gerilim değerleri, tek taraflı dielektrik sıcaklığı kaybı ve içeriden dışa mevcut sıcaklık akımına

Dielektrik kalitesinin tesbitinde, izolasyon korona testleri de yapılmıştır. Fakat reçinenin dökümü, daha önce bahsedildiği gibi iç bünyesi bakımından yüksek elektrik kuvvetine sahip homojen malzeme olduğu için, kuvvet çizgilerinde ve reçine içerisine yerleştirilmiş elektrotlar arasında korona çok nadir vuku bulur. Reçine transformatörün aktif parçaları ile birleşerek döküm içerisinde homojen olmayan bir ortam meydana

TABLO 6 :
Çeşitli epoxy reçinelerin dielektrik değerleri.

Reçine çeşitleri	Elektrik kayıp faktörü $\tan \delta$ %		Sıcaklık katsayısı 90°C	Kritik gerilim (kV)	
	20°C	90°C		20°C	90°C
a	0,5	2,8	0,031	1175	400
b	2,3	6,3	0,014	800	500
c	0,35	0,55	0,012	2250	1500
d	0,40	1,10	0,022	1500	670

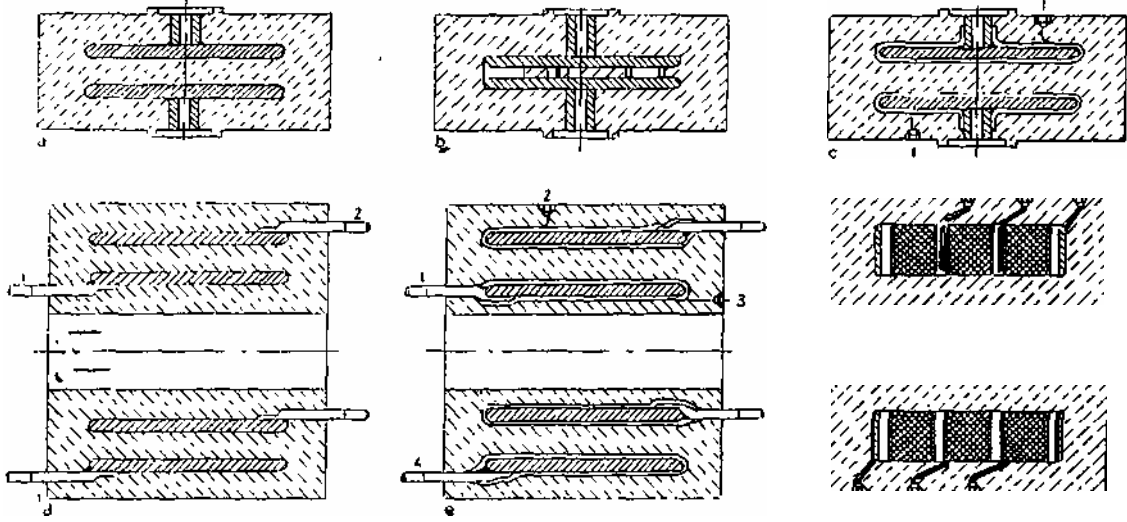
rağmen normal servis gerilimlerinden önemsenmeyecek derece fazladır. Dielektrik değerleri pratik olarak yaşlanmaya bağlı değildir. Bahsedilen dört önemli epoxy reçine karışımının özellikleri Tablo VI'da özetlenmiştir.

getirir. Bu ortam dahi arzu edilenin üzerinde bir elektrik sahasına sahiptir. Bu durum, reçineye doğrudan doğruya etkili olmamasına rağmen, karakteristikleri genel olarak aşağıda izan edilecektir.

Homojen olmayan ortam, bir transformatörün yapısında her zaman mevcut olduğu için üzerinde çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat Brown Boveri'nin bu konuda elde ettiği neticeler çok önemlidir.

Değişik neticeler elde edilmesi esas ve ilk olarak üzerinde çalışan maddelere ve konstrüksiyon şekillerine bağlıdır. Üzerinde hiçbir şekilde arızası bulunmayan basit ve fakat geometrik kalıplar sargı yapışma uygun olarak Şekil 6'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır.

rüldüğü gibi elde edilmiştir. Gürültünün bir ifadesi olan ayar darbesi (i), şekilde görüldüğü gibi boşalma darbesini de (e) ihtiva etmektedir. Elipsin üst ve alt kısımları yaklaşık olarak pozitif ve negatif yarım dalgalara karşılıktır. Topraklanmış olan elektroda yakın bir hava kabarcığı mevcut ise, boşalma şekil Ta'da gösterildiği gibidir. Şekil Tb'deki durum ise topraklanmamış normal bir elektroda karşılıktır. Yukarıda simetrik olmayan iki şekilde aykırı olarak, ortasında hava kabarcığı veya boşluk bul-



Şekil : 6 — Korona etkilerini tesbit için kullanılan basit test numuneleri a
• Tamamen döküm reçine dielektrik ortamına sahip kalıbın hazırlanması b
Kaşık dokunu reçine dielektrik ortamına sahip kalıbın hazırlanması, c: Dolgulu kalıbın hazırlanması.
d: Tamamen döküm reçine dielektrik ortamına sahip silindir kalıpların hazırlanması,
e Dolgulu silindir kalıplarının hazırlanması !. Sargı kalıbının hazırlanması.
a = Sargı başlangıcı
ö = Sanm çıkışı

Transformatörler üzerinde tam ve kat'i netice elde edebilmek için test serileri her defasında daha da tekâmül etmiş numunelere tatbik edilmiştir. Korona izolasyon testleri eiraşında elektrik gürültüsünü tesbit edebilmek için çeşitli devreler kullanıldı ve kullanılmaktadır. Gürültü gerilimi ya geniş bantlı cihaz ile veya bu işe uygun bir cihaz ile 1 -1,9 Mc/sn olarak elde edilmiştir. Bu şartlar altında sadece bir tek dar frekans- bandı- yükseltilebilip hesaplanmaktadır. Gürültü değerinin tesbiti, genellikle osiloskopa bağlı direkt değeri veren cihaz ile yapılmaktadır. Bahsedilen bu değerler darbelerin boyutlarına, koronanın başladığı değerlere bağlıdır. Osilografik gösteri başladığı an tecrübeli testçi boşalma (deşarj) eğrisinin muhteviyatını kolaylıkla izah edebilir. Bu maksatla kullanılan AC2 tipi alternatif akım Hivoltdeşarj dedektörünün test neticeleri aşağıda örnek olarak verilmiştir. Tatbik edilen gerilime karşılık, ekop ekranı üzerinde, Lissajou eğrileri şekil Ta'e. gö-

nan bir numune şekil Tc'deki simetrik neticeyi vermiştir.



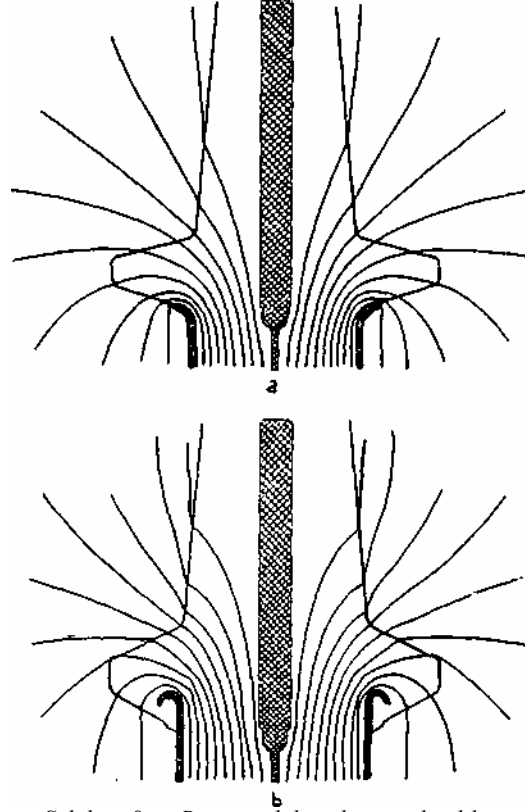
Şekil. 7 — Hivolt cihazı ile döküm reçine içerisindeki hava kabarcığıdeşarjının incelenmesi

Herşeye rağmen, reçine dokumlu transformatörler üzerinde yapılan klâbik testleri değerlendirmek çok güçtür. Bir numune üzerinde, darbe ile husule gelecek ani iyonizasyon değişimi, tecrübenin yapıldığı kısımda herhangi bir değişiklik meydana getirmeyecektir. Bunlar daha ziyade birbirimin tamamlayıcısı olan iletkenler, sargılar, nüve, alt taban vs. gibi magnetik ve elektrik! kısımlardan mfiiteessir olurlar. Numunenin cinsi ve ölçülerinin yanında, testi yapan cihazın kalitesi de neticeler üzerinde etkilidir.

Yukarıdan anlaşılıyor ki bir numune üzerindeki korona basit veya geniş kaidelerle özetlenemez. Numunenin kalitesi, tecrübenin yapılabileceği mukayese ile değer kazanır. Bahsedilen tecrübenin kazanılması için, kısa süreli araştırmalardan ayrı olarak uzun yıllar devam eden değişik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla hazırlanan özel deney odalarında, epoxy reçineden imâl edilmiş ölçü transformatörleri dayamlılık testleri suresince müşahade edilmişlerdir. Etkenleri harekete geçirmek ve dolayısıyla deney süresini kısaltmak için, gerilim nominal değerinin çok üzerine çıkarılmış, frekans ise oldukça yükseltilmiştir. Bazı transformatörlerin on yıl kadar süren testleri, nominal değerinin 1,8 ve 2,7 katı kadar deney gerilimi ve 1800 c/s ye kadar yükselen frekans ile yapılmıştır. Mühim hataları önceden tesblt edilen numuneler hesaba katılmaz ise, ne elektrik değerlerinde ne de iyonizasyon değerlerinde herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Bu durum iyonizasyonun başlama değerinin çok üzerinde de aynıdır. Dayanım deneylerinden ve kullanılmakta olan transformatörlerden elde edilen tecrübeler epoxy'nın dayanıklı ve emniyetli olduğunu ispatlamıştır.

Epoxy reçineden imâl edilmiş ölçü transformatörlerinde en önemli faktör, şekil 8'de gösterildiği gibi magnetik sahayı kontrol edebilme kabiliyetidir. Şekil 8'de gösterilen bushingler epoxy reçineden imâl edilmiştir. Şekil Sa'daki bushing'in alt kısmında koyu çizgi ile gösterilen bölge iletken bir sırdır. Bahsedilen sır yüksek gerilim altındaki iletkene uzak olmasına rağmen, magnetik sahanın en yoğun kısmını meydana getirir. Bu durum, atlama gerilimi üzerinde aldatıcı bir etkide bulunur. Atlama gerilim değerini yükseltmek için yekpare (giriş ve çıkışı aynı olan) kanallar kullanılabilir. Konstrüksiyonda istenilen bu durum, seramikden imâl edilecek bushingler üzerinde kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Halbuki reçine üzerinde şartlar tamamen farklıdır. Reçinelerden meydana gelmiş transformatörlerde teknik, elektrodların sadece reçine içerisine yerleştirmeye müsade etmektedir. Böyle bir konstrüksiyonun neticesi şekil Sb'de açık olarak görülmektedir. Şekil iyice incelendiğinde, arzu edilen maksimum magnetik saha kuvvetinin döküm reçinenin iç kısmında mey-

dana geldiği görülür. Magnetik kontrol sahası, koronanın başlama anında, gerilimi atlama ve hatta delinme değerlerine kadar yükseltmektedir. Atlama gerilimine yükselmesi sırasında ani deşarjın vuku bulmamış olması, malzeme kalitesinde önemli bir inkişafı ispatlamaktadır.



Şekil 8 — Reçine dökümden imal edilmiş bushing'de magnetik iafıt Kontrolü

Bu yeni ve ilgi çekici karakteristiğe sahip malzemeden önemli derece faydalar temin edilmiştir. Basit ve düz görünüşüne rağmen epoxy reçineden imâl edilmiş transformatörlerin atlama gerilim direnci çok yüksektir.

Epoxy reçinenin elektrik karakteristiğini etkileyen diğer önemli bir faktör, öz izolasyon direncidir. Reçinenin hacimce öz direnci $10^9 Q$ cm kademesinde olurken yüzeysel öz direnci 10^{10} ve 10^{13} fi cm/cm arasında değişmektedir. Bu değerler en uygun izolasyon maddeleri için dahi çok yüksektir. Kendisini çevreleyen hava, kısmi veya ani deşarj ile çok düşük akım husule getirdiğinden, epoxy yüksek izolasyon kapasitesine sahiptir. Yüksek gerilim sonucu meydana gelecek elektrik şarjı çok büyük izolasyon direnci sayesinde cisim üzerinde herhangi bir hasar meydana getirememektedir.

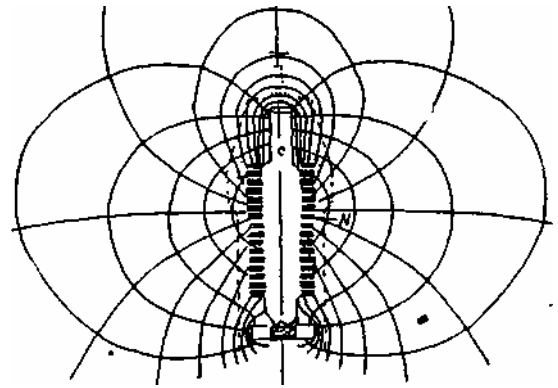
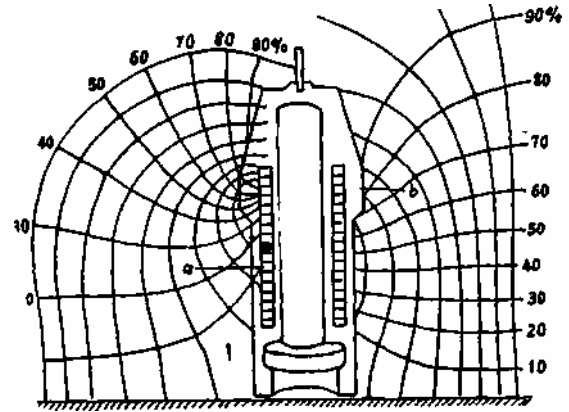
Buraya kadar karakteristıklarında bahsedilen epoxy reçinenin tatbikatı, modern dizayn metodları ve üzerinde yapılması gereken testler, 72,5 kV. luk maksimum işletme gerilimine sahip bir

gerilim transformatörü üzerinde anlatılacaktır. Şekil 9'da gösterilen transformatörün primer sargısı (a) üzerinde gerilim, yukarıdan aşağı doğru azalmaktadır. Bu sargı reçine içerisine eşit aralıklarla (homojen) yerleştirilmiştir. Meydana gelen elektrik sahası şekil 9'da yarımşar olarak iki kısımda gösterilmiştir. Sağ taraftakiler, normal frekans anındaki değişimi; sol taraftakiler ise, 1/50 şok geriliminin tatbik edildiği andaki değişimi göstermektedir. Magnetik saha yoğunluğu, cisim çevreleyen hava içerisinde zayıftır. Fakat magnetik saha kontrolü üst kısımdaki (b) elektrodu ile de yapılabilmektedir. Kısaca, (b) elektrodu magnetik saha yoğunluğunun bir miktar artmasını sağlar. Transformatörün baş kısmından yayılmaya başlayan dalgalar, hafif baskı altında kalan bir bölge meydana getirir. Böylece, delinme gerilimine karşılık olan direnç oldukça büyümüş olur.

Epoxy reçine ile imâl edilecek transformatörlerde elemanların isteğe uygun olarak yerleştirilmesi değişik şekillerde tezahür edebilir. Magnetik dalgaların yoğun olduğu bölgelerde reçine miktarı artırılır ve böylece uygun magnetik dalga kuvveti elde edilir. Şekil 9'daki birinci ve ikinci kısımlar mukayese edildiği takdirde, sol taraftan anlaşılıyor ki, şok ile husule gelen magnetik sahadaki gerilim aniden azalmaktadır. 50 c/s frekansta, primer sargı bütün yüzey boyunca homojen bir gerilim dağılımı meydana getirmektedir.

Şekil 9'un alt kısmındaki görüntü, transformatörün üzerine betatron gönderilmek suretiyle tesbit edilen metal kısımlardır. Aynı resim üzerinde primer sargının husule getirdiği magnetik saha değişimi de ilâve edilmiştir. Sargıların bulunduğu kısımdaki magnetik saha demir çekirdek (c) tarafından yoğunlaştırılmıştır. Fakat yüksek gerilim ucunun bulunduğu üst kısımda magnetik saha, çubuk görünüşte olan demir çekirdekten dışarı doğru yayılmaktadır. Transformatörün alt uç kısmının dizaynında, magnetik dalgaların kolayca girebilmesi için özel tedbirler alınmıştır. N noktası, magnetik kuvvet çizgilerine göre takriben sargının ortasında olduğu için Fuko akımı özelliklerini görmek mümkündür. Yukarıdaki incelemelerden anlaşılıyor ki, kullanılan malzeme tamamen homojen ve hava kabarcıklarından muaftır.

Epoxy reçinenin özelliklerinden varılan sonuçta göre, ölçü transformatörleri konstrüksiyonu için ideal bir malzemedir. Reçinenin keşfi ve kimya endüstrisi sayesinde çeşitlerinin istihsalı, dizayn yapan elektrik mühendisleri için büyük faydalar yaratmıştır. Bu sayede sıvı ve pasta şeklinde malzeme kullanılmadan kuru tip transformatör imâli gerçekleştirilmiştir.



Şekil : 9 — Reçineden imal edilmiş toz ~ toprak bağlantılı gerilim transformatörü.

Netice olarak, çeşitli epoxy'ler sayesinde ideal ölçü transformatörüne çok yaklaşılmış ve testlerden anlaşıldığı gibi güvenilebilecek neticeler elde edilmiştir.

Bu konu ile ilgili faaliyetlerimiz :

Dergimizin 118. sayısındaki Hgüç, akım ve gerilim transformatörleri imalâtımız) başlıklı yazımızda belirtildiği gibi ölçü transformatörleri üzerinde, yurdumuzda, ilk ve esaslı çalışmalar 1963 yılında E.E.İ.M camiasında başlamıştır. 6,3 kV'dan 154 kV'a kadar her tip yağlı akım ve gerilim transformatörleri imalâtı tamamlandıktan sonra, maliyeti ve işçiliği azaltmak, emniyeti çoğaltmak için epoxy reçine üzerinde çalışmalara başlanılmıştır. Böylece yurdumuzda, henüz başlangıç safhasında sayılabilecek çalışmalar yapılmaktadır. Elde mevcut reçine ile, yüksek gerilim altında çalışan yağlı tip transformatörlerin primer, sekonder terminallerinin imâli, bushingın kazana, başlığın bushinge tesbit, çapaklı parçaların izolasyonu, boşlukların doldurulması mümkün olmuştur. Mekanik güçlükler halledildiği takdirde kısa zamanda reçine dokumlu transformatör imâli gerçekleştirilecektir.

Netice :

Yukarıda izahına çalıştığımız epoxy reçels hakkında, çeşitli ülkelerin ısrarlı çalışması malzemenin öneminden dolayıdır. Bu mevzu bizler için yenidir ve gerçekten üzerinde çalışılması gerekmektedir Fakat bu tip çalışmaların, şahısların ilkel çalışmalarından ziyade bu konu ile ilgilenebilecek teşekküllerin plânlı, programlı ve teşkilâtlı olarak gayret göstermesi lâzımdır Varılabilecek iyi bir sonuç ile, ölçü transformatorleri imalâtı bakımından, diğer ülkeler ile aramızda büyük sayılamıyacak olan fark kapatılacak ve hatta birçoklarını geride bırakabilme imkânına sahip olunabilecektir.

Faydalanılan eserler :

1. A.M. PAQUIN : Epoxydverbmdungen und Epoxydharze. Springer - Verlag 1958.
2. DE TREY : Schweizer Patente 211116 (23.8.38).
3. DE TREY : Schweizer Patente 236594 (16.6.43).
4. CIBA : Schweizer Patent 251647 (13.7.45).
5. CIBA : Schweizer Patent 257115 (8.8.46) u anı.

6. E. PREISWERK : Athoxylinharze in der Elektrotechnik, ETZ-B 1953, No. 1 p. 5.
7. LEE and NEVTLE : New Development m epoxy resins Insulation. Dec. 1960 - May 1981.
8. J. SCHRADE • Kunstharze mit Epichlorhydrin. Kunststoffe 43 (1953), p. 266.
9. W. PISCH and W. HOFMANN : Über den Hartungsmechanismus der Athoxylinharze J. Polmer. Science 12 (1954), p. 497.
10. E. S. NARROCOT r The curing of opoxide resins. British Plastics 26 (1953) p. 120.
11. F. J. ALLEN and W. M. HUNTER : Some Characteristics of Epoxyde Resin Systems. J. appl. Chem. 77 (1957), p. 86.
12. L. SCHECHTER and J. WYNSTRA : Glycidyl Ether Reactions. Ind. & Eng. Chem. 48 (1956), p. 97, and 49 (1957), S. 1107.
13. W. FISCH and W. HOFMANN : Chemischer Aufbau von gehärteten Epoxyharzen. Markromol. Chem. XLIV - XLVI (1961), p. 8.
14. W. FISCH and W. HOFMANN : Chemical Structures and changes in properties during the Curing of Epoxy Resins. Plastecs Techn. 1961), p. 28.

ODAMIZIN YAYINLARI

Odamız tarafından muhtelif tarihlerde bastırılan ve bedeli mukabili veya ödemeli olarak Odamızdan temin edilebilen yayınlar :

— Elektrik Tesislerinde Emniyet Yönetmeliği	7,50 TL.
..... (Üyelerimize)	5.— TL.
— Elektrik Tesislerine Ait Projelerin Tanzimine Dair Yönetmelik	2,50 TL.
— Elektrik Mühendisleri için Asgari Ücret Yönetmeliği	2,50 TL.
— Kuvvetli Akım Elektrik Dağıtım Tesisatının Bakım, işletme ve Tesisine Dair Talimatname	5.— TL.
— Elektrik iç Tesisat Yönetmeliği ve Fenni Şartnamesi	3.— TL.
— Elektrik Santral ve Tesislerinin Kabulüne Ait Talimatname	5.— TL.
— Elektrik Endüstrisi Yatırımlarının Seçiminde Kullanılan Metod ve Kriterler	2,50 TL.
— Elektrik Mühendisliği Kuvvetli Akım Tekniği El Kitabı 40.— TL. (Üyelerimize)	25.— TL.
— UDK, Milletlerarası Desimal Sınıflandırma Elektrik Mühendisliği ile ilgili bölümler	2,50 TL.
— Değişim Tablosu (Conversion table)	2,50 TL.