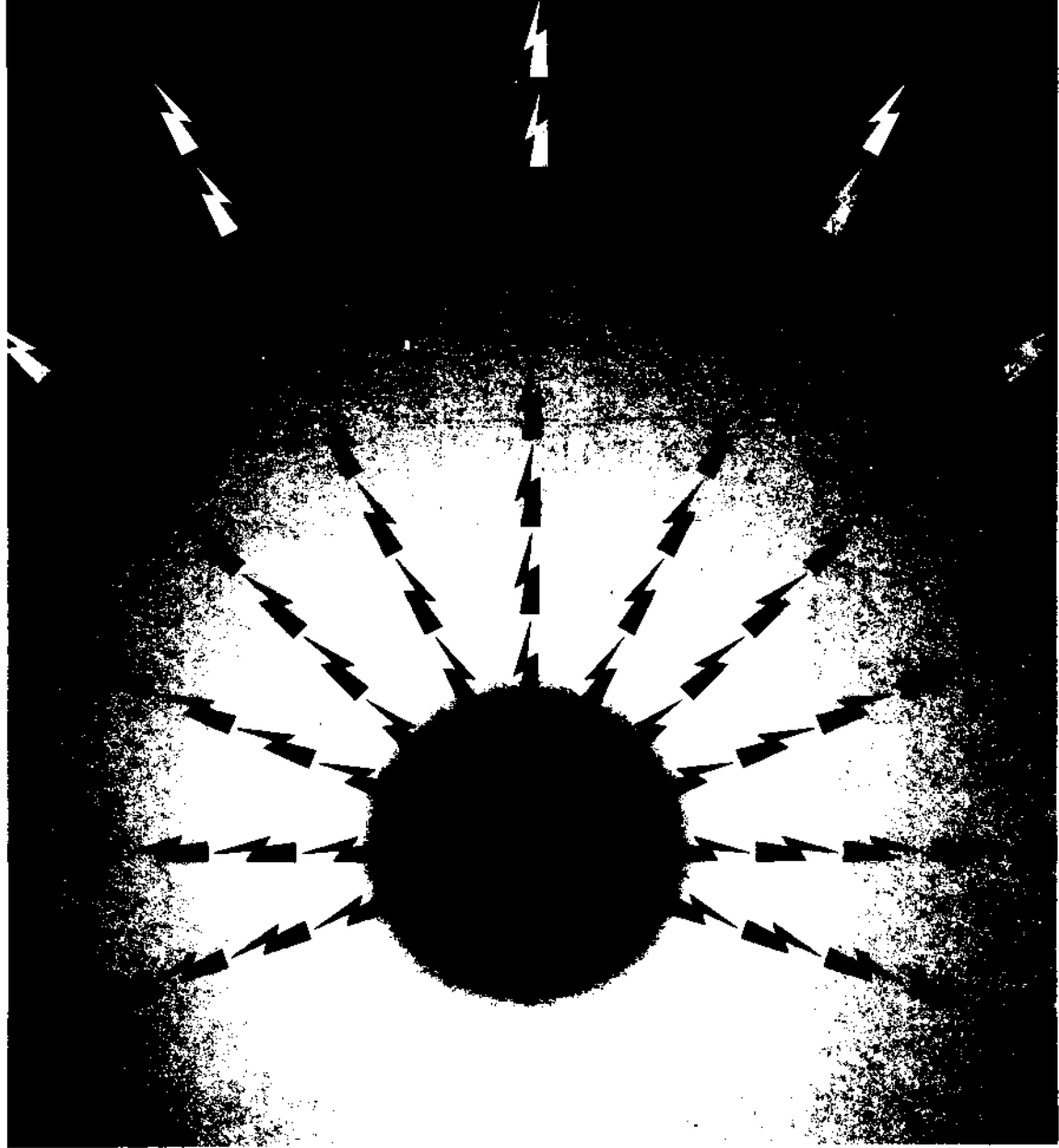


# TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

## ELEKTRİK - ELEKTRONİK BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ 7. ULUSAL KONGRESİ



TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
ANKARA ŞUBESİ



ODTÜ  
ELEKTRİK -ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TÜBİTAK

## ÖNSÖZ

TBMMO Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresini ve Sergisini Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olmaktan onur ve sevinç duymaktayız. Üniversite olarak kongreye ikinci kez evsahipliği yapmamız bizi fazlasıyla mutlu etmiştir, ama mutluluğumuz asıl geçen süre içinde Odamızın, meslek yaşamımızın ve Üniversitemizin ne kadar gelişmiş olduğunu gözlemekten kaynaklanmaktadır.

Gerçekten de ilgi alanlarımızın çeşitlenmesi, bu alanlarda belli bir beceriye ulaşılmış olması, eskiden güçlü olduğumuz dallarda da gücümüzün sürmesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendislerimizin ülke genelinde giderek daha fazla söz sahibi olmaları olgusunu yaratmaktadır. Bireysel basanlarımızın kurumlanmızı da ülke ekonomisi ve gelişmesi bakamdan güçlendirmekte olduğu açıktır. Nitekim bu sektörlerde faaliyet gösteren kuruluş sayısı hızla artmaktadır. Bu sayısal gelişmenin nitelik bakımından da aynı hızla sürdüğünü görmek sevindiricidir. Kongremiz ve sergimiz bunun en somut kanıtım oluşturmaktadır.

2000Mi yılların Türkiye'sinin ihtiyaçlarını yakahyabilmek için daha çok şeyler yapılması gerekmektedir. Endüstri-Eğitim Kurumlan ve Meslek Odalan arasındaki iletişim ve karşılıklı etkileşimi güçlendirmek gerekmektedir. Bu geçmişe oranla daha sevindirici bir düzeyde sürüyor da olsa henüz gelişmiş ülkelerdeki başarı örneklerin uzağındadır. Önümüzdeki yıllarda bu konuda daha fazla çabaya ihtiyaç vardır.

Tüm katılımcılara Kongre ve Sergimize vermiş olduklan güç için teşekkür ediyorum. Sizleri Üniversitemizde görmenin kıvancıyla selamlıyor saygılarımı sunuyorum.

Prof. Dr. Fatik Canatan  
Yürütme Kurulu Başkan

ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
7. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Fatih CANATAN (Başkan, ODTÜ)

M. Mete BULUT (ODTÜ)  
Cengiz BEŞİKÇİ (ODTÜ)  
Gönül SAYAN (ODTÜ)  
Cemil ARIKAN (TÜBİTAK)  
M. Hacim KAMOY (ASELSAN)  
Hüseyin ARABUL (BARMEK)  
Aydın GÜRPINAR (ENERSİS)

M. Asım RASAN (EMO)  
Cengiz GÖLTAŞ (EMO)  
H. Ali YİĞİT (EMO)  
Kubilay ÖZBEK (EMO)  
M. Sıtkı Çiğdem (EMO)  
Funda BAŞARAN (EMO)  
Mustafa ÖZTÜRK (EMO)

EDİTÖRLER

Fatih CANATAN

Mehmet Mete BULUT

## 50 Hz Alternatif Gerilimde Düzgün Olmayan Alanda %1 SF<sub>6</sub> İçeren Kuru Havanın Delinme Dayanımı

Ö. KALENDERÜ, K. MARDİKYAN  
İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü  
80626 - İSTANBUL

### ABSTRACT

*AC breakdown strength of dry air and a mixture of dry air+SF<sub>6</sub> containing 1% of SF<sub>6</sub> were studied. For this purpose 50 Hz AC breakdown voltages in non-uniform fields up to a relative pressure of 400 kPa were measured. Test results show that the addition of 1% of SF<sub>6</sub> to air increases the breakdown voltage up to 300 kPa in a non-uniform field. Experiments show that the mixture of dry air+1%SF<sub>6</sub> with an AC breakdown strength approximately the same as SF<sub>6</sub>.*

### GİRİŞ

Hava hemen hemen tüm yalıtımların kaçınılmaz gaz ortağıdır. Kolay ve çok bulunan ve de ucuz bir gaz olan havanın delinme dayanımı pek çok yalıtkan gaza göre düşüktür. Her gaz gibi havanın da düzgün olmayan alandaki delinme dayanımı, elektrot geometrisi, gerilim türü, gerilim dalga şekli, gaz basıncı ve sıcaklığı gibi pekçok etkene bağlıdır. Gazların delinme dayanımına etki eden etkenlerle ilgili çalışmalar bu bağıllığı ortaya koymaktadır [1-3]. Çalışmaların ağırlık noktasını teknolojik ve ekonomik bakımdan uygun çözümler üretmek oluşturmaktadır. Bu arayışlar içinde gazların ikili ve daha çoklu karışımlarını kullanmak ta ele alınan çözümlerdendir [4-8]. Böylelikle teknik özellikleri çok iyi fakat pahalı bir gaz yerine aynı özelliklere yaklaşan, ucuz bir gaz ortaya koymak çekici bir seçenek olacaktır. Bu bakımdan örneğin havanın delinme dayanımını yükseltici çözümler ekonomik ve teknolojik olarak havanın cazibesini arttıracaktır.

Kükürt hekzaflorür (SF<sub>6</sub>), uzun yıllardan beri özellikle ark söndürücü ortam olarak yüksek gerilim aygıtlarında yaygın olarak kullanılan, üstün fakat pahalı yalıtkan gazlardan biridir. Düzgün alanda saf SF<sub>6</sub>'nin delinme dayanımı aynı koşullardaki havanınkinin yaklaşık üç katıdır. SF<sub>6</sub>'nin tek başına ve diğer gazlarla karışımlarının yalıtım davranışlarının incelenmesi yüksek gerilim tekniği bakımından son yılların güncel konularındandır.

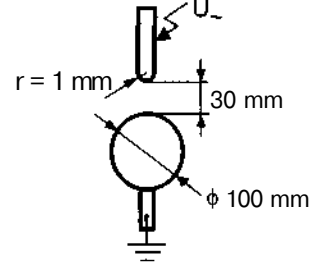
Bu araştırmalardan bir bölümü gazlara az miktarda SF<sub>6</sub> katmanın o gazın özelliklerinde yaptığı değişikliklerin incelenmesi üzerinedir. Bu konudaki son araştırmalar He, N<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> gibi gazlara az miktarda SF<sub>6</sub> gazı katmanın delinme dayanımını

özellikle düzgün olmayan alanda belirgin şekilde arttırdığını göstermiştir. Bu etki düzgün alanda daha az olarak görülmüştür [9-12].

Bu çalışmanın da amacı havaya %1 oranında SF<sub>6</sub> gazı katmanın havanın delinme dayanımını ne şekilde değiştirdiğini incelemektir. Bu amaçla, 50 Hz frekanslı alternatif gerilimde, düzgün olmayan alanda 400 kPa gaz basıncına kadar hava ve hava + %1 SF<sub>6</sub> gaz karışımının delinme gerilimleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.

### DENEY DÜZENİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Deneylerde, 1 mm yarıçaplı yarıküresel uçlu çubuk elektrot ile 50 mm yarıçaplı küre elektrottan oluşan bir çubuk - küre elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Elektrot sisteminin elektrot açıklığı 30 mm'ye ayarlanmış ve deneyler bu sabit elektrot açıklığında yapılmıştır. Bu boyutları ve elektrot açıklığı ile çalışılan elektrot sistemi, yeterince düzgün olmayan alan karakteri gösterecek bir düzen oluşturmaktadır.



Şekil 1. Çubuk-küre elektrot sistemi.

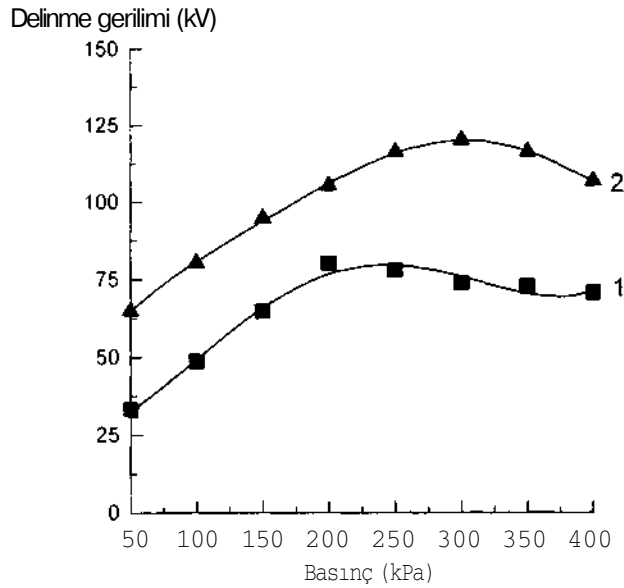
Elektrotlar 883 mm uzunluğunda, 550 mm çapında, yüksek basınca dayanıklı bir deney kabı içine yerleştirilmiştir. Çubuk elektrot yüksek gerilim kaynağına bağlanmış, küre elektrot ta topraklanmıştır.

Deneylerde, deney kabı içindeki gaz basıncı 50 kPa'dan 400 kPa'ya kadar 50 kPa'lık basınç artımları ile değiştirilmiştir. Deney kabına deney yapılacak gaz doldurulmadan önce iki saat kadar vakumlanmış ve daha sonra deney yapılacak basınca kadar gaz doldurulmuştur. Deneylerde kuru hava ve ticari saflıkta SF<sub>6</sub> kullanılmıştır.

50 Hz frekanslı alternatif gerilimler 300 kV'luk kaskad yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmiştir. Delinme gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü ve değerleri kV/V2 cinsinden gösteren bir yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür. Her basınç kademesinde, delinme gerilimi değeri, 20 delinme gerilimi ölçmesinin ortalama değerinden ve Standard sapmasından yararlanarak belirlenmiştir.

### 3. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, 30 mm elektrot açıklığı çubuk-küre elektrot sisteminde, 50 Hz alternatif gerilimle, hava ve hava + %1 SF<sub>6</sub> gaz karışımının 50 - 400 kPa basınç aralığında delinme gerilimleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Hava ve hava + %1 SF<sub>6</sub> gaz karışımının delinme gerilimlerinin gaz basıncı ile değişimi. 1: Hava; 2: Hava + %1 SF<sub>6</sub>

Deneysel havanın delinme geriliminin 200 kPa'ya kadar doğrusal olarak arttığını, 200 kPa'dan sonra ise artışın çok yavaşladığını ve doymaya girdiğini göstermiştir. Hava + %1 SF<sub>6</sub>'nın delinme gerilimi ise basınçla 300 kPa'ya kadar yaklaşık lineer olarak artıp maksimum değerine ulaşmıştır. Bu basınçtan sonra karışımın delinme gerilimi azalma eğilimi göstermiştir. Genel olarak havaya %1 oranında SF<sub>6</sub> katmak havanın delinme gerilimi eğrisini çalışılan basınç aralığında aynı oranda (ortalama 1,5 kat) yukarı ötelemiştir. Hava + %1 SF<sub>6</sub>'nın maksimum delinme dayanımına ulaştığı 300 kPa'da karışımın delinme dayanımı havanınkinin yaklaşık 1,6 katına çıkmıştır (Şekil 2).

Aynı elektrot sisteminde 250-400 kPa basınç aralığında saf SF<sub>6</sub>'nın delinme gerilimleri ölçülmüş,

sonuçlar hava + %1 SF<sub>6</sub>'nın delinme gerilimi değerlerine yakın elde edilmiştir.

SF<sub>6</sub> yüksek foton soğurma özelliği gösterir. Bu özellik ve bu özelliğin basınçla ve karışım oranı değişimi, ikincil mekanizmaları etkileyerek karışımın etkin iyonizasyon katsayısında önemli değişiklikler ortaya çıkarır.

Şekillerden görüleceği gibi havaya %1 oranında SF<sub>6</sub> katmak havanın delinme geriliminde 2,5 bara kadar olan basınçlarda belirgin bir artışa neden olmuştur. Daha yüksek basınçlarda delinme geriliminde düşme görülmektedir. Bu düşme karışımın etkin iyonizasyon katsayısının azotunkinden daha yüksek olmasının bir sonucu olarak görülebilir. Halbuki herhangi bir karışımın etkin iyonizasyon katsayısı gerçekte azotunkinden düşüktür.

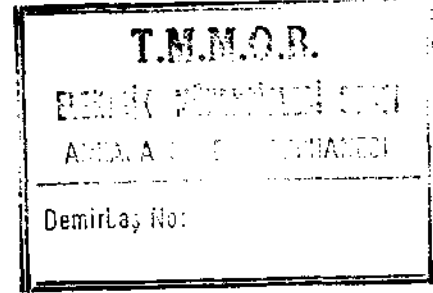
### SONUÇ

Deneysel sonuçları düzgün olmayan alanda kuru havaya %1 oranında SF<sub>6</sub> gazı katmanın delinme dayanımını önemli oranda yükselttiğini göstermiştir. Bu durum muhtemelen havadaki oksijenin varlığı ile ilgilidir. Sonuç olarak kuru havaya %1 oranında SF<sub>6</sub> gazı katarak yüksek gerilim aygıtlarında kullanımının ekonomik ve endüstriyel uygulamalar için göz önüne alınabilir bir çözüm olduğu söylenebilir.

### KAYNAKLAR

- [1] L.G. Christophorou and LA. Pinnaduwa, Basic Physics of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electrical Insul., Vol. EI-25 No. 1, pp.55-74, 1990.
- [2] T. Takuma, Discharge Characteristics of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electr. Insul. Vol.EI-21, No.6, pp.855-867, 1986.
- [3] A. Pedersen, On The Electrical Breakdown of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol.EI-24, No.5, pp.721-739, 1989.
- [4] Z. Li, R. Kuffel and E. Kuffel, Volt-time Characteristics in Air, SF<sub>6</sub>/Air Mixture and N<sub>2</sub> for Coaxial Cylinder and Rod-sphere Gaps, IEEE Trans. on Electr. Insul. Vol.EI-21, No.2, pp.151-55, 1986.
- [5] E. Kuffel and A. Yalızis, Impulse Breakdown of Positive and Negative Rod-Plane Gaps in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> Mixtures, IEEE Trans. on Power App. and Sys., Vol.PAS-97, No.6, 1978, pp.2359-2366.
- [6] A.H. Cookson and B.O. Pedersen, Analysis of The High Voltage Breakdown Results for Mixtures of SF<sub>6</sub> with CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and Air, 3rd Int. Symp. on HV Engineering, 31.10, Milan, 28-31 August 1979.

- [7] L.G. Christophorou and R.J. Van Braunt, SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures-Basic and HV Insulation Properties, IEEE Trans. on Dielect. and Electr. Insul., Vol.2. No.5, 1995. pp.952-1003.
- [8] N.H. Malik and A.H. Ôureshi, A Review of Electrical Breakdown in Mixtures of SF<sub>6</sub> and Other Gases-Plane Gaps. IEEE Trans. on Electr. Insul, Vol EI-14 No 2, 1979, pp.61-69.
- [9] K. Mardikyan. O. Kalenderli, O. Ersen, E. Canarslan, AC Breakdown Strength of N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> and a Mixture of N<sub>2</sub>+SF<sub>6</sub> Containing a Small Amount of SF<sub>6</sub>, Int. Symp. on Electrical Insulation, Montreal, 1996, pp. 763-765.
- [10] M.F. Frechette, S. Kamel, R. Bartnikas and R.Y. Larocque, Negative Corona Discharge in Air with Small SF<sub>6</sub> Content, Int. Symp. on Electrical Insul., Montreal, 1996. pp. 801-805.
- [11] Y.Qiu and E.Kuffel, The breakdown strengths of gas mixtures containing a small amount of electronegative gas in non-uniform field gaps" 7th Inter. Conf. on Gas Disch. and their applications, London, 1982.
- [12] A. Yializis, N.H. Malik, A.H. Oureshi, E. Kuffel, Impulse Breakdown and Corona Characteristics for Rod-Plane Gaps in Mixtures of SF<sub>6</sub> and Nitrogen with Less Than 1% of SF<sub>6</sub> Content, IEEE Trans. on Power App. and System, Vol.PAS-98, No.5, 1979, pp.1832-1839.



# METAL OKSİT PARAFUDRLARIN MODELLENMESİ

Levent KILIÇ Aydoğan ÖZDEMİR  
I.T.Ü.Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü  
80626 Maslak/İSTANBUL

## ABSTRACT

*Overvoltages are unavoidable obstacles of electric power systems. The most effective over/oltage protection in power distribution systems (medium voltage networks) is the use of surge arresters in the vicinity of the electrical equipment.*

*The protective characteristics of surge arresters must be improved to achieve a desired protection. Development of gapless metal oxide arresters had provided several features.*

*Surge response of metal oxide arresters are completely determined by highly nonlinear resistances of metal oxide blocks. Therefore, overvoltage protection requires an adequate modeling of those nonlinear resistances.*

*This paper presents several models and determination of model parameters for metal-oxide arresters. Determined parameters are later used in a transformer protection example and the results of EMTP simulations are compared.*

## 1. GİRİŞ

Elektrik tesislerinde kullanılan donanımlar anma gerilimlerine uygun bir yalıtım düzeyine göre tasarlanırlar. Bu yalıtım düzeyinin üzerindeki aşırı gerilimlere karşı ise, uygun koruma aygıtlarıyla korunurlar.

Günümüzün aşırı gerilimlere karşı en iyi koruma aygıtı olan Metal Oksit (MO) Parafudrlar, yalıtkan bir kılıf içine yerleştirilmiş bir dizi doğrusal olmayan (non linear) MO direnç bloklarından oluşur. Yüksek çalışma verimi, kirlenmeye karşı duyarsızlığı ve çok dik cepheli aşırı gerilimlere karşı gecikmesiz koruma sağlayabilmesi gibi üstünlükleri olan bu parafudrların tüm çalışma özelliklerini MO direnç blokları belirler.

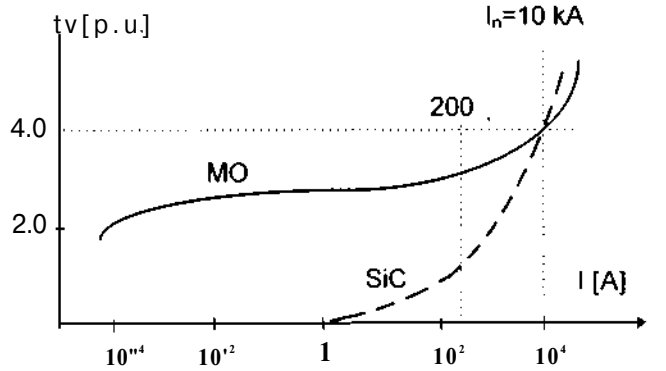
Elektrik enerji sistemlerinin çözümü için geliştirilen yazılımların, öngörülen benzetim işlevlerini doğru bir şekilde yerine getirebilmeleri için, öncelikle sistem bileşenlerinin fiziksel davranışları ile uyumlu modellerin kullanılması gerekir. MO parafudrlar, özgeçirilerinin doğrusal olmayışı ve dahası aşırı

gerilimlerin şekline bağlı oluşu (dinamikliği) nedeniyle, modellenmesi kolay olmayan bileşenlerdir.

Bu çalışmada MO parafudrların özgeçirileri ve çeşitli modelleri tanıttıktan sonra, bir orta gerilim parafudruna ilişkin deneysel verilerden çeşitli model parametrelerinin belirlenmesi gösterilmiştir. Parametreleri saptanan iki farklı dinamik parafudr modeli bir transformator koruma örneği üzerinde, EMTP yazılımı kullanılarak, denenmiştir. Heriki modele göre bulunan aşırı gerilimler ve aralarındaki farklar ve bu farkların koruma uzaklığı ile değişimi irdelenmiştir.

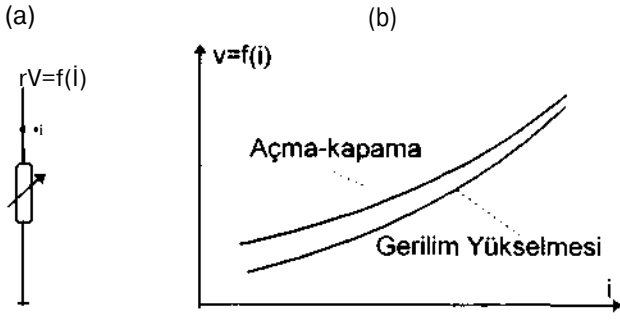
## 2. METAL OKSİT PARAFUDR ÖZGEÇİRLERİ VE MODELLERİ

MO dirençlerin akım-gerilim özgeçirileri doğrusallıktan oldukça uzaktır. Çeşitli tür ve genliklerde akımlar kullanılarak elde edilen tipik bir MO direnç özgeçirisi, SiC dirençle kıyaslamalı olarak Şekil 1' de gösterilmiştir [1]. Parafudrun davranışı farklı zaman (frekans) dilimlerinde bazı değişiklikler gösterir.



Şekil 1. 10 kA'lık MO ve SiC dirençlerin akım-gerilim özgeçirileri

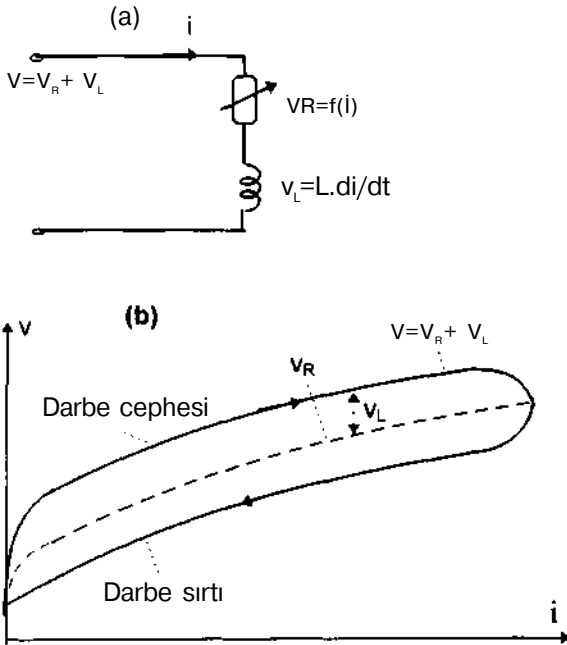
Şebeke frekanslı gerilim yükselmeleri ve iç aşırı gerilimler göreceli olarak yavaş değişen gerilimler olup, bu frekans bölgesinde parafudrun doğrusal olmayan bir dirençle statik olarak modellenmesi yeterlidir (Şekil 2) [2]. Eğrinin deneysel olarak elde edilmesinde şebeke frekanslı alternatif akımlar ve 45-60  $\mu$ s tepe süreli akım darbeleri kullanılır.



Şekil 2. Şebeke frekanslı gerilim yükselmeleri ve iç aşırı gerilimler için

- a) Parafudr Modeli
- b) Akım-gerilim özgeğrisi

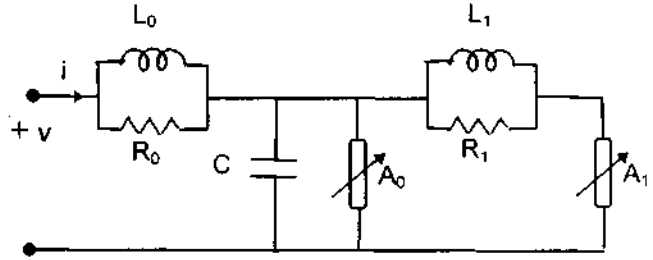
Yukarıda belirtilenlere göre daha hızlı değişen işaretler olarak kabul edilen dış aşırı gerilimler için Şekil 2'de verilen statik model yetersiz kalır. Çünkü bu frekans bölgesinde parafudrun uçlarında oluşacak gerilimin tepe değeri, içinden geçen akımın tepe değeri yanında, bu tepe değere erişme süresine (cephe eğimi) de bağlıdır. Yani parafudr uçlarındaki gerilim, akımın değerine ve değişim hızına bağlı dinamik bir karakteristik gösterir. Akımın eğimi (türevi) ile orantılı gerilim veren devre elemanının endüktans olduğu dikkate alınır, Şekil 3'deki gibi doğrusal olmayan direnç ve seri sabit endüktans ikilisi ile parafudrun doğrusal olmayan özgeğrisi ve bu özgeğrinin dinamikliği modellenebilir.



Şekil 3. Dış aşırı gerilimler için

- a) Dinamik parafudr modeli
- b) Akım-gerilim özgeğrisi

Şekil 3'de verilen en basit dinamik model, sabit bir endüktans değeri için ancak sınırlı bir frekans bölgesinde geçerlidir. Cephe süreleri 0.5-45  $\mu$ s arasında değişen geniş bir dış aşırı gerilim ailesi için bu modelleme de yetersiz kalır. Bu nedenle, daha geniş bir frekans bölgesi için Şekil 4'de verilen frekansa bağımlı model kullanılır [2,3]. Bu modelde  $A_0$  ve  $A_1$  farklı iki karakteristikli doğrusal olmayan dirençleri,  $L_0$  en basit dinamik model endüktansını, C parafudr kapasitesini ve  $R_0$ ,  $L_1$  ikilisi bir alçak geçiren filtreyi göstermektedir. Düşük frekanslarda  $A_0$  ve  $A_1$  kolları paralel bağlı, yüksek frekanslarda ise  $A_0$  kolu baskındır. Model parametreleri deneysel çalışmalarla saptanır. Bu amaçla tepe değer süresi 0.5-45  $\mu$ s olan darbe akımları kullanılarak ölçülen parafudr artık gerilimlerinden yararlanılır.



Şekil 4. Frekansa bağımlı parafudr modeli

### 3. MODEL PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ VE BİR KORUMA BENZETİMİ

Model parametrelerinin belirlenmesi için 2 numaralı referansın ekindeki MFG-B tipi bir orta gerilim MO parafudruna ilişkin laboratuvar verileri kullanılmıştır (Tablo 1). Bu deneysel verilerle en uyumlu sonuçları veren model parametreleri, EMTP benzetimleri ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak saptanmıştır [4].

Tablo 1. Çeşitli tepe değer ( $I_m$ ) ve tepe süreli ( $t_m$ ) darbe akımları için MFG-B tipi bir orta gerilim parafudrunun uçlarında oluşan gerilimin tepe değerleri ( $v_m$ )

$I_m$ / $t_m$	45 $\mu$ s	8 M.s	4 $\mu$ s	$n$ $\mu$ s
1.5 kA	0.766 p.u.	0.819 p.u.	0.824 p.u.	-
3.0 kA	0.816 p.u.	0.868 p.u.	0.890 p.u.	-
5.0 kA	-	0.912 p.u.	0.941 p.u.	-
10.0 kA	-	1.000 p.u.	1.040 p.u.	1.010 p.u.
20.0 kA	-	1.120 p.u.	1.160 p.u.	1.260 p.u.

Not:  $I_m=10$  kA ve  $t_m=8$   $\mu$ s durumundaki aşırı gerilim referans alınmıştır.



Şekil 2'deki statik modelin parametreleri (akım-gerilim özeğrisi), EMTP'nin parça-parça doğrusal parafudr modelleri kullanılarak, deneysel verilere göre karesel ortalama hatayı minimum kılacak şekilde belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu değerler, gerilim yükselmeleri ve açma-kapama gerilimleri gibi yavaş geçici olaylar için kullanılmalrı yanında, dinamik model parametrelerinin belirlenmesinde de baz alınrlar.

Tablo 2. En Uygun Statik v-i özeğrisi

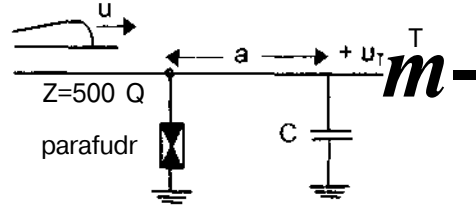
IRAI	v [V]
1	23580
10	25720
100	28070
500	31000
1000	32200
2000	33600
3000	34400
5000	35400
7500	36400
10000	37080
15000	37650
20000	38060

Şekil 3'de verilen dinamik modele ilişkin sabit endüktans değeri, Tablo 2'deki özeğri esas alınarak  $L_0=0,5$  mH olarak belirlenmiştir.  $R_0$  direnci ise, EMTP diferansiyel denklem çözüm tekniğı sonucu oluşan titreşimleri bastırmak için 50 Q mertebesinde bir değerde tutulmuştur [3].

Frekansa bağımlı modelin endüktansı, literatürde verilen  $A_0$  ve  $A$ , özeğrileri ve daha önce belirlenen  $L_0=0,5$  nH değeri kullanılarak,  $L=15,75$  mH olarak belirlenmiştir.  $R_1$  için, benzer nedenlerle, 1000 Q mertebesinde bir değeri seçilmiştir.

Son olarak farklı modellerin benzetim sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla  $Z=500$  Q dalga empedanslı bir havai hattın beslenen bir transformatör ve koruyucu parafudrdan oluşan sistem gözönüne alınmıştır (Şekil 5). 50 kV tepe-değeri, 1,2/50 (is'lik standart yıldırım darbe gerilimleri kullanılarak, iki farklı dinamik parafudr modeli için yapılan EMTP benzetimlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Model 1 ve Model 2, sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen dinamik modelleri belirtmektedir.

Tablo 3'den de görüleceğı üzere, modeller arası farklılık koruma uzaklığı ile artmaktadır. Bu farklılığın daha hızlı darbeler için daha da artacağı açıktır.



Şekil 5. Bir transformatörün parafudr ile korunması

u : Yıldırım darbe gerilimi

C : Transformatörün giriş kapasitesi = 1 nF

$u_T$  : Transformatör uçlarında oluşan aşırı gerilim

a : Koruma uzaklığı

Tablo 3. 1,2/50 (is'lik standart yıldırım darbe gerilimleri için, transformatör uçlarında oluşan aşırı gerilimler.

a [m]	$U_T$ [p.u.]		Fark [%]
	Model 1	Model 2	
2,5	0,937	0,934	0,31
5,0	1,000	0,979	2,15
10,0	1,093	1,015	7,68
15,0	1,168	1,048	11,45
20,0	1,231	1,079	14,09
25,0	1,289	1,109	16,23
50,0	1,492	1,238	20,52
100,0	1,633	1,342	21,68

Not: a=5 m'ye karşı düşen aşırı gerilim genliği referans (1 p.u.) alınmıştır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşırı gerilimlere karşı en etkili koruma aygıtı olan MO parafudrların davranışı tamamen MO direnç blokları tarafından belirlenir. Sağlıklı bir koruma için doğrusal olmayan ve dinamik bir karakteristik gösteren direnç bloklarının uygun şekilde modellenmesi gerekir. Model parametrelerinin belirlenmesinde ise olası aşırı gerilimlerin tüm özellikleri dikkate alınmalıdır.

#### 5. KAYNAKÇA

- [1]. ABB, "Dimensioning, Testing and Application of MO Surge Arresters in Medium Voltage Networks", ABB HV Technologies Ltd., Wettingen, Nov.1994.
- [2]. IEEE Working Group 3.4.11, Application of Surge Protective Devices Subcommittee, "Modelling of MO Surge Arresters", Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.1, January 1992.
- [3]. Dommel, H.W., "Electromagnetic Transients Program Reference Manual", EMTP Theory Book, Canada, 1986.
- [4]. Kılıç L, "Metal Oksit arafudrların Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1996.

# LASER TETİKLEMELİ KANAL DEŞARJ ANALİZİ

M. C. Taplamacıoğlu, \*Y. Akamine, M. S. Dinçer ve \*K. Hidaka

Gazi Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
06570 Maltepe, Ankara.

\* University of Tokyo, Department of Electrical Engineering,  
Hongo, Tokyo, Japonya.

## ABSTRACT

*In the present work, for needle-to plane and sphere to plane electrode systems; the emission spectra of the streamer between laser induced and natural streamers are observed and there is little difference between the two type streamers. The time lag betv/een the laser irradiation and the observation of the emission from the streamer is measured by shifting a focal point of the laser along the gap axis and by changing the observation point of the streamer development. From the time lag measurement, the drift velocity of initial electrons thggered by the laser irradiation and the propagating velocity of the streamer can be estimated. In a needle to plane gap of 120 mm, the electron drift velocity is  $2-4 \times 10^6$  cm/s depending on the applied voltage and the position of the streamer tip. Furthermore, the electhc field in space charge region produced by preceding corona discharges can be estimated from the relationship betv/een electron drift velocity and electhc field.*

## GİRİŞ

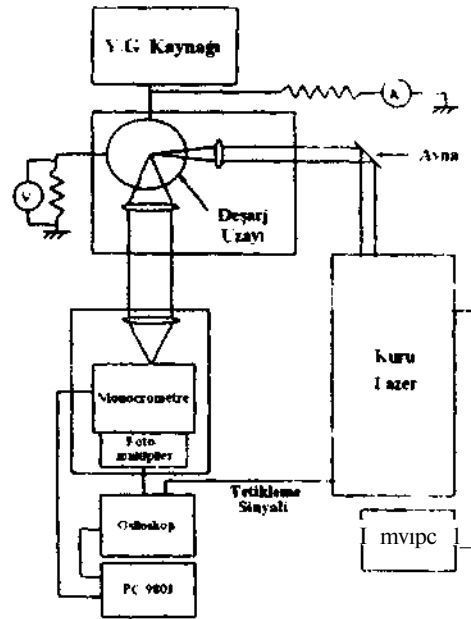
Yüksek gerilim tekniğinde kanal (streamer) deşarj analizi literatürde birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ise de hala birçok bilinmeyen karakteristikleri bulunmaktadır [1,2]. Bu çalışmada uygulanan gerilim ve elektrik alanının etkisi ile normal şartlardaki kırılma (breakdown) gerilim öncesindeki kanallar ile laser tetiklemeli kanal mekanizmaları karşılaştırmıştır.

Bilindiği üzere laser uygulamalı plasma iki grupta sınıflandırılabilir. Birincisi kuvvetli iyonizeli plasma (optik kırılmalı) ve ikincisi ise zayıf iyonizeli plasma olup az ışıklı ve düşük sesli kırılmadır. Literatürde bu konuda yapılmış daha önceki konular kanalın lazerin dalga boyuna olan bağımlılığı ve ışığın odak hacmindeki üretilen iyon sayısı ölçülmesi ile sınırlı kalmıştır [3,4]. Sunulan bu araştırmada ise laser ışını *düzgün olmayan* (nonuniform) bir geometride kararlı

bir korona deşarjı içerisine uygulanmış ve darbe (pulse) akım yoğunluğu ve kanal mekanizmasının oluşumu incelenmiştir. Laser tetiklemeli kanal mekanizmasının incelenerek doğal kanal mekanizması ile karşılaştırılması bu tebliğin temel amacıdır. Normal atmosferik koşullarda deşarj mekanizmasını çok az etkileyen zayıf iyonizeli plasma kullanılmış ve uniform olmayan iğne-düzlem ve küre-düzlem elektrod geometrileri seçilmiştir. Pozitif korona deşarjı üzerine laser darbesinin uygulanması ile anod elektrodundan düzlem elektroduna doğru bir kanal oluşturulmuştur.

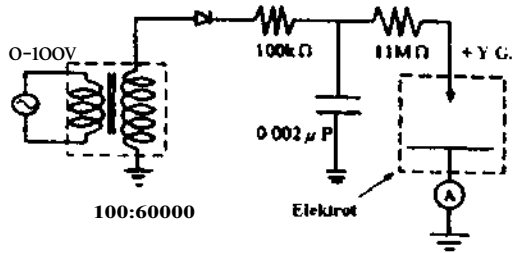
## DENEY SETİ VE ELEKTROD GEOMETRİLERİ

ölçüm seti ve bağlantıları Şekil 1 de görülmektedir.



ŞEKİL: 1 Deney seti

Normal atmosferik şartlarda korona deşarjı için oluşturulan de yüksek gerilim kaynağı deney bağlantısı (Şekil 2), iğne-düzlem geometrisi için 120 mm lik elektrod aralığı ve eğrilik yarıçapı 0.25 mm olan iğne iletken seçilmiştir. Küre-düzlem geometrisi için küre çapı 62.5 mm ve elektrod aralığı ise 10 mm dir. Her iki deney için düzlem elektrodu aynı olup, çapı 360 mm olan bir daire şeklindedir.



ŞEKİL: 2 De yüksek gerilim devresi.

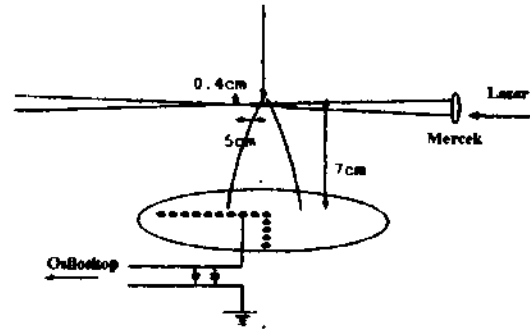
Lazerin (kuru Continuum ND-60 lazer) çıkış enerjisi 25 mJ ün altında olup dalga boyu 608 ile 614.2 nm arasında seçilmiştir. Darbe (pulse) genişliği 4-6 ns, ışın hüzmesinin odak noktası yakınındaki kalınlığı 0.7 mm olup maksimum şiddeti yaklaşık  $5 \times 10^8$  W/cm<sup>2</sup> dir. Kanallarda oluşan dağılma ve spektrumları bir monokrometre üzerinden bağlı bir fotomultiplier ile dedekte edilmiştir. Düzlem elektroduna akan akım ile fotomultiplier çıkış akımı ve lazer tetikleme zamanları, örnekleme frekansı maksimum 1 GHz olan dijital bir osiloskop tarafından kaydedilmiştir.

#### KANAL SPEKTRUMLARININ GÖZLENMESİ

iğne-düzlem geometride kararlı bir korona deşarjı elektrod aralığının 120 mm olduğu durumda gözlemlenmiş ve uygulanan pozitif  $V_0$  geriliminin 33 ile 45 kV arasındaki değerlerinde kanalların oluşum periyodları 120-250 us (tekrarlama frekansı 8-2.5 kHz) olup, artan gerilim ile artmıştır. Doğal başlamalı kanaliardaki spektrumları elektrod aralığının iğne iletkenden 4mm mesafede ve uygulanan gerilimin 45 kV değeri için 15 gözlemin ortalaması olarak alınmıştır. Aynı deney ortamında 613.62 nm ve 3 mJ lük bir lazer darbesi elektrod aralığının eksenini boyunca iğne ucunda oluşan korona deşarj bölgesine  $X = 4$  mm uzaklıktan uygulanmıştır. Lazer darbesi ile oluşturulan kanallarda akım darbeleri ve foto-amisyon pozitif korona altında gözlenmiştir, ölçüm sonuçlarının analizinde doğal kanal ile lazer uygulamalı kanal spektrumları arasında çok az bir fark olduğu gözlenmiştir (doğal kanal mekanizması için 250-350 nm lik ve lazer tetiklemeli kanallar için 350-450 nm lik spektrumlar gözlemlenmiştir).

#### AKIM YOĞUNLUĞU DAĞILIMI

Katod (düzlem elektrod) yüzeyinde akım-yoğunluğu dağılımı ölçümleri öncelikle başlangıç elektronlarının sadece lazerin odak noktasında mı veya lazer ışın yolu boyunca mı üretildiğini belirlemek için yapılmıştır. Daha önceki bir araştırmada, başlangıç elektronlarının lazer darbe ışın yolu boyunca üretildiği durumda korona deşarjı neticesindeki uzaysal akım dağılımının değiştiği gözlenmişti [5]. Bu çalışmada, düzlem elektroduna 4 mm çapında 10 ölçüm probu aralarında 7.2 mm olacak şekilde ve lazer ışınına paralel ve dik olacak yönde Şekil 3 te görüldüğü gibi konumlandırılmıştır.



ŞEKİL:3 Ölçüm setinde akım problemlerinin yerleşimi

Elektrod aralığı 70 mm olarak seçilmiş ve 33 kV luk pozitif de gerilim iğne elektroda uygulanmıştır. Lazer darbeleri 610 nm dalga boyunda ve 20 mJ lük enerji ile aralığa dik olacak şekilde uygulanmıştır. Lazer ışını yolunun yüksekliği anodtan 4mm aşağıda ve odak noktası aralık ekseninden 50 mm uzağa ayarlanmıştır. Akım darbeleri sürekli olarak değişik ölçüm elektrodlarından gözlenmiş ve akım darbeleri yükseklikleri arasındaki farktan kanal mekanizmasını tetikleyen başlangıç elektronlarının lazer ışınımı boyunca üretildiği gözlenmiştir.

#### KORONA DEŞARJI BAŞLANGIÇ ELEKTRONLARI SÜRÜKLENME HIZI

Lazerin uygulanması ile odak noktasında üretilen başlangıç elektronlar anoda doğru sürüklenmeye başlarlar. Elektrik alan şiddeti elektron çıkışı başlatacak değere ulaştığında elektron sayısı N artmaya başlar ve bu değer yaklaşık  $10^6$  değerine ulaşırsa çığ mekanizması kanala dönüşür. Verilen geometride lazer ışınının odak noktası 'X' elektrod



## SONUÇLAR

Kanal mekanizmasını incelemek üzere başlangıç elektronlarının yukarıda belirtildiği şekilde incelenen bölgede üretilmesine lazer tetikleme metodu adı verilmiştir. Kanal mekanizması normal atmosferik koşullarda incelenmiş ve doğal kanal mekanizması ile lazer tetiklemeli kanal deşarjları spektrumları arasında çok az bir farklılık olduğu görülmüştür. Korona deşarjında elektronların sürüklenme hızı literatürde verilen değerlerle uyumlu olup, deşarj neticesinde oluşan uzay yükünün Laplas elektrik alan dağılımını değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Küre-düzlem geometrisinde, elektrik alanı 29-38 kV/cm değer aralığında, elektron çığ hızları 14-17 x 10<sup>6</sup> cm/sn olarak saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar lazer tetikleme metodu ile elektron çığ hız ölçümünün ve elektrik alan dağılımının hassas aralıkta saptanmasını ve değişik geometrilere de uygulanabileceğini açıklamaktadır. Küre-küre elektrod

geometrisi gelecek çalışmanın konusu olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK'ın Dr M.Cengiz Taplamacıoğlu'na vermiş olduğu Doktora sonrası araştırma bursu ile Japonya'da Tokyo Üniversitesinde gerçekleşmiştir.

## KAYNAKLAR

[1] M. Miki, Y. Aihara and T. Shindo, "Model experiments of laser-triggered lightning", 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, No: 7207, 1991.

[2] A.H. Guenther and J.R. Bettis, "The laser triggering of high-voltage switches". J. Phys. D: Appl. Phys. 11, 1978.

[3] M. Laan and P. Paris, "The multi-avalanche nature of streamer formation in in-homogeneous fields", J. Phys. D; Appl. Phys. 27, pp. 970-978. 1994.

[4] N. Soulem, R. Peyrous and B. Held, " Laser-Induced Current, Impulse in a Low Pressure Point-to-plane Discharge" 11<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharge and Their Applications, pp 166-169,1995

[5] N. Soulem, P. Pignolet, R. Peyrovs, B. Held. J.F. Loiseau, " Laser investigation of positive point-to-plane corona discharge in ambient air ". 10<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharge and Their Applications. pp. 286-289, 1992.

[6] J. Dutton, " A Survey of Electron Swarm Data" J Phys Chem. Ref Data, Vol.4, No.3, p 607 1975

# OPTİK SENSÖRLE YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM TEKNİĞİ

M. C. Taplamacıoğlu, \* J. C. Santos ve \*K. Hidaka

Gazi Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
06570 Maltepe, Ankara.

\* University of Tokyo, Department of Electrical Engineering  
Hongo. Tokyo, Japonya.

## ABSTRACT

*Optical measurement techniques of voltage and electric field using electro-optic effect have many advantages. These are; the sensor produces limited disturbance of the measured field, has a good frequency response over the range up to 1 GHz and the sensor requires no power source. Pockels sensors have been recently incorporated into electrical power transmission and distribution lines for monitoring voltage. In addition, they have been successively applied to the measurement of not only electrostatic fields but also space charge fields in electrical discharges. Normally, optical voltage sensors can not measure directly potentials higher than 5 kV. This paper describes the concept of a new optical high voltage measuring technique allowing the construction of optical voltage transformers (optical VTs) able to be directly submitted to high voltages of 500 kV (eve). The design of a multi-segmented Pockels sensor system and development and the preliminary tests of the prototype are here described. Finally, the results obtained from ac, dc and impulse voltage tests are presented.*

## I. GİRİŞ

Güç sistemlerinde yüksek gerilimin ölçülmesi genellikle elektromagnetik gerilim transformatörleri (VT), bazı durumlarda kapasitif ve rezistif gerilim bölücüleri ile yapılmaktadır. Günümüzde elektrik güç sistemlerinde gerilim seviyesi yükselmeye devam etmektedir ve birçok pahalı ve gürültüye hassas elemanlar bu sistemlerin kontrolünde, korunmasında ve izlenmesinde kullanılmaktadır. Dolayısı ile geçici durumlara tepkisi (transient response) ve elektromagnetik etkileşimleri gerilim transformatörlerinin dizayn ve çalışmasına çok sıkı standart ve regülasyonları sunmuştur [1]. Ayrıca elektronikteki ve optik alanlardaki yeni gelişme ve tekniklerin uygulanması elektromagnetik gerilim transformatörlerine karşı yeni alternatifleri gündeme getirmiştir. Son zamanlarda Optik fiberlerin optik

gerilim sensörleri ile birlikte kullanılması gibi elektro-optik tekniklerin birçok avantajları vardır [2,3]. Bu avantajlar; tümüyle dielektrik konstrüksiyon ve elektriksel izolasyon, elektromagnetik gürültüye karşı bağımsızlık, küçük boyutlar, hafiflik ve geniş frekans aralığında ölçüm yapabilmesi şeklinde sayılabilir. Ancak optik ölçüm tekniğindeki en büyük problem elektrik sistemlerinde ölçülecek gerilim seviyeleri karşısında elektro-optik sensörlerin yüksek hassasiyetleridir. Normal olarak mevcut optik gerilim sensörleri potansiyel değeri 5 kV'un üzerini direk olarak ölçemezler [4], Sunulan bu çalışmada, yeni bir optik yüksek gerilim tekniği ile 500 kV seviyesine kadar gerilimi direk olarak ölçen bir optik gerilim transformatörünün dizaynı ve uygulaması verilmiştir. Çok-parçalı (multi-segmented) Pockels sensörü dizayn edilmiş, sensor üzerinde elektrik alan dağılımı bir yük simülasyon nümerik metodu kullanılarak hesaplanmış ve ilk testleri yapılmıştır. Bu optik gerilim transformatörü, yüksek kaliteli bir gerilim bölücüsüyle paralel olarak laboratuvar ortamında test edilmiş, dalga şekilleri ve performansları karşılaştırılmıştır.

## II. ELEKTRO-OPTİK MODÜLASYON PRENSİBİ

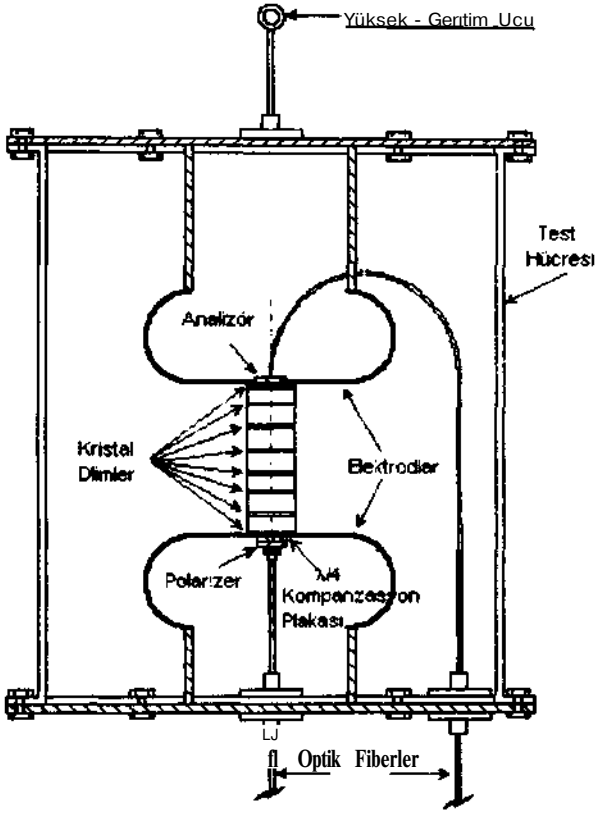
Bazı malzemelerin optik kırılma (refraktif) indeksleri, üzerlerine elektrik alan uygulandığında değişir. Bu elektro-optik etkidir. Refraktif indeks uygulanan elektrik alanı E cinsinden bir güç serisi şeklinde açıklanabilir. [4]

$$n = n_0 + aE + bE^2 + \dots \quad d)$$

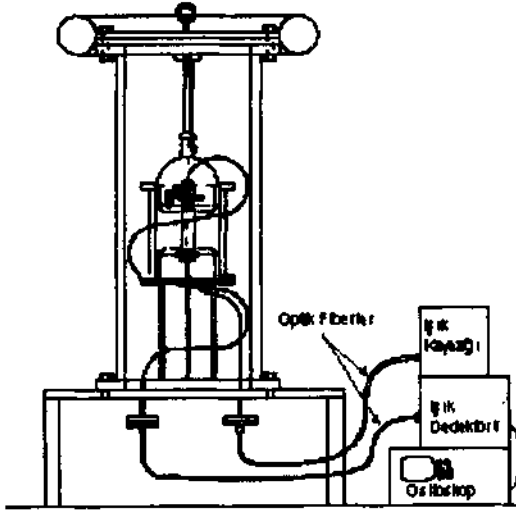
Burada  $n_0$  elektrik alanı uygulanmadığında doğal kırılma indisi, "a" ve "b" ise elektro-optik etkinin katsayılarıdır. (1) numaralı denklemin sağ tarafındaki elektrik alanının lineer bağımlılığı Pockels etkisi. 3. terim karesel (ikinci dereceden bağımlılık) olup Kerr etkisi olarak tanımlanır [3]. Daha yüksek dereceden ( $E^3$  ve üzeri) terimler ise refraktif indeks  $n_0$ 'ye az etki ettiklerinden ihmal edilebilir.

Optik modulatörde uygulanan elektrik alanı ve ışık hızının yönü birbirlerine paralel veya dik olabilir.





ŞEKİL: 3 Test hücresinin açık şeması.



ŞEKİL: 4 Ölçüm seti şematik görünümü.

Mevcut sistemdeki  $V_x$  değeri;

$$V_x = k [n d_1 + e_1 / E_2 (n-1) d_2] / 2 n_0^3 r_{41} n d, \quad (5)$$

olacaktır. Sistemde  $d = 110 \text{ mm}$ ,  $d_1 = 1 \text{ mm}$  ;  $= 632.8 \text{ nm}$ ,  $\zeta_2 = t_0$ ,  $n = 8$   $\epsilon = 16\epsilon_0$ ,  $n_0 = 2.098$  ve  $r_{41} = 1.03 \times 10^{-12} \text{ m/A}$  olduğundan, hesaplanan  $V_x$  değeri tek bir BGO kristalin yaklaşık 200 katıdır.

#### IV. BAŞLANGIÇ PERFORMANS TESTLERİ

Bu optik sensör sisteminin temel amacı yüksek gerilimin herhangi bir yardımcı cihaz kullanmadan direk ve hassas olarak ölçümü olduğundan, değişik dalga şekillen ve frekanslarda gerilim uygulanmadan önce şu iki on test yapılmıştır

- SFs dolu fanusun sızdırmazlık testi,
- Deney elektrod setinin voltaj testlerinde kırılma (breakdown) gerilimi öncesinde taşıyabileceği maksimum gerilim değerinin belirlenmesi testidir

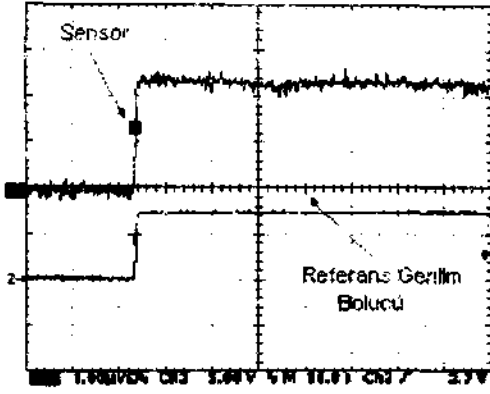
İlk test SF<sub>6</sub> gaz dolu ortamın içerisinde oluşabilecek yüksek değerli elektriksel kırılmalardan sonra saflığını muhafaza etme kapasitesi için gereklidir. Bir vacuum pompası ve hassas bir basınç ölçer ile akrilik fanus içerisindeki basınç 0.1 Torr basınca kadar düşürülmüş ve sonra SF<sub>6</sub> gaz\* 1 Atmosfer değerine kadar doldurulmuştur

Kırılma öncesi elektrod sisteminin taşıyabileceği maksimum gerilimin tespiti için Pockels sensör elementlerinin yerine cam bir çubuk yerleştirilmiş ve Standard yıldırım darbe gerilimi (1.2/50  $\mu\text{s}$ ) sensör sistemine her gerilim değerinde 10 kez tekrarlanmak sureti ile kırılma değerine ulaşana kadar artırılmıştır. Bu şartlarda gerilimin 500 kV a kadar değerinde herhangi bir kırılma gözlenmemiştir. Bu netice nümerik simülasyon ile tahmin edilen değerlerle uyum içindedir. 1 atmosfer basınç altında ve düzgün bir elektrik alanı içerisinde SF<sub>6</sub> gazının kırılma elektrik alan değeri 90 kV/cm olup aynı şartlardaki hava için olan değer yaklaşık üç katıdır. Ayrıca eğer daha yüksek değerde bir kırılma gerilimine ulaşmak istersek iki olasılık mevcuttur. Ya fanus içerisindeki basıncı veya elektrodlar arasındaki mesafeyi arttırabiliriz. Mevcut gerilim değeri (500 kV) pratik güç sistemlerindeki limit voltaj değerini içerdiğinden araştırmamızda yeterli bulunmuştur.

#### V. GERİLİM ÖLÇÜMLERİ

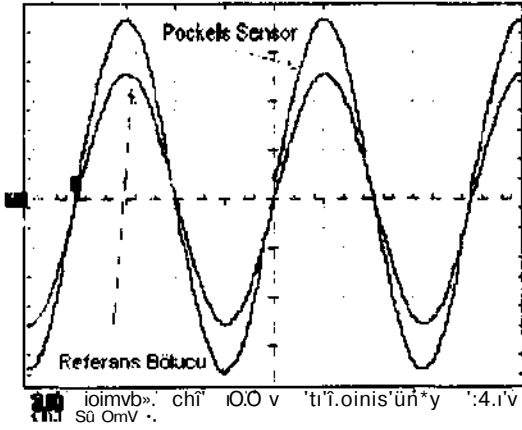
Sensör sisteminin elektriksel karakteristiğinin detaylıca çıkarılması açısından de, ac ve yıldırım darbe olmak üzere üç tip gerilim dalga şekli uygulanmıştır. De gerilim ise 50-250 kV aralığında ve bir saatten uzun bir süre ile sisteme uygulanarak kaydedilmiştir (Şekil 5).





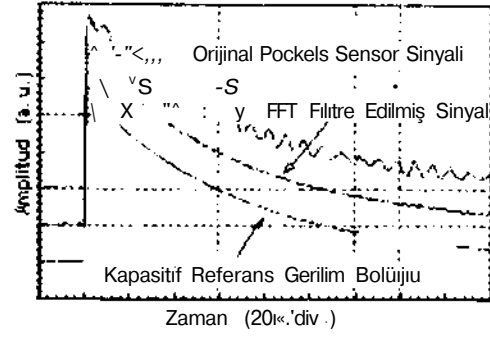
ŞEKİL 5 Ölçülen de voltaj sinyali

Ac gerilim testi optik sensöre kapalı tip bir test transformatöründen 50 Hz frekans ve 50 kV ile 250 kV gerilim aralığında kademeli kademeli artırılarak uygulanmıştır (Şekil 6).



ŞEKİL 6. Osiloskopta gözlenen ac sinyal çıkışı.

Gaz izoleli kapalı cihazların hızlı anahtarlama durumlarında dolaşan dalgalar haricinde yıldırım darbe gerilimleri güç sistemlerinde gözlenen en hızlı geçici (transient) dalga şekilleridir. Bu tür gerilimin yükselme zamanı 1-1.2 us ve kuyruk eğrisinin yarı değerine düşme zamanı 48-50 us dir. Bu dalga şeklinde sensörün karakteristiğini hesaplamak önemli olduğundan 50 kV ile 400 kV değerleri arasında darbe gerilimi sisteme uygulanmış ve dalga şekilleri osiloskopa kaydedilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü gibi, Pockels kristalindeki piezoelektrik etkiden dolayı oluşan mekanik titreşimler neticesinde gözlenen titreşimsel (oscillatory) sinyal, bir Fast Fourier Filtre tekniği [5] ve ölçülen sinyalden bu etki uzaklaştırılmıştır.



ŞEKİL: 7 Orijinal ve filtre edilmiş darbe gerilim sinyali.

## VI. SONUÇLAR

- i) Bir optik Pockels optik sensörü çok dilimli şekilde dizayn edilmiş yüksek gerilimin ölçümü direk olarak gerçekleştirilmiştir.
- ii) Sensörde de gerilim ölçümleri referans gerilim bölücüsü ölçümleri ile paralellik göstermiştir.
- iii) Ac gerilim ölçümlerinde sensör çıkışı uygulanan gerilim ile güzel doğrusallık göstermiş ve teorik hesaplanmış değerler ile uyum içinde olduğu saptanmıştır.
- vi) Darbe gerilimi ölçümlerinde sensör çıkışındaki sinyalin kuyruk kısmındaki titreşimsel (oscillatory) bileşenler bir dijital filtre tekniği uygulanarak elimine edilmiştir.
- v) Mevcut sensör sistemi ile gerilim ölçümleri 400 kV a kadar ve frekans aralığı da den MHz seviyesine kadar hassas olarak gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] D. Kind, An Introduction to High-Voltage Experimental Technique, text book for engineers, Braunschweig: Friedr. Vieweg&Son, pp. 3-13, 1978.
- [2] T. Sawa, K. Kurusawa, T. Kaminishi and T. Yokota, "Development of optikal instrument transformers", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 5, No.2, pp. 884-889, April 1990.
- [3] A. Yariv and P Yeh, Optical waves in crystals, NewYork: John Wiley, p.280, 1984.
- [4]K. Hidaka, "Progress in Japan of Space Charge Field Measurement in Gaseous Dielectrics Using a Pockels Sensor", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 12, No.1, pp 17-28, January/February 1996.
- [5] M.T. Jong. Methods of discrete signal and system analysis, New York: McGraw-Hill, pp. 249-375,1982.

# Electrical Effects Stimulated by the Electro-heat Treatment in the Multiphase Dielectrics

A.O. ORUDZHOV  
Azerbaijan Technical University  
G. Javid avenue - 25, Baku 370073, Azerbaijan

## ABSTRACT

It is experimentally shown, that the electro-heat treatment of polymer materials leads to the formation of electrical effects in their and the change of their physomechanical properties. The electro-heat treatment of polyolefins in the liquid nitrogen stimulates in their the thermal luminescence, polarization and the change of the chemical structure of macromolecules. Macromolecules polarize by the formation of C=O groups. It is found, that the intensity of the thermal luminescence increases and the mechanical durability decreases with a growth of C=O groups.

A complex investigation of the change of electrophysical properties of polymer dielectrics stimulated by the electro-heat treatment acquires great significance in connection with an elaboration of active dielectrics on the basis of polymers dispersed by piezoparticles.

Synchronous measured curves of the thermal stimulated depolarization (TSD) and electro-heat luminescence (ETL) of polyethylene (PE) charged under the action of the electric field in the liquid nitrogen during 3 min. showed, that on ETL curve are sharply observed four luminescence maxima at 98, 110, 132 and 205 K connected with processes of the electron release from traps with following their recombination with ions.

Temperature ranges, where is observed the luminescence maximum correspond to relaxation transitions of the polymer structure. It shows, that at the certain value of applied electric field charge carriers are injected in the polymer and they are stabilized at various traps. Trapping levels are set out in the quasiforbidden band of the polymer. Maxima or bends of TSD current are formed on which establish that not all charges are recombined in relaxation transitions and a part of their are transported in a volume under the action of an internal field except of ETL maxima at temperature ranges where takes place the relaxation of the structure. Thus, the application of the strong electric field at low temperatures leads to the stimulation of the electro-heat luminescence in polymers and the formation of space charges in their. In Fig. 1. are presented dependences of ETL and

contents of C=O groups on the time of a preliminary treatment of the polymer under the action of the electric discharge.

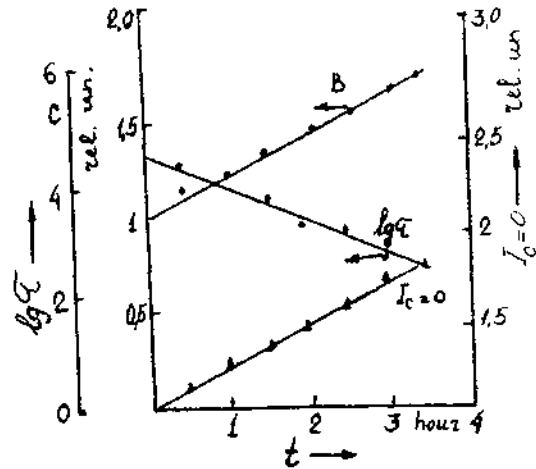


Fig.1. Dependences of ETL luminosity the content of C=O groups and the logarithm durability of HDPE on the time of the treatment by the discharge. The durability is measured at the mechanical stress  $\sigma=75$  MPa,  $T=77$  K.

A preliminary oxidation is carried out by the treatment of PE films under the action of the barrier discharge in atmosphere and controlled by measuring of the content of C=O groups for the characteristic band or  $1710\text{ cm}^{-1}$  in IR-absorption of films. It has been found, that with oxidation (the increase of the concentration of carbonyl group) the luminance of ETL increases. The mechanical durability ( $\lg r$ ) with the increase of the luminance of ETL and the concentration of C=O groups is decreased.

Investigations of electrophysical effects stimulated by the electric field in two and multiphase dielectrics are of special interest. In Fig. 2 are presented changes of the mechanical durability in conditions of the action of the strong electric field of composites on the basis of polypropylene (PP) and active and nonactive inorganic fillers: piezoceramic (PZT-19), calcium-titanate ( $\text{CaTiO}_3$ ) and silicon-oxid ( $\text{SiO}_2$ ). It is seen, that the electric field decreases distinctly the durability, moreover the effect of decrease of the durability depends on properties of fillers.

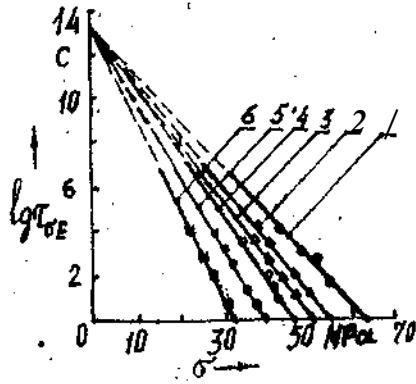


Fig. 2. Dependence of  $\lg T_{0E}=f(a)$  of composites:

1. PP+10 vol.% PZT-19,  $E=0$ .
2. PP+10 vol.% PZT-19,  $E=15$  MV/m.
3. -PP+10 vol.%  $\text{CaTiO}_3$ ,  $E=0$ .
4. -PP+10 vol.%  $\text{CaTiO}_3$ ,  $E=15$  MV/m.
5. -PP+10 vol.%  $\text{SiO}_2$ ,  $E=0$ .
6. -PP+10 vol.%  $\text{SiO}_2$ ,  $E=15$  MV/m.

The obtained results allow to do following conclusions:

1. Composites on the basis of an active fillers (PZT-19) or high-polar dielectrics with piezoelectric properties have the high mechanical durability both at  $E=0$  and at  $E \neq 0$ .
2. The decrease of the mechanical durability in the condition of the action of the electric field in composites based on the active filler is smaller.
3. The high mechanical durability at  $E=0$  in the composite PP+PZT-19 shows (testifies) to the intensification of the interphase interaction and the improvement of the supermolecular structure of the polymer phase between filler particles in this composite in comparison with PP+ $\text{CaTiO}_3$  and PP+ $\text{SiO}_2$  composites.
4. The decrease of the mechanical durability at  $E \neq 0$  in PP+PZT-19 composites in comparison with PP+ $\text{CaTiO}_3$  and PP+ $\text{SiO}_2$  composites is connected with polarization effects and the trapping of charges, disturbing of the macromolecule in composites based on PZT-19. The reveal of the mechanism of this effect has principle significance in the production both of a passive composites and an active composites with various purposes. Therefore in the future we will pay attention to the detailed study of this question.

# Influence of the Polarity of the Polymer Matrix on Thermal, Electric and Mechanical Properties of Composites on the Basis of Polymers-Nitrides and Carbides of Metals

KH.S. ALIEV, M.A. KURBANOV, A.O. ORUDZHOV, Z.A. ALLAKHVERDIEV, S.N. NIFTIEV, LA. FARADZ-ZADE  
 Azerbaijan Technical University  
 G. Javid avenue - 25, Baku 370073, Azerbaijan

## ABSTRACT

*Results of the investigation of the heat conduction and electrophysical properties of composites on the basis of polyolefins and nitrides and carbides of metals are given. It is shown, that the increase of the polarity of macromolecules of powdered polyolefins by the action of the electric discharge in atmosphere leads to the rise of the thermal conductivity and mechanical properties of composites. This effect is explained by the intensification of the interphase interactions due to the polarity of macromolecules and the formation of chemical bands between the macromolecule and filler particles surfaces.*

The used sealing materials in radio and electrical engineering must be characterized with the great efficiency of the heat abstraction and high insulating properties. Inorganic fillers with various dispersivity are involved into polymers in order to increase their heat conduction. Inorganic fillers abruptly change the supermolecular structure of the polymer and by own heat conduction increase the thermal conductivity of the composite as a whole.

The great potentials of unique packages of thermal, electric, mechanical properties and the structure of the polymer and nitrides-carbides of metals make the composite system of polymer-nitrides and carbides of metals advantageous materials for the creation of heat conductive dielectrics. Such an approach gives the special importance to the determination of the contribution of structure, thermal and electric parameters of separate phases and phenomena on the phase boundary of the polymer-particles of nitrides and carbides of metals in the formation of heat conductive properties of composites. In this work results of the investigation of the above-mentioned properties of composites obtained on the basis of polar polymer polyvinylchloride (PVC) and low-density polyethylene (LDPE) are carried out. Then by the treatment of LDPE in the condition of the action of the electric discharge the influence of acquired polarity on the heat conduction and physico-mechanical properties of composites is studied.

For more detail reveal of the role of the acquired polarity of the polymer phase LDPE powders have been previously treated in conditions of the action of the electric discharge and then composites on its

basis with the use of BN and AlN fillers have been obtained. We consider, that in conditions of the action of the electric discharge in PE the oxidative breakdown processes develop actively and cause pollution groups of C=O, C O, -C-O-C- in its macromolecule. In order to find out causes of the rise of the thermal conductivity of composites changes of infrared (IR) spectrum of PE treated by the discharge have been investigated. After the discharge in IR-spectrum of PE bands of carbonyl C=O ( $1700-1750\text{ cm}^{-1}$ ), hydroxyl OH ( $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ ) groups and double hydrocarbon OC bonds ( $1640\text{ cm}^{-1}$ ) appear. IR absorption rises in regions of  $1120\text{ cm}^{-1}$  (ozonides) and  $1280\text{ cm}^{-1}$  (ether cat walks). The intensity of growth of new bands in IR-spectrum of LDPE substantially depends on the power and time (t) of the discharge action. The power of the discharge is varied by changing of the voltage (U) amplitude impressed to the test cell.

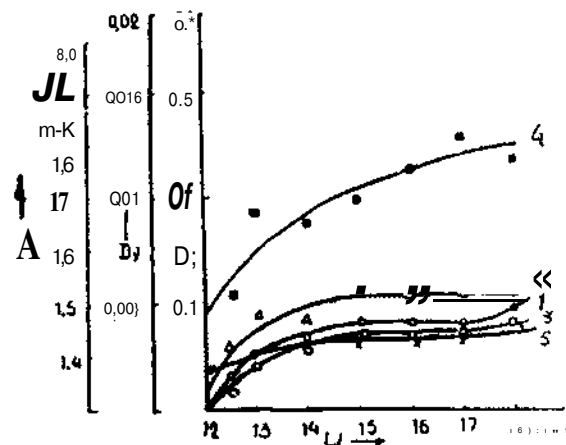


Fig.1. Dependences of the thermal conductivity ( $k$ ) and the optical density ( $D_T$ ) on  $U$ .  $t = \text{const}$ .  
 1 -  $D_T$  in the band of  $1230\text{ cm}^{-1}$ ; 2 -  $D_T$  in the band of  $1650\text{ cm}^{-1}$ ; 3 -  $D_T$  in the band of  $1735\text{ cm}^{-1}$ ;  
 4 -  $D_T$  in the band of  $3380\text{ cm}^{-1}$ ; 5 - X.

it is necessary to estimate changes of the intensity of the above-mentioned bands and the thermal conductivity of composites depending on  $U$  and  $t$  for the reasonable choice of treatment conditions. Till present the role of each of these groups in the change of the thermal conductivity of polyolefin composites

are not studied. The comparison shows, that there is the certain correlation between dependences of  $x=f(U)$  and  $v=f(U)$ , corresponding to polar oxidizer groups of C=O and C-O-C (fig 1.). The sufficient correlation between the magnitude of  $X$  and the intensity of C=O, C-O-C, OH groups is found. It is seen, that for choosed  $t$  the regularity of change of  $X$  from  $U$  practically coincides with changes of IR-absorption intensity of polar C-O-C, C=O and OH groups on  $U$ .

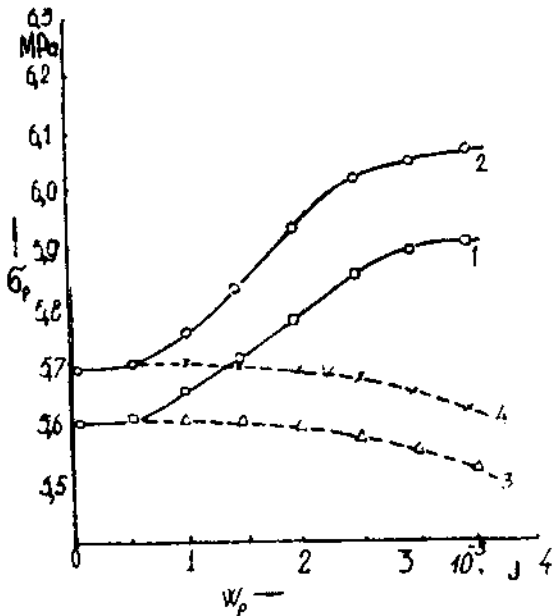


Fig. 2. Dependence of  $a_p$  on  $W_p$ . 1 - LDPE + 70% mass BN; 2 - LDPE + 70% mass AlN; 3 and 4 - LDPE + 70% mass BN and LDPE + 70% mass AlN (treated by the discharge), correspondingly.

The lacing of molecular chains ( the formation of space gauze) of polymers decreases the mobility of macromolecules and therefore makes difficult the dispersal of the heat energy defining of the magnitude of  $X$  of the composite. Macromolecules with polar groups tend to the formation of Chemical bonds with the filler particles surface and thereby the change of relaxation processes on the phase boundary. In this case arise chances of the formation of chemical bonds with the filler surface and the intensification of the interphase interaction. Really the strong electric field maintaining the orientation of polar groups to the filler particles surface may arise near polar groups and thereby change the polymer structure. The orientation of several neighbouring polar groups in the polymer chain to the filler surface may cause the improvement of the condition of the formation of chemical bonds on the phase boundary.

The change of the spectrum of thermodepolarization current (TSD) of HDPE+BN composite, obtained on

the basis of HDPE (high-density polyethylene) treated by discharge is the confirmation of this.

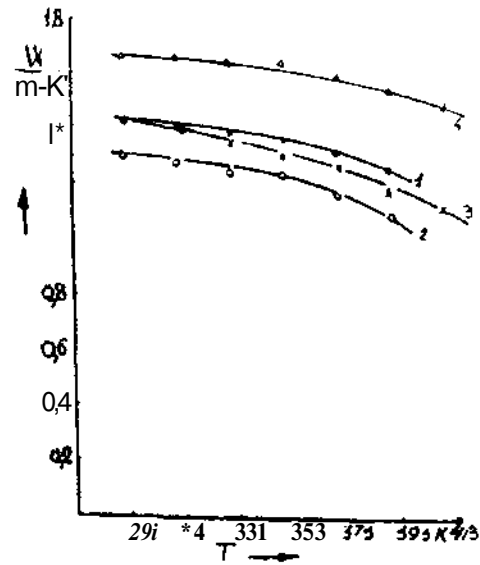


Fig. 3. Temperature dependence of  $X$ . 1 - LDPE + 70% mass BN; 2 - LDPE + 70% mass AlN; 3 and 4 - LDPE + 70% mass AlN and LDPE + 70% mass BN (treated by the discharge), correspondingly.

It is was found, that in TSD-spectrum of the composite on the basis of treated HDPE is observed the distinct growth of the amplitude and width of the second maximum of TSD current, corresponding to the relaxation of charges on the phase boundary. It shows, that the discharge treatment increases the concentration of the localization centre of charges responsible for the maximum of TSD. Experiments show, that with the increase of the concentration of polar groups (C=O, C-O-C) the amplitude of the maximum of TSD current and  $X$  rise, and it shows the interconnection of processes of the formation of strong polar groups and growth of the thermal conductivity of the composite. From curves of TSD current by the method of initial inclination the activation energy of the trapping centre of charges on the phase boundary depending on the condition of the treatment has been found. In our experiments it is changed from 0,6 to 0,82 eV.

The regularity of the change of the mechanical strength of composites from the energy of the discharge-treatment shows, that processes developing on the phase boundary increase the mechanical strength of the composite. The increase of  $a_p$  with  $w_p$  of composites (Fig. 2), obtained on the basis of LDPE powder previously treated shows, that the discharge treatment leads to the intensification of

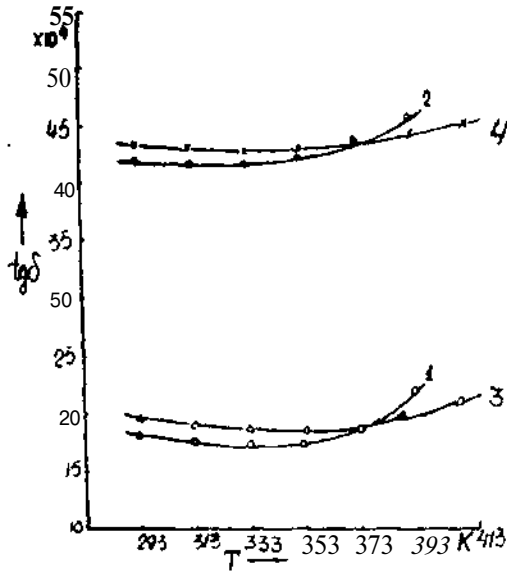


Fig. 4. Temperature dependence of  $tg\delta$ . 1 - LDPE + 70% mass AlN; 2 - LDPE + 70% mass BN; 3 and 4 - LDPE + 70% mass AlN and LDPE + 70% mass BN (treated by the discharge), correspondingly.

the interphase interaction. This is the extremely important result in the elaboration of high effective heat conductive composites with high physico-mechanical properties.

Temperature dependences of  $X$ ,  $tg\delta$  and the deformation (Fig. 3, 4, 5) also indicate to the intensification of the interphase interaction in composites on the basis of LDPE treated by the discharge: temperatures growth of  $tg\delta$ , the deformation and the drop of  $X$  increase. It is necessary to note, that the electrical strength of

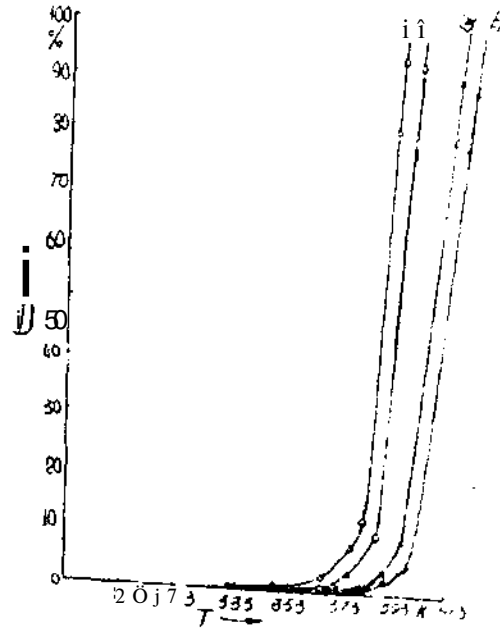


Fig. 5. Temperature dependence of the deformation,  $\epsilon$  (D). 1 and 2 - LDPE + AlN and LDPE + BN (untreated), correspondingly, 3 and 4 - LDPE + AlN and LDPE + BN (treated by the discharge), correspondingly.

composites on the basis of the polymer previously treated by the discharge, the filler is practically equal to the electrical strength of untreated composites.

In conclusion we note, that though the effect of the discharge treatment has been experimentally found, but definitely predicting of the effect of this effect still waits for its solution.

# Influence of the Electret State of the Polymer Phase on the Piezoelectric Effect in the Polymer-Piezoelectric Composite

A.O. ORUDZHOV  
Azerbaijan Technical University  
G. Javid avenue - 25, Baku 370073, Azerbaijan

## ABSTRACT

*Results of investigations of the influence of the electret state of polymers on piezoelectric characteristics of composites produced on the basis of their are given. It is experimentally shown, that an existence of high-concentration surface traps in a polymer phase limits an injection of charges to piezoparticles boundaries. The decrease of the boundary charges magnitudes leads to a noneffective polarization of the piezophase and therefore the deterioration of piezoelectric properties of the polymer-piezoelectric composite. Thus a polymer phase is not a passive phase in a piezocomposite and in a choice must take account of its electron state.*

Electron and polarization properties of piezoelectric composites are distinguished from similar properties of components due to the existence of special boundaries formed as a result of interactions between piezoparticles and polymer chains. The existence of the interface layers in composites causes to the intensive polarization on the polymer-piezoelectric phase boundary. Therefore the investigation of the influence of the electret state of the polymer phase on boundary polarization processes is of great interest, since precisely these phenomena determine piezoelectric properties of the composite in the end. Experiments showed, that electrets used as a polymer matrix (polyethylene - PE, polypropylene - PP and polyvinylidene fluoride - PVDF) are arranged in order: PE, PP and PVDF with the increase of the electret charge magnitude ( $Q_e$ ). The reverse order (PVDF, PP, PE) are obtained for values of the piezoelectric modulus ( $d_{33}$ ) in composites on the basis of these polymers and piezoceramic PZT-5A (Tables 1 and 2).

Table 1. Values of the electret charge for polymers.

Polymers	$Q_d, 10^{-4} \text{C/m}^2$
PE	8,7
PP	5,4
PVDF	4,02

Curves of the thermal stimulated depolarization current (TSD) for PE, PP and PVDF polymers show,

that the magnitude of the stabilized charge is determined by properties of the polymer.

Table 2. Values of the piezoelectric modulus of composites. The volume fraction of the piezoceramic is 50%.

Composites	$d_{33}, \text{pC/N}$
PE+PZT-5A	60
PP+PZT-5A	80
PVDF+PZT-5A	120

For composites based on these polymers the process of charge stabilization is determined by interface phenomena, the polarization of piezoparticles and the concentration of electrode and boundary traps. Experiments show that PE, PP and PVDF are unstable although the magnitude of their effective surface charge density is enough high after the polarization. The magnitude of the total stabilized charge (QTSD) is determined from curves of TSD current and the electret charge ( $Q_e$ ) by the induction method with the compensation of the electret potential difference. In table 3 are given magnitudes of QTSD and  $C_u$  depending on the volume fraction ( $\langle \phi \rangle$ ) of PZT ceramic for PP+PZT-5A composite.

Table 3. Magnitudes of the total stabilized charge and the electret charge for PP+PZT-5A composite.

$\phi, \text{vol.}\%$	$Q_{TSD}, 10^{-4} \text{C/m}^2$	$Q_e, 10^{-3} \text{C/m}^2$
5	2,5	0,08
10	2,8	0,06
20	6,5	0,024
30	11,6	0
40	16,1	0
50	26,9	0

One may assume that polymers having high-concentration surface traps, are a good electret, for example, PP in comparison with PVDF. Therefore composites obtained on their basis will have low piezoelectric properties due to the following processes.

1. Existing deep surface traps of high-concentration limit the charge injection to the composite during the polarization.
2. The electrode deep traps hinder with the accumulation of the injected charges on the polymer-piezoparticle boundary.
3. Injected charges trapped by surface deep traps determine the magnitude of the electret charge of starting polymers and composites in smaller volume

fractions (<math>\leq 20\% \text{ vol.}</math>) of PZT-5A (Table 3).

4. Charges stabilized on the polymer-piezoelectnc partide phase boundary determine the magnitude of the piezoelectric modulus of the composite.

As a conclusion of these results we may say that at the choice of the polymer phase it is necessary to take account of electron states of the polymer phase and therefore the polymer phase is not the passive phase of the composite.



# New Piezoelectric Materials for Medical Diagnostics and Therapeutics

M.A. KURBANOV, M.G. SHAKHTAKHTINSKY, S.N. MUSAYEVA  
 Institute of Physics of Azerbaijan Academy of Sciences  
 G. Javid avenue - 33, Baku 370143, Azerbaijan

## ABSTRACT

*In this work results of the investigation of an elaboration of new piezoelectric materials on the basis of polymers and piezoceramics of lead-zirconate-titanate family (PZT) are given. The essential attention is taken to the rise of an efficiency of transducers both on the air and under the receive condition for medical devices. The electromechanical coupling coefficient increases by the selection of the compound and structure of the composite components on the air and as a rule these materials have the high mechanical quality. It is necessary to have elements with the mechanical quality less than 50 to increase the resolution of endoscopy devices under the receive condition. Thus, having effective transducers working under conditions of the piezoelectricity and inverse-piezoelectricity one may increase the receive-circuit gain of medical devices. In this work the special attention is taken to Korotkovo's transducers tones applied for the measuring of the blood pressure and the obtaining of the phonocardiogram.*

Medical acoustics is an intensive developing field of sciences and technology. Internal structures of an organism, dimensions, coordinates and a pathological state of separate organs are determined by means of the ultrasound diagnostics. The ultrasonics is widely applied in the microsurgery, therapeutics, in particular, ophthalmology.

In this connection an elaboration of more effective new piezoelectric materials for the medical acoustics is an actual problem. In this work we present results of the investigation of an elaboration of new piezoelectric materials on the basis of polymers and piezoelectrics of lead-zirconate titanate family (PZT). Following demands of piezoelectric materials for medical acoustics are made: the acoustic impedance must be equal or close by the acoustic impedance of muscle; the low mechanical quality ( $Q < 300$ ); the high piezoelectric modulus ( $d_{33}$ ) and piezoelectricity ( $g_{33} = d_{33}/\epsilon$ ); low dielectric constant ( $\epsilon$ ) and  $tg\delta$ ; high electromechanical coupling coefficient ( $k_p$ ) and physico-mechanical properties.

Let's note that existing piezoelectric materials (PZT) have the high piezoelectric modulus and therefore under the condition of the inverse piezoelectricity they have high enough radiating power. However, high dielectric constant and mechanical quality decrease the sensitivity under the condition of the

piezoelectricity and the resolution of transducer as a whole. The abrupt distinct of the piezoceramic acoustic impedance from the biological tissue leads to the loss on the transducer-tissue boundary.

Materials that we suggest combine high physico-mechanical properties of polymers and piezoelectric properties of ferro-piezoelectrics. Moreover piezocomposites in the conservation of high physico-mechanical properties have the acoustic impedance that equal to 1,8 kg.m.s., i.e. close by the muscle acoustic impedance.

Polyvinylidene fluoride (PVDF) is used as a matrix of composites. Multicomponent piezoceramics of lead-zirconate-titanate (PZT) family are used as an active filler. Samples are prepared based on the homogeneous mixture polymer-piezoparticles by the pressing method. The diameter of piezoparticles is changed from 63 to 100  $\mu\text{m}$ , the volume fraction of the piezophase from 40 to 70%. Thickness of samples is varied from 80 to 200  $\mu\text{m}$ .

The piezoelectric modulus of composites is measured in the quasistatic condition with the error not more than 8%. Magnitudes of the electric intensity and the temperature polarization of composites are limited by the electric strength and the melting temperature of samples.

Table 1. Electrophysical characteristics of piezoceramics and piezocomposites that we obtained.

Parameters	Piezoceramics		Piezocomposites	
	PZT-7A	PZT-5H	PVDF+PZT-7A	PVDF+PZT-5H
$d_{33}, \text{pC/N}$	95	593	160	90
$\epsilon$	450	3400	100	110
$tg\delta$	0,05	0,02	0,01	0,015
$g_{33}, \text{Vn/VN}$	0,024	0,02	0,18	0,1
Sound velocity, $\text{m/s}$	3950	2900	1500	1532
Young's modulus $E, \text{M/m}^2$	$1.1 \cdot 10^{10}$	$6,1 \cdot 10^{10}$	$9 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$
$Q$	2000	65	40	40

Electrophysical characteristics of piezoceramics and piezoelectric composites that we prepared are shown in the table 1. Table 1 shows that the piezoelectric modulus of composites is one order more than

the piezosensitivity of piezoceramics. Mechanical quality of composite in 1,6 times less than one of PZT-5H and in fifty times less than one of PZT-7A. It is also seen, that composites have low  $tg\delta$ . Therefore, piezocomposites are more effective materials for the application in medical acoustics. In particular, for example in this work characteristics of Korotkovo's transducer tones (KTT) on the bases of piezocomposite materials are presented. Experiments showed, that the composite KTT has the high sensitivity and increased stability to climatic and mechanical exposures in comparison with similar piezoceramic transducers (Table 2). The elaborated transducers have been designed for the using in the sealing ring of the medical tonometer.

Table 2. Frequency dependence of the ratio of the sensitivity of the composite KTT ( $\gamma$ ) to the sensitivity of the KTT-1M type of the ceramic transducer ( $\gamma_{cer}$ )-

f, Hz	$\gamma/\gamma_{cer}$		
	PVDF+PZT-7A	PVDF+resin+PZT-7A	PVDF+resin+PZT-5H
20	0,9	12	1,0
30	0,9	12	1,1
40	0,9	12	1,1
50	0,9	122	1,1
80	0,9	122	1,0
70	0,9	121	1,0
80	0,9	121	1,0
100	0,9	12	1,0

With the purpose of the decrease of the compliance of the piezocomposite element for KTT the inim component is involved into the composite to increast- the interphase interaction. The resin is used as a inim component. Firstly, piezoparticles are capsulated uy the resin and then capsulated particles are involved in PVDF. Thus, content of PVDF+resin+piezoceramic is obtained.

In table 3 the main characteristics of two and thind-components piezocomposites are compared. The volume fraction of components: 35% PVDF, 5% resin, 60% PZT-7A. it is seen from tables 2 and 3, that KTT based on the third-component composite have high electrophysical and mechanical characteristics.

Table 3. Electrophysical characteristics of two ana third-components piezocomposites.

Parametets	Piezocompostes	
	PVDF+PZT-7A	PVDF+resin+PZT-7A
da.pON	160	170
$\delta$	100	100
$tg\delta$	0,01	0,012
g-a.Vm/N	0,18	0,192
V.rrvs	1500	2000
E.Nm <sup>2</sup>	9-10 <sup>9</sup>	4-10 <sup>9</sup> *

The simplicity of technology, ecologicity and hig.ii electrophysical and mechanical parameters will favom to the large application of piezocomposites in medic;i diagnostics and therapeutics undoubtedly.