

# Az Kayıplı Yalıtkanlar

**Yazan :**  
Tahsin ABMAY  
İ.T.Ü. - E.S.E.

## ÖZET :

Elektrik ve elektronik cihazlarında çeşitli yalıtkanlar kullanıldığı, çeşitli gerilimlerdeki iletkenleri yalıtımda kullanılan ve kondansatörlerde dielektrik verini almakta olan bu yalıtkanların, elektrik enerjisi kayıplarında önemli rol oynadıkları bilinmektedir.

Bazı özel uygulamalarda (yüksek frekanslı akımlarla ısıtma, zayıflama hatları gibi) enerji kaybının mümkün olduğu kadar azaltılması zorunludur. Bu amaçla, az kayıplı özel yalıtkanların kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda elde edilen sentetik yalıtkanlar, elektroninin değişik ihtiyaçlarına cevap verecek duruma getirilmiştir.

Aşağıda, enerji kayıplarını ortaya koyan muhtelif teorileri açıklamadan önce, dielektrik katsayısına ait temel tarifleri, bu miktarların ölçülmesine ait metot ve ölçü aletlerini hatırlatmaya çalışacağız. Bu teorilerin bilinmesile, yalıtkanların daha iyi kalite de olması veya yeni tip yalıtkanların bulunması nedenleri ortaya çıkacaktır. Anormal kayıpların bazı hallerde kaynağın anlamak, elektronikte halen kullanılan az kayıplı temel yalıtkanların uygulama sahası ve özelliklerini belirtmek bakımından elektronikçilere faydalı olacaktır

## SUMMARY

It is known that insulating materials used in electric and electronic devices have an important effect on the losses, particularly when they are used in insulating conductors for different voltages and in replacing dielectric in capacitors.

Losses have to be decreased as much as possible in certain cases, for example in heating by high-frequency voltages, etc. Therefore the use of insulating materials with small losses is gaining importance. Synthetic insulators developed in recent years have been improved to meet various requirements of electronics.

Before explaining the several theories giving the energy losses, attempts will be made to remind of basic definitions concerning dielectric coefficient, and methods and instruments employed in measurement of these losses. Having enough knowledge about these theories, will enable us to appreciate why the insulating materials should be of better quality and why new materials have been introduced in this field. It will be useful from the view point of considering characteristics and application field of new insulating materials with small losses, to find out the sources of abnormal losses particularly in electronics.

## I — İzafi Dielektrik Sabiteleri :

### 1) Dielektrik Sabitesi :

Kapasitesi p ve arasında boşluk olan, her hangi şekilde iki armatürü olan ideal bir kondansatörü (No 1) ele alalım. Bu tip kondansatörün armatürleri arasına öyle bir yalıtkan madde koyalım ki, yeni kondansatörü şarj etmek (yüklemek) için, No. 1 kondansatörünün armatürleri arasından geçen kuvvet hatlarının tamamen aynı olsun. Bu şekilde elde edilen No. 2 kondansatörünün kapasitesi de C olsun. Tarif olarak, yalıtkanın  $\epsilon$  izafi dielektrik sabitesi :

$$\epsilon = C/f \text{ dir.}$$

Bu katsayı, özellikle yalıtkanın sıcaklığı ve kondansatöre tatbik edilen alternatif gerilimin frekansı ile değişen muhtelif faktörlere bağlıdır.

### 2) Dielektrik kayıplar açısı:

No. 1 kondansatörüne sinusoidal bir gerilim tatbik edildiğinde madeni armatürlerde jul tesiriyle meydana gelen kaybı dikkate almazsak, bu kondansatörden geçen sinusoidal akım, tatbik edilen gerilimden  $\pi/2$  faz farkı ( $90^\circ$ ) kadar ileride bulunur.

Diğer taraftan, No. 2 kondansatörüne alternatif bir gerilim tatbik edildiğinde, armatürler arasındaki yalıtkan alternatif elektrik alanı içinde iken, ısı yükseimesile kendini belli eden bir enerji kaybı meydana gelir, özellikle, eğer tatbik edilen gerilim sinusoidal ise, kondansatörden geçen akım, gerilimden  $(\pi/2 - \delta)$  radyanlık açı kadar ileride bulunur.

Diğer taraftan, No. 2 kondansatörüne alternatif bir gerilim tatbik edildiğinde, armatürler arasındaki yalıtkan alternatif elektrik alanı içinde iken, ısı yükseimesile kendini belli eden bir enerji kaybı meydana gelir, özellikle, eğer tatbik edilen gerilim sinusoidal ise, kondansatörden geçen akım, gerilimden  $(\pi/2 - \delta)$  radyanlık açı kadar ileride bulunur.

S açısına, No. 2 kondansatörünün kayıp açısı denir,  $\delta$  miktarı kondansatörün şekline bağlı olmayıp, kullanılan yalıtkan maddeye göre değişir. Elektronikte veya yeraltı kablolarında kullanılan yalıtkanlar için  $\delta$  miktarının çok küçük olması arzu edilir. Bu taktirde  $\delta$  radyan değeri  $\tan \delta$  değerine eşit bulunur. Dielektrik -kayıplar çoğunlukla  $\tan \delta$  ile ifade edilir.

Verilmiş bir tokana için, dielektrik kayıplar açısı genel olarak sıcaklıkla artar.

#### 8) Kompleks İzafi dielektrik sabitesi :

Pulsasyonu  $\omega$  olan sinüsoydal bir akım için, No. 1 kondansatörünün Admitansı  $J^p$  Susseptans'ına eşittir. Eğer No. 2 kondansatörünün kaybı olmazsa, Susseptansı  $J^p$  olur.

Fakat bazı kayıplardan dolayı admittansın hakiki ve sanal kısıpnlannın değeri:

$$J_{\text{e}} \cdot \langle e' - J_{\text{e}} \rangle r - \langle \langle ' + 'Je' \rangle \rangle = r$$

Seklinde olacaktır.

Bu ifadede  $(e' - J_{\text{e}})$  miktarına, yalıtkanın kompleks İzafi dielektrik sabitesi denir.  $e'$  miktar, yukarıda belirtilen özgül endüktör kuvvetidir.

$$\text{tg} \delta m_i / e' \text{ bulunur.}$$

#### 4) Yalıtkan direnci. İletkenlik :

Talıtkan maddesi kab veya sıvı olan bir kondansatörün armatürleri arasına doğru gerilim tatbik edilirse, kondansatörden geçen akımın değeri, iyi (bir yalıtkan için çok küçüktür.

Diğer taraftan, frekansı  $f = \omega / 2\pi$  olan sinüsoydal bir gerilim altında C kapasiteli bir kondansatörün yalıtkan direnci R ise, f frekanslı akım için yalıtkan direnci, doğru akım için elde edilecek yalıtkan direncinin aynı olduğu kabul edilirse ve başka bir kayıp kaynağı yok ise,  $\text{tg} \delta = 1/R\omega C$ , bulunur.

f frekansının değeri endüstriyel frekanstan büyük oldukça,  $\text{tg} \delta$  değerinin hızla küçüldüğü görülür.

#### 5) Dielektrik «talik :

Bir yalıtkanındaki elektrik alanı belirli bir değeri aştığında, yalıtkanın içinde delinme meydana gelir. Dielektrik sıklık, bu şartlar altında elektrik alanının, değeri olup, yalıtkan sıcaklığı ve alanın frekansı arttıkça, dielektrik sıklık azalır.

#### 6) Az kayıplı yalıtkanların kullanılması:

Alternatif gerilimle çalışan bir yalıtkan için az kayıplı malzemelerin kullanılması zorunluluğu, aşağıdaki münasebetlerle ortaya konmaktadır. Filhakika, «, pulsasyonlu gerilimin değeri V, yalıtkan ile teşkil edilen kapasite C, yalıtkanın kayıp açısı g, kapasiteden geçen akım I, yalıtkanında harcanan (ısı olarak kaybedilen) güç I<sup>2</sup> «VI aing ise, IeVC,, olduğuna göre:

$$P_a V.C.U. \text{ sınıs } (D \text{ olur.}$$

Burada, P vat, V volt, C farad, f hertz,

$$\omega = 2\pi f \text{ cinsindedir.}$$

Bu basit formülle şunlar ifade edilmektedir :

a) Sabit frekansta, dielektrik tarafından yutulan güç, gerilimin karesine ve  $\text{tg} \delta$  (sing yerine pratikte g veya  $\text{tg} \delta$  alınır) ile orantılıdır.

Enerji kayıpları ile, yalıtkanın sıcaklığı artar. Dolayısıyla  $\omega$  ve P miktarları da artar. Zin-cirleme halindeki bu artışlar P miktarını hızla arttırır ve kondansatörün sıcaklığının kritik değeri aşması tehlikesine karşılıştır. Bu taktirde, dielektrikte bir yumuşama, bir delinme (dielektrik sıklık sıcaklıkla azalır) meydana gelir.

Az kayıplı bir yalıtkan için, kritik sıcaklığın altında kalınacak şekilde sıcaklık derecesinin aşılması, dielektrikte meydana getirilecek ısının iletkenlikle veya ısıma yolu ile kaybedilecek ısıya eşit olması gerekir.

b) İlk yaklaşık hesap için, g'nin frekanstan bağımsız olduğunu kabul edelim. P miktarı, gerilimin f frekansı ile veya  $\omega$  miktarile artar.

Az kayıplı maddelerin problemi, bu maddelerin çok yüksek frekanslarda ve özellikle hiperfrekanslarda kullanılmaları ile çok yakından ilgilidir.

özet olarak, az kayıplı yalıtkanların kullanılması ile :

1°) Yüksek frekanslarla enerji iletiminde (hatlar, kablolar halinde) enerji kaybını azaltmak,

2°) Gerilim katsayısını veya devrelerin kalitesini çok azaltmamak,

3°) Yüksek frekanslarda, alternatif gerilim taşıyan iletkenler arasındaki yalıtkanları korumak, mümkün bulunmaktadır.

Dielektrik kayıplar bakımından bir yalıtkanın iyi veya çok iyi kabul edilebilmesi için  $\text{tg} \delta$  nin  $10^{-2}$  veya  $10^{-4}$  mertebesinde olması gerekir.

iki iletken arasına birbirine takiben aynı hacimde muhtelif yalıtkanlar doldurulunca, (1) formülüne göre kayıp olan gücü :

$$p = V^2 \cdot r_{\text{e}} \cdot \omega \cdot \text{sing ile ifade edebiliriz.}$$

Burada,

p miktarı, iletkenler arasındaki hacmin boş olması (pratik bakımdan hava ile dolu olması) halindeki kapasiteyi gösterir.

Kayıplar,  $\text{tg} \delta$  (bu miktar yaklaşık olarak « $\text{tg} \delta$ 'ye eşittir) ile orantılı bulunmaktadır. Bazı adedi tablolarda,  $\text{tg} \delta$  değerine, yalıtkanın kalite faktörü adı verilmektedir.

7) Dielektrik kayıpların ölçülmesi metodları ve cihazları: '

İyil yalıtkanlar için kayıpların çok küçük olması oranında, dielektrik kayıpların ölçülmesi

daha büyük hassasiyet İstemektedir. Alçak frekanslar (endüstriyel frekanslar, müzikal veya işitilebilen frekanslar) İçin, klasik Schering köprüsü kullanılır.

Etüd edilecek yalıtkanla düz bir kondansatör meydana getirilir ve bir koruma halkası kullanılarak kenar tesirleri ortadan kaldırılır.

Daha yüksek frekanslar İçin aynı metod kullanılmakla beraber, köprüünün yapılmasına, değişebilen elemanlara, özellikle direnç ve muhtelif blendaj kısımlarına daha çok dikkat edilir.

Radyoelektrik frekansları için çift T şeklindeki özel köprüler kullanılarak ölçmeler yapılır. Fakat en hassas metod, devrelerin rezonans özelliğinden faydalanmak yoludur. (Şekil - 1) de görülen devrede değişebilen kapasitenin uçlarına etüd edilecek yalıtkanı İhtiva eden genel olarak düz şekilde yapılmış küçük bir y kondansatörü ile uçlar arasındaki V gerilimini ölçmek için bir voltmetre İlâve edilir.

Arzu edilen f frekanslı taşıyıcı dalgayı veren bir generatör ile sabit bir E elektromotor kuvveti devreye konur, f frekansına göre devrenin ayar konumu değişebilen kapasite vasıtasile sağlanır ve bu kapasiteye bağlı olarak rezonans eğrileri yani V değerini veren eğriler çıkarılır.

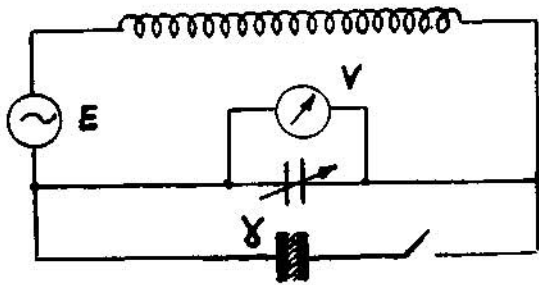
Bundan sonra, y kondansatörü devreden çıkarılarak yeniden rezonans eğrileri (etüdedilen yalıtkan kayıpları ortadan kaldırıldığı için, bu ikinci eğriler birinciden daha sivri bulunur) çıkarılır. Bu iki eğrinin verdiği elemanlardan ( $V_{\text{min}}$  max. değeri ve genişliğinden) hareket edilerek,  $\epsilon$  ve tg g değerleri kolayca hesaplanır.

Eğer y kondansatörü düz yüzeyli ve armatürlerinin yüzeyi S cm<sup>2</sup> ve yüzeyler arasındaki mesafe d cm İse :

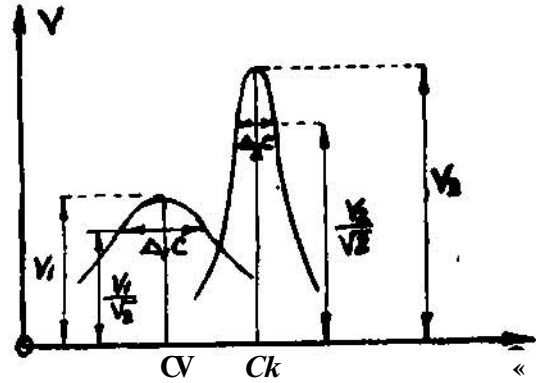
$$C_1 = 3,61rd (C_2 - C_1)/S \text{ olur.}$$

Burada,  $C_1$  ve  $O_3$  miktarları pikofarad cinsinden ifade edilmiştir. Diğer taraftan,  $t?8 = (A_1C - AC)/(C_2 - C_1)$  bulunur.  $C_1$ ,  $O_3$ ,  $A_1C$ ,  $A_2C$  miktarları» (Şekil - 2) de açıklanmıştır.

— Çok yüksek frekanslarda, metrik ve desimetrik dalga bandlarında, bağlantılardan meydana



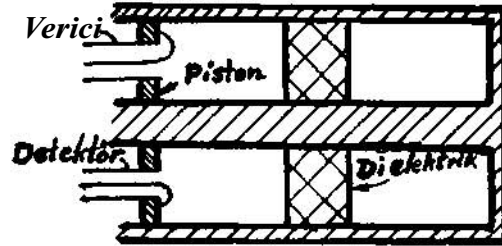
Şekil 1 — Radyoelektrik frekanslarda dielektrik kayıpların ölçülmesi.



Şekil: 2 — Rezonans eğrileri.

na gelen hatalar ve rezonans devrelerde lokalize edilen sabit değerlerin küçük olması halinde, bu ölçmelerde akord edilmiş (ayarlanmış) hatlar, çoğunlukla aynı eksenli kablolar kullanılır.

Aynı eksenli bir hat alınarak, bir ucu kısa devre edilir ve diğer ucu hareket edebilen bir pistonla beraber etüdedilecek yalıtkan madde bir halka konur (Şekil - 3).



Şekil : 3 — Yüksek frekanslarda dielektrik kayıpların ölçülmesi.

Bir taraftan, arzu edilen frekans üzerine bir generatörle hat ikaz edilir, diğer taraftan, uygun bir noktada yaratılan alan şiddeti ölçülür. Hattın uzunluğu değiştirilerek İki rezonans eğrisi çıkarılır. Bu rezonans eğrilerinden  $\epsilon$  ve tg g miktarları hesaplanır.

Çok yüksek frkanslar (santimetrelik dalgalar) için, etüdedilecek yalıtkan tarafından bir kısmı kaplanan silindirik veya paralel yüzeyli prizmatik rezonans çukurları kullanılır.

#### n — Dtelektrik kayıpların kaynağı:

Az kayıplı yalıtkanların kullanılması ve bu kayıpların hesaplanması İçin, uzun araştırmalar sonunda bazı hipotezlerin ortaya konması gerekmiştir. Çağunlukla, örnek olarak gösterilen İki mekanizma üzerinde görüşlerimizi özetleyeceğiz.

1) Boşalma zamanı :

Bir elektrik alanı altında bulunan bir dielektrik maddesinin polarizasyonundaki boşalma (sıfıra yaklaşma) sürelerine iki mekanizma etki yapmaktadır.

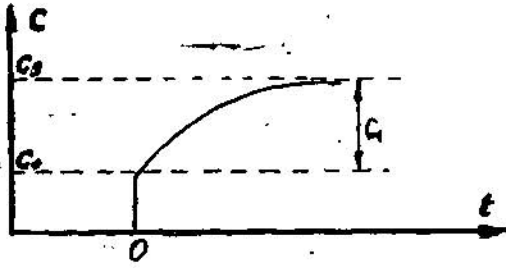
Dielektrik maddesi katı veya sıvı olan bir kondansatöre bir gerilimin tatbik edilmesile, kondansatörün en son değerine kadar bir anda şarj edilemediği (yüklenemediği) görülür. Bu olayı ilk yaklaşık tahminlere göre basit formüllerle ifade etmek istersek:

$t = 0$  anında (gerilimin tatbik edildiği anda) kondansatör kapasitesinin  $C_0$  değeri, üstel bir kanuna göre zamanın fonksiyonu şeklinde  $C = C_0 + C_1 e^{-t/\tau}$  değerini alır (Şekil 4 a).

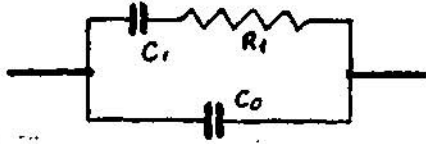
Başka bir ifade ile, herhangi bir  $t$  anında :

$$C = C_0 + (C_1 - C_0) (1 - e^{-t/\tau}) \text{ olur.}$$

Burada  $\tau$  süresine boşalma zamanı denir. Devrenin eşdeğer elektrik şeması (Şekil - 4 b) de verilmiştir. Buna göre  $\tau = RC$  dir.



Şekil : 4a



şekil: 4b

Alternatif gerilim altında bulunan bir kondansatör sistemini etüdetmek için, bu sistemin A admittansını hesaplamak yeter :

$$A = JCV_u + 1/(Rj - J/C_{r4})$$

$$= J(C_{04} + C_{r4})(\omega C_{04} - J)$$

$$A = JCV_a + C_{r4}(\omega C_{04} - J)$$

Eğer dielektriği hava olan kondansatörün kapasitesi  $C_0$  ve yalıtkanın kompleks izafi dielektrik sabitesi  $\epsilon' - j\epsilon''$  ise,

$$A = J(C_0 + C_1) \omega (\epsilon' - j\epsilon'') \text{ bulunur.}$$

Bu son münasebetle yukarıdaki münasebetler karşılaştırılırsa:

$$\epsilon' = C_0/\Gamma + C_1/\Gamma - V(i; +\partial V) \text{ ve}$$

$$\epsilon'' = C_1/\Gamma + \partial V$$

$\epsilon'' = 0$  yani doğru gerilim için  $\epsilon''$  değeri 0 olur.

$$\epsilon_0 = (C_0 + C_1)/\Gamma$$

Burada  $\epsilon_0$  miktarına statik izafi dielektrik sabitesi denir.  $\epsilon'' < \epsilon_0$  yani çok yüksek frekanslar için:

$\epsilon'$  miktarı  $\epsilon_0$ 'a eşit bulunur.  $\epsilon'' = C_1/\Gamma$  olur.

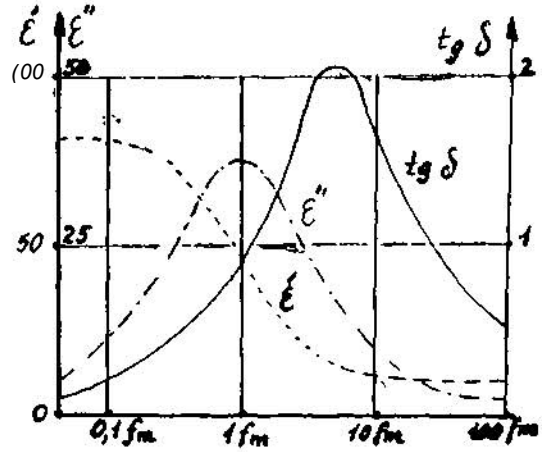
Yukarıdaki iki münasebeti şu şekilde yazabiliriz :

$$\epsilon' = \epsilon_0 + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_0}{1 + (\omega\tau)^2}$$

$$\epsilon'' = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_0)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2)$$

$$\tan \delta = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_0)\omega\tau}{\epsilon_1 + \epsilon_0 - \omega^2\tau^2}$$

(Şekil . 5)de  $f = 1/\tau$  frekansına bağlı olarak  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  değerlerini gösteren eğriler verilmiştir.



Şekil : 5 - fm orta frekansına bağlı olarak  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  ve  $\tan \delta$  nin değişmesi. Değerler dielektrik maddesi sıvısı olduğuna göre.

$\tau$  için logaritmik bir eşel alınarak,  $f$  orta frekansına tekabül eden değerlere göre,  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  ve  $\tan \delta$  s eğrileri çizilir.

Bu eğrilerin incelenmesinden, pratik bakımdan  $\epsilon'$  için bir dağılım bölgesi,  $\epsilon''$  ve  $\tan \delta$  için bir yutma bölgesi ve  $\epsilon''$  nin max. değerinin  $(\epsilon_1 - \epsilon_0) > 2$  olduğu görülür.

2) Maxwell - Wagnertn zittiyet teorisi :

Maxwell dielektrik olan cisimlerin iki kısımdan teşekkül ettiğini, bunlardan birinde iletkenlik mevcut olduğunu, diğer kısmının ise kay-

bu olmayan bir dielektrikten meydana geldiğini düşünmüş ve (Şekil - 6) deki elektrik şemasını tasarlamıştır. Bu şemaya göre, kondansatörün bir anda yüklenemeyeceği derhal görülmektedir.



Şekil . 6

Doğru bir akımın tatbik edilmesi halinde, C ve C<sub>x</sub> kapasiteleri seri olarak bağlı bulduklarından, oldukça uzun, bir süre sonunda p/nin mevcudiyeti dolayısıyla C<sub>j</sub>'nin yükü sıfır olur olur ve sadece C'nin yükü kalır. Pulsasyonlu sinüsoy-dal gerilim altında muayene edilen bu sistemin boşalma zamanını hesaplayabiliriz.

Bir kondansatörün eşdeğer empedansı:  $r(\epsilon' - J_\epsilon)$  şeklindedir. (2) münasebetinden :

$$\epsilon_\infty = C CV\Gamma(C + C_1), \quad \epsilon_\epsilon = C/\Gamma \text{ i ve}$$

$$0 = (C + C_1)\rho_1 \text{ bulunur.}$$

Wagner, realiteye daha çok yaklaşarak, kayıpsız yalıtkan kısmının küre şeklinde, muntazam olarak iletken maddenin I içine dağıldığını kabul etmiştir. Kayıpsız kısmın küre şeklinde, az veya çok düz olan elipsit olarak kabul edilmesine göre (2) münasebeti değişmemekle beraber, 0'nin değeri muhtelif kabullere göre değişmektedir.

özet olarak, Şu hususlar gözöntünde tutulur:

- Az kayıplı dielektrik maddeleri elde etmek için, dipoler maddeler kullanılmaması, kesinlikle, yutma bölgelerinden uzakta bu maddelerin kullanılmasına,
- Dipol olarak tesir eden adi suyun dielektrik maddesi olarak kullanılmamasına, dikkat edilir.

m — Az kayıplı Temel yalıtkanların özellikleri: | 1 , •

Aşağıda, bazı yalıtkan maddeler hakkında geniş bilgi verilmesine çalışılmıştır.

1) Mika ve Mikaleks : Mika, tabii bir mineral üretim maddesi olup, esaslı alüminyum silikattır. Muhtelif şekillerde yer yüzünde bulunan bu maddenin en fazla kullanılan cinsleri şunlardır :

— Muskovt'ler ve potasü mikalar : Alüminyum silikat ve potas karışımı bulunan bu nevi mikalar açık renktedir. Hindistan'da ve güney Amerika'da çoğunlukla bulunur.

— Flogopit'ler veya magnezyumla mikalar : Alüminyum silikat ve magnezyum karışımını İh-

tiva eden bu mikalar bazen kehribar renginde çıkarılır. Çoğunlukla Kanada ve Madagaskar'da bulunur.

Mika, çok kolay olarak tabakalara ayrılmak ve çok ince kalınlıkta elde edilmek özelliğine sahiptir. Diğer taraftan ısı tesirlerine karşı mukavimdir. Muskovt'ler 550°C'da ve Flogopit'ler 1000°C'ye kadar kullanılabilirler.

— Kayıp değerleri: Elektronikte az kayıp elde etmek için, açık renkte, şeffaf mikalar kullanılır. Bu tip mikaların dielektrik sabitesi 7 mertebesinde, tgs'nin değeri 2.10<sup>-\*</sup> kadardır. Kehribar renkli mikaların dielektrik sabitesi daha küçük olup, tg g'nin değeri binde bir kaç mertebesinde bulunur.

2) Sentetik Mika: ikinci dünya savaşı sırasında, malzeme tedarikinde çekilen güçlükler karşısında, Almanlar tarafından sentetik mika yapılması denenmiş ve bunda da muvaffak olunmuştur. % 11,6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 32,6 MgO, % 30,7 Kieselsüher ve % 25,1 K<sup>+</sup> Si F<sub>6</sub> maddelerinin karışımından, tabii mika gibi ince tabakalara ayrılabilen levhalar halinde sentetik mika yapılmıştır.

Halızahırda, bu hususta Birleşik Amerika'da yeni metodlar geliştirilmiş ise de, bu şekilde elde edilen imalat miktarı ticari bir üretim seviyesine ulaşamamıştır.

3) Mikaleks: Sentetik mika gibi, mikaleks-ten söz edilmekte, mika ile özel camların karışımından meydana getirilmektedir, ince toz halinde mika ve özel camın karışımı yüksek sıcaklıkta eritilmekte, madeni bir kalıp içinde kuvvetli basınç altında tamamen soğuyuncaya kadar bırakılmaktadır.

Mikaleks sert bir taş görünüşünde olup, griye çalar bronz rengindedir. Mikaleks, kalıplanmış levha veya çubuk halinde işlenir. Mikaleksin işlenmesinde bazı tedbirler alınır:

Mikaleksin elastikiyeti çok az olduğundan, parçaların birer uçlan boşta iken üzerinde çalışılmaması, titreşimsiz ve yavaş şekilde malzeme üzerinde çalışılması gerekir. Mikaleks tozları aşındırıcı ve kazıyıcı özellikte olduğundan mikaleks kesebilmek için çok sert çelik kesici kullanılır.

— Kayıp değerleri: Mikaleksin dielektrik sabitesi 7 mertebesinde ve tgg miktarı da orta frekanlar için 0,001 kadardır.

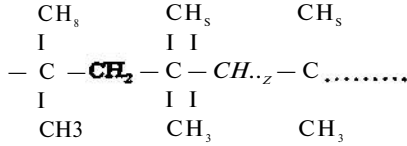
4) Polyten : Çok yüksek basınç altında G<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, etilen gazından meydana getirilen katı polimerlerden müteşekkil polietilen'e genel olarak polyten adı verilir. Kimya bakımından, bir polyten 1000 kadar karbon atomunu ihtiva eden -CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- şeklinde hidrokarbonların zincirleme olarak birleşmesinden meydana gelmiştir.

Bütün polimerlerde maddelerde olduğu gibi, bir numunenin bütün makromolekülleri aynı uzunlukta olmayıp, molekül ağırlıkları arasında bir ayrılık bulunmaktadır. Bu sebepten, ağırlıkları çok değişik olmak üzere 8000 ile 20000 arasında çeşitli polyenler meydana getirilmiştir.

Bu katı cisimde mikro yapının bir kısmı kristalli ve bir kısmı da şekilsizdir. Kristalli ve şekilsiz kısımların oranı sıcaklığa göre değişmektedir. 20° C da kristalli kısım % 75 kadar olup, sıcaklık arttırılırsa, polyten yavaş yavaş daha az kristalli olur ve erime noktasında (115° C da) polyten tamamen şekilsiz bir hal alır. Bu takdirde çak yapışkan bir hal alan polyten'i basınçla kalıplamak veya enjekte etmek mümkündür.

— Bükülme, eğilme kabiliyeti. Normal sıcaklıkta, polyten, bükülebilir ve sıcaklığın düşmesi halinde tekrar sertleşir. 0° C da bükülebilen polytenler ortalama molekül ağırlıklarına göre muhtelif kategorilere ayrılır. Bir kısım polytenlerde -60°C'de bükülme kabiliyetlerine ve molekül ağırlıklarına göre sınıflandırılır.

Bükülebilmenin çok olması için, alçak sıcaklıkta, polyten molekül ağırlıklarının az olması sağlanır. Bu maksatla polyten içine bazı plastikler (örneğin, tabii kauçuk, buna S v.s.) karıştırılır. Fakat bu karışımlarda dielektrik arttırmamak için, tercihen



formüllü polyizobutylen kullanılır.

— Kayıp açısı: Bütün radyoelektrik frekansları polyten bir kaç binde on mertebesinde küçük kayıp açısına maliktir. Bu elektrik kalitesine ilaveten bükülebilme özelliğinden dolayı polyten bir çok işlerde ve bilhassa, çok yüksek frekanslı kabloların yapılmasında kullanılır. Bir kabloda (bu kablo aynı eksenli veya iki iletkenli olabilir) « zayıflama katsayısı, frekansa bağlı olarak:

$$a = A \sqrt{f} + B \cdot f \cdot \text{tg} \delta \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu ifadede, A ve B miktarları sabit birer adeddır. ifadenin birinci kısmında iletkenin direncinden dolayı zayıflama, ikinci kısmında § kayıp açısından dolayı yalıtıkandaki dielektrik kaybı verilmektedir. Aşağıdaki tabloda, f frekansından mütevellit tgg'nin empedansı 0,0005 kabul edilerek, normal boyutta aynı eksenli bir kablo için yukarıdaki ifadenin her iki kısmının frekansla nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Hertz olarak Frekans	İletkenlerdeki kayıplardan meydana gelen zayıflama (%)	Dielektrikteki kayıplardan meydana gelen zayıflama (%)
İv	99	1
10 <sup>6</sup>	99	1
10 <sup>7</sup>	96	4
10 <sup>8</sup>	88	12
10 <sup>9</sup>	71	29
10 <sup>10</sup>	43	57

Bu tablonun incelenmesinden :

Çok yüksek frekanslarda dielektrik kayıplardaki tgg değerinin çok yüksek olmasına rağmen, zayıflamanın büyük kısmının yine dielektrik kayıplardan meydana geldiği görülür. Bu takdirde tgg değerinin mümkün olduğu kadar daha küçük değere indirilmesinde büyük faydalar olacağı anlaşılır.

Kabloların imali sırasında, ısınmış polytenin dielektrik kalitesinin azalmamasına dikkat edilmesi, gerek oksidasyon konusunda ve gerekse yağlı maddelerle bulaşmaması hususuna önem verilmesi lazımdır. Erime noktasının üstündeki sıcaklıklarda serbest hava ile karıştırılmış nümunelerdeki kayıpların çok arttığını yapılan ölçmeler göstermişti.

Fikirleri tesbit bakımından, bu numunelerde 160°C'da 7 saat serbest hava ile karıştırılması elde edilen polytenin f1= 10<sup>7</sup> Hertzlik frekansta tgg değerinin 3.10-» İla 64.10-\* arasında değiştiği görülmüştür. Bu olayın açıklanması bakımından, Debye'nin iki kutuplu zaman teorisine göre, polyten moleküllerinin oksijeni tesbit ederek daimi polarite kazandığı söylenebilir.

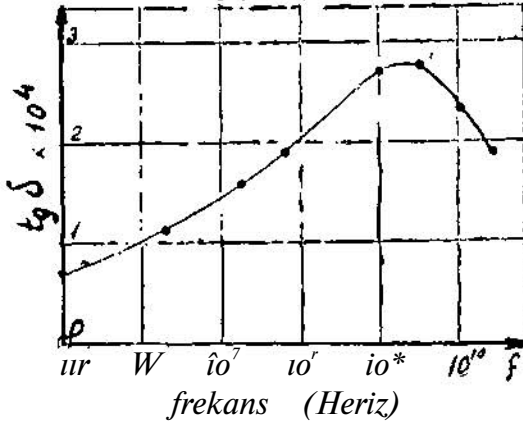
Açık havada işlemin yapılması sırasında, oksidasyonu önlemek için en iyi metod araştırılmış ve polytenin içine az miktarda antioksidan maddenin (normal olarak kauçuk kullanılmakta) karıştırılması gibi basit bir çare bulunmuştur.

— Polytenin kayıp açısı: Molekülleri polaritesiz olan polytenin tgg değeri 0,0003 mertebesinde olup, bazı numunelerde bu miktar 0,00015 olmuştur. Bu kayıpları açıklayacak bir çok sebepler vardır:

Polyten molekülünün bir uçunda bir çift bağlantı olma imkanı dolayısıyla, polytenin safiyeti az miktarda değişecek şekilde, imalat sırasında tesadüfen polytene karbon, maden partikülleri, su zerresi, madeni yağ vesaire karışırsa, yabancı maddelerin miktarına göre gaz etilenin polimerizasyonu esnasında polariteli molekül grupları meydana gelebilmektedir.

örneğin, katalize etmek için kullanılan az miktardaki oksijen tesirile tgg'nin değeri 0,0001 den 0,0015'e yükselir.

1,23 santimetre dalga uzunluğuna tekabül eden frekanslara kadar bir alkatın, (Polytenin İngilizce ticari adı) numunesi üzerinde yapılan ölçmelerde (Şekil - 7), max. yutmanın 1,5x10<sup>9</sup> Hertz mertebesinde meydana geldiği görülmüştür. Bu son değerden sonra yutma miktarı frekans arttıkça azalmaktadır. Burdan polytenin 1 santimetreden küçük dalga boyu frekansları için kullanılabilceği anlaşılmaktadır.



Şekil . 7 — Frekansa bağlı olarak Polyten'in absorpsiyonu.

5) Polistiren : Polistiren,  $C_6H_5 - CH = CH_2$  formülü ile gösterilen monomer stiren'nin sıcakta polimerize edilmesinde elde edilen ve uzun yulardanberi tanınan, katı bir dielektrik maddesidir. Ticari adı Birleşik Amerika'da (Styrol), Almanya'da (Trolitul), Fransa'da (Afcollene) dir.

Çok az kayıplı bir üretim elde etmek için, saf sıvı stiren, havasız bir imbikte kurutulur,  $f = 3.108$  Hertz için dielektrik sabitesi 2,38 ve 25°C da  $tg \delta = 0,0013$  elde edilir.

Alçak frekansta, polistiren içinde çok az miktarda su bulunması kayıplar üzerinde bir tesir yapmamaktadır. Stiren'deki kayıplar dipoler elemanların dönüğünden ileri gelmektedir.

Polimerizasyonla dipollerin kısmen hareketsiz kalması bağlanarak kayıplar büyük ölçüde azaltılır. Dielektrik sabitesi 2,52 olacak şekilde yulardaki sıcaklık ve frekans şartlarında  $tg \delta$  nin değeri 2 ila  $3 \times 10^{-4}$  mertebesinde bir değere ulaşır. Oksidasyonu önlemek için bütün işlemler havasız yerde ve katalizörler kullanılarak saf madde elde edilir. Az kayıplı polistiren halinde rutubetin yutulması büyük rol oynayabilir. Yüksek frekansta kayıplar hızla artar, örneğin,  $f = 3.10^8$  Hertz için herhangi bir numunede  $tg \delta = 2,5 \times 10^{-4}$  ise, rutubetin emilmesi halinde  $tg \delta = 8 \times 10^{-4}$  olur. Numunenin 70 saat süre ile % 90 rutubetli bir atmosferde kalması ile bu sonuncu değer elde edilir.

Rutubet, polistiren'de basit dipoller meydana gelmesine sebebiyet verir. Rutubetten polistireni korumak için polimerizasyondan önce ve sonra içine az miktarda parafin mumu katılır.

Polistiren dökülmüş halde, kalıplanmış olarak, bir maddenin içinde erimiş şekilde ve ince levhalar halinde kullanılır.

Birinci halde, monomer stiren maddesi empenye ve izole edilmek istenen cismin üzerine (meselâ, kablolar gibi) sürülür ve 100°C da polimerizasyon elde edilir. Kalınlığı az olan parçalar üzerinde ısı ile polimerizasyon sağlanır (Monomer'in molekül gramı başına 20.000 kalori harcanması gerekir).

Polistiren daha önce polimerize edilmiş, ise, blok halinde dökülebilir. Bu bloklar çevre sıcaklığını aşmayacak şartlar altında kolayca işlenebilir. Aynı şekilde gerek basınç tesiriyle, gerek enjeksiyonla (üniform kalınlık elde etmek için) kalıplanabilir ve toz halinde kullanılabilir.

İnce levha halinde polistiren kabloların ve kondansatörlerin armatürlerinin yalıtılmasında kullanılır.

Polistiren ihtiva eden sıvılar yalıtkan vernik olarak radyo tekniğinde, empenye işlerinde kullanılır. Polistirenin yumuşama noktası takriben 110°C olup, deformasyon sıcaklığı 80°C dan itibaren başlamaktadır. Oldukça alçak seviyede olan bu sıcaklıklar bazı uygulamalarda ciddi bir takım engeller ortaya çıkarır.

Diğer taraftan, özel hallerde, oldukça yüksek dielektrik sabitesine ihtiyaç duyulur.

Dielektrik kayıpların nisbeten daha iyi olmasını sağlamak bakımından, polistiren içine başka maddeleri de katıştırılarak polistirenin özellikleri değiştirilir.

6) Foliglas : Cam tozu, parafin, madeni cam ve polistiren karışımı olan poliglas yalıtkan maddesinin bir çok çeşitleri vardır. Poliglas P denilen cinsi, % 80 az kayıplı cam tozu (Orming 790 veya Vycor), % 19,65 Polistiren, % 0,28 parafin mumu ve % 0,1 madeni camdan (Döw-cornlng) meydana getirilmiştir.

Bu yalıtkan madde, madenlerin termik uzamalarına uyabilmekte, madenle plastik madde arasındaki birleşim kısımları basınca mukavim bulunmakta, deniz veya hava radar cihazlarında rastlanan büyük sıcaklık değişikliklerine rağmen sızdırmazlığını koruyabilmektedir.

Poliglas P için, dielektrik sabitesi ve  $tg \delta$  miktarları sırasıyla 3,35 ve  $8 \times 10^{-4}$  kadardır. Bağlantı fişlerinin yalıtkanlığını sağlamak, dalga klavuzlarının pencerelerini yapmak için kullanılır.

7) "Politetrafluoretlen": Bu maddenin, ticari adı Amerika'da Teflon, İngiltere'de Fluon olup, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında  $CF_2$  =  $CF_2$  cisminin polimerizasyonu ile elde edilir. Diğer bir ifade ile, politen maddesinde hidrojen atomları yerine fluor atomları yerleştirilmiş bulunmaktadır. Teflon'un kalınlığı az olduğu zaman şeffaf olup, kalınlığı arttıkça politen gibi rengi beyaz olur. Dielektrik sabitesi 2,1 olup, polyteninkinden daha küçük (2,3) dur. Çok büyük frekanslar için dielektrik kayıpları çok azdır. Erime noktası  $300^\circ C$  üstündedir. Politene nazaran mekanik kalitesi yüksektir. Plastik şekilde iken, "üzerinde çalğuması" bir az güçtür. Çubuk, boru veya levha haline getirilerek kullanılır.

• Bobinlerin iskeletini veya buna benzer parçaları yapmak için iki metod kullanılır. Basit şekiller için; basınçla kalıplama usulü uygulanır. Diğer hallerde, mekanik olarak parçalar işlenerek istenen şekle sokulur.

Teflon'un kimya bakımından bir takım özellikleri vardır. Yoğunlaştırılmış, ve sulandırılmış asitlere karşı, ısıcağa ve soğucağa dayanıklı olduğu gibi, aynı şekilde (bazlara ve kullanılmakta olan eritiçilere de mukavimdir. Okside olmamaktadır. Bu İzolen, çok az dielektrik kayıp arz eden yerlerde, özellikle çok yüksek frekanslar için, oldukça yüksek sıcaklıklarda ve korrosif maddelerle bir arada kullanılır.

Radar malzemelerinin yapılışında, denizaltı kablolarının imalinde, aynı eksenli kablolarda, renkli televizyonda büyük ölçüde kullanılır.

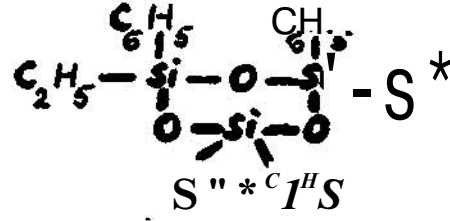
8) Silikon: Silikonlar (veya polioksisilanlar veya polisilooksanlar), oksijen atomları ile organik silisyum atomlarının birleşmesinden meydana gelen şebekenin polimerizasyonu ile elde edilir. Kimya bakımından bu madde, organik olmayan silikatlar ile organik maddelerin kompozisyonundan meydana gelmiştir.

Silikonları hazırlamak için, kum, tuzlu su, köniür ve yağa lüzum vardır. Fakat bu maddelerin birleştirilmesi çok karışık bir işlemle meydana gelmekte ve burada bu hususu açıklamaya imkân bulunmamaktadır. Fikirleri tesbit bakımından, silikonlardan birinin formülünü, fenilettil - silikon olarak ( $n [C_6H_5, (O_2H_2) Si O]_n$ ) şeklinde yazabiliriz.

Burada, esas elemanlara göre fenlettill - silikon formülü (şekil - 8) de gösterilmiştir.

$n = 2$  olduğu zaman, silikon akıcı ve eritici bir sıvı halinde bulunur, polimerizasyon sıcaklık derecesi arttıkça, bu madde reçine haline gelecek yapışkanlığı (viskozitesi) gittikçe artar.

-- Diğer, tip silikonlar, sıvı, yağ, kauçuk, yalıtkan vernik için reçine ve sıcaklıkla sertleşen



Şekil 8 — Fenlettill - silikon molekülü.

cine halmde bulunurlar. Büyük frekanslar üzerinde az kayıplı dielektrikleri teşkil eden sıvı silikonlar elektronikte çok kullanılır.

Sıvı silikonlar, ticarete sevkedilen (Dow Corning Corporation) birinci sınıf silikonları teşkil ederler. Bu mamuller, renksiz, kokusuz olarak iki tip altında piyasada bulunurlar:

- 500 tipi silikonlar,  $-55^\circ C$ 'a kadar kullanılabilirler.
- 200 tipi silikonlar,  $-40^\circ C$  ile  $200^\circ C$  arasında kullanılır.

Bu iki tipin herbiri, aynı sıcaklıkta az veya çok akıca olacak şekilde bir çok değişik halde olanları vardır.

200 tipi silikonların yapışkanlığı sıcaklıkla az değişmekte, meselâ, petrol yağlarına nazaran çok daha az yapışkan olmaktadır.

Sıvı silikonlar büyük bir kimyevi etkiye malik olup, sıcaklık ile oksidasyona karşı mukavimdirler. Ne madenlere, kauçuğa, eriticilere ve ne de organik plastiklere tesir etmemektedirler. Aynı yapışkanlık derecesinde olan petrol yağlarına nazaran parlama noktası (kapalı kaptaki buharların tutuşma sıcaklığı) daha yüksektir.

Yanmasından sonra, silis, karbon gazı ve su elde edilir.

Yüzey gerilimi az olup, santimetre başına 20 dyn kadardır.

Sıvı silikonlar suda erimemekte, ne su ile, ne sulandırılmış asitlerle ve ne de tuz eriyikleriyle birleşmemektedir. Buna mukabil, aseton ve alkol hariç, organik eriticilerin çoğunda erimektedir.

Uçucu olmayan sıvı silikonların dielektrik sabitesi, normal sıcaklıkta 2,7 olup, frekansla az değişmektedir. Dielektrik kaybı çok küçük ( $tg \delta = 10^{-4}$  mertebesinde) olup, 100 MHz'e kadar frekanslarda az değişmekte, daha yüksek frekanslar için dielektrik kayıplar hızla artmaktadır.

Sıvı silikonların dielektrik sıklığı 1000 ilâ 1200 V/mm, özgül direnci  $10^{10}$  ohm-cmVcm olup,  $200^\circ C$  da bu miktar  $10^{12}$  ohm-cmVcm den daha küçük olmamaktadır.



Sıvı silikonlar, cam veya seramiklerin yüzeylerini ıslatmak özelliğine malik olup, bu maddeleri kuvvetle absorbe eder. Silikon filmini absorbe eden yüzeyler, rutubeti önleyen yüzeyler haline getirilir.

İzolatörlerin yüzeyine sıvı silikon sürülerek, yüzeyde ancak çok ince bir su filminin teşekkülüne imkân sağlanır. Silikonun uygulamasından sonra izolatörlerin yüzey direnci çok artırılmıştır. Ayrıca, silikon yağı denilen, vazelin görünüşünde, şeffaf bir madde mevcut olup,  $-40^{\circ}\text{C}$  İle  $200^{\circ}\text{C}$  arasında evsafını muhafaza etmektedir.

Oksidasyona, ısıcağa dayanıklı ve cisimlere karşı ilgisizdir. Bu madde, radar tesislerinde, radyoelektrik postalarında bağlantıları rutubete karşı korumak maksadile kullanılır.

Silikon reçineleri, organik olmayan yalıtkanlar yerine (Mika, amyant v.s.) mükemmelen kullanılabilmekte, rutubete ve sıcaklığa dayanıklı bulunmaktadır.

Silikon reçineleri ile cam tozunun karıştırılmasından elde edilen Poliglas S maddesinin dielektrik sabitesi 10 MHz'e kadar frekanslar için 3,5 — 3,6 ve tg  $\delta$  değeri de 0,001 ilâ 0,002 arasındadır.

9) Diğer yalıtkanlar : Doymuş hidrokarburlerin polaritesi olmadığından dielektrik kayıpları

çok küçüktür. Parafin ve naftalin karışımı yağlar transformatörlerde, kondansatörlerde, kâğıdların empenye edilmesinde kullanılır. Dielektrik sabitesi 2 İla 2,2, tg 8 değeri de orta frekanslar için  $2.10^{-4}$  mertebesindedir.

Cam ve seramiğin dielektrik kayıpları azdır. Aşağıdaki tabloda, şeffaf cam ellisinin (bazen erimiş kuars olarak da adlandırılır) kayıp açısının çok küçük olduğu görülmektedir. Kuru halde iken tg s değeri küçük olan kağıdın kayıp açısı, çok alçak frekanslar için (100 MHz mertebesinde) ibinde bir kaça düşmektedir. Frekansın artması halinde bu miktar artmakta ve yüzde bir kaç mertebesine yükselmektedir.

Aşağıdaki tabloda, yukarıda sözü geçen ve geçmeyen yalıtkanların bazı özellikleri verilmiştir.

IV — Netice : Burada, az kayıplı yalıtkanların bir kısmı İncelenmiştir. Halihazırda az kayıplı yeni yalıtkanlar bulmak için çok büyük gayret harcandığı itiraz kabul etmez bir gerçektir. Yalnız mekanik ve elektrik kalitelerini düzeltmek için değil, yeni malzemelerin bulunması, evvelce bilinen politen gibi iyi dielektriklerin maliyet «atlarının da düşürülmesine çalışılmaktadır.

Az kayıplı bazı yalıtkanların temel özellikleri								
Malzemenin Adı	Yoğunluk	$t$	KKtg g				Erime noktası C	Şekil değiştirme sıcaklığı C
			10' Hz	10' Hz	10' Hz	10'' Hz		
Mika (Açık renkte)	2,8	5,4	6	3	3	—	1200	600
Mikaleks	3,8	7,4	19	13	—	33	—	350
Polyten	0,95	2,2ö	2	2	3	4	110	—
Polyizobutylen	—	2,23	1	1	4	—	—	—
Polyetyren	1,05	2,52	2	2	2	2	110	85
PolygJas P	—	3,38	9	9	11	19	—	—
Teflon	2,2	2,1	2	2	2	3	330	60
Silikon tip 500 (viskozite: 3)	0,972	2,7	1	2	68	270	-70	—
Silikon tip 200 (viskozite: 350)	0,896	2,4	1	2	96	320	—	—
Polyglas S	—	3,6	11	15	30	46	—	—
Cam silisi	—	3,78	7	2	1	1	1430	1150
Corning camı 8460d (Borosilikat döbaryum)	—	8,3	9	8	35	57	—	—
Yağ C% 68,9 parafin % 31,1 naftalin)	—	2,15	1	1	8	13	—	—

Halen ençok kullanılan ve İyi kalitede olan yalıtkanların kullanma yerleri ve özellikleri be\* lirtümeğe çalışılmıştır.

Bazı hallerde, fabrikasyon esnasındaki işlemlerin kayıp açısı üzerine etki yaptığını, anormal şartlara geçişte bir dielektrik kalitesinin değiştiğini hatırdan çıkarmamak lâzımdır, örneğin, az kayıplı bir yalıtkanı fazla miktarda ısındıktan sonra, normal ısı derecesine indirilsek, kayıpların çok arttığı görülür.

Az kayıplı yalıtkanların kullanılması sırasında suyun çok fena tesir ettiğini asla gözden uzak tutmamak gerekir. Bu au, gerek absorbe edilmiş ve gerekse yüzeyde depo edilmiş olsun, çok tehlikelidir. Bir kondansatörün kayıp açısını küçültmek için armatürleri çok iyi dielektrik olan cam silisi ile izole etmek yoluna gidilir.

Dielektrik kayıplar üzerine maddenin saf olmamasının ve eser miktarda yabancı maddeler ihtiva etmesinin de oldukça büyük etkisi vardır.

Bibliyografi :

- J. Garnier — Les diélectrk[ues, Les proprl- etéa iâlectriques des râsines synthetiques.
- W. Jackson, J.S.A. Forsyth — The developement of polythene as a high frequencies.
- A. Von Hippel, L. G. Wesson — Polystyrene plastics as high frequency dlelectrlcs. ,
- F. Appell — Les sillicones, nouveaux isolants électrlrfjues.
- M. Deribere — Le mica et ses succSdanés.

## *Milletlerarası Toplantılar Takvimi*

30 Ağustos - 5 Eylül 196» — Radyo ve Televizyon milletlerarası sergisi — Parla Fransa da.

15 Eylül — 6 Okun 1889 — Aydınlatma milletlerarası Sergisi. Grand Palalsde, Parts, Fransa'da.

22 - 28 Ekim 1970 — Elektronik Komponent-Jert, ölçü Teçhizatı ve Benzeri Fabrikasyon Ürünlerine alt 4 üncü milletlerarası sergisi — Alanı, Munich, Batı Almanya'da.

22 - 26 Eylül 1969 — Aydınlatana Birinci Avrupa Kongresi, insan hayatında aydınlatmanın yeri. Strasbourg, Fransa'da (bilgi için: Association française de l'Eclairage, 52, Boulevard Mallesherbes, 75 - Parts 8, France).

23 - 25 Eylül 1969 — Katı manyetik malzemeler Avrupa Konferansı. Federazione delle Associazioni Scientifiche Techniche (F.A.S.T.) binasında, Milano, italya da (bilgi için: F.A.S.T., 2, Piazzale Rodolfo Morandi, 20121 Milano, Italle).

11 - 15 Mayıs 1970 — Modern elektrik santallan konusunda milletlerarası araştırma günü. Liège Kongre Sarayı, Ltege, Belçfak'da- (bilgi için: Association des Ingtoieurs électriens sortls de l'Institut 6lectrotechnique Montefiore, 64, Boulevard Emle-de-Laveleye, Ltege, Belgique).