

Farklı Malzemelerin Dielektrik Sabiti

Amaç

Bu deneyde,

- kondansatörün plakalarına uygulanan gerilim U_k ile plakalarda biriken yük Q arasındaki ilişkiyi bulmak,
- bu ilişkiyi kullanarak boşluğun elektrik geçirgenlik sabiti ϵ_0 'ı belirlemek,
- sığanın plakalar arasındaki mesafe ile ters orantılı olduğunu göstermek,
- plakalar arasına yerleştirilen plastik levhanın kondansatörün sığasını nasıl değiştirdiğini incelemek amaçlanmıştır.

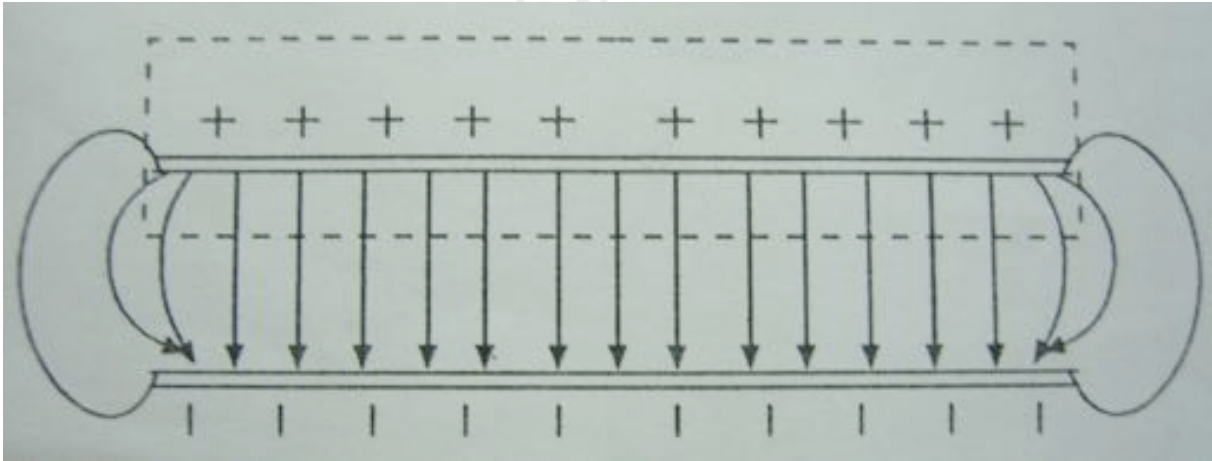
Deneye Hazırlık Bilgileri

Boşluktaki elektrostatik olaylar Maxwell denklemlerinin integral formu kullanılarak incelenebilir:

$$\oiint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (2)$$

Burada, \vec{E} elektrik alan şiddetini, ϵ_0 elektrik sabitini, Q ise A kapalı yüzeyi içinde kalan yükü ve S de A yüzeyinin üzerinden geçen kapalı bir yolu simgelemektedir.



Şekil 1 Kondansatörün plakaları arasındaki elektrik alan çizgileri

Eğer kondansatörün iki plakasına U_k gerilimi uygulanırsa,

$$U_k = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (3)$$

ifadesini sağlayan \vec{E} elektrik alanı oluşur (Bkz. Şekil 1). Bu alandan dolayı aynı miktarda zıt işaretli yükler plakalara çekilecektir. Elektrik alan çizgilerinin kondansatör plakalarına her zaman dik olduğu varsayıldığında, ki bu varsayım plakalar arası uzaklık d 'nin plakaların boyutuna göre küçük olduğu durumlarda oldukça iyi bir yaklaşıktır, Denk.(1) kullanılarak

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot A = U_k \cdot A \cdot \frac{1}{d} \quad (4)$$

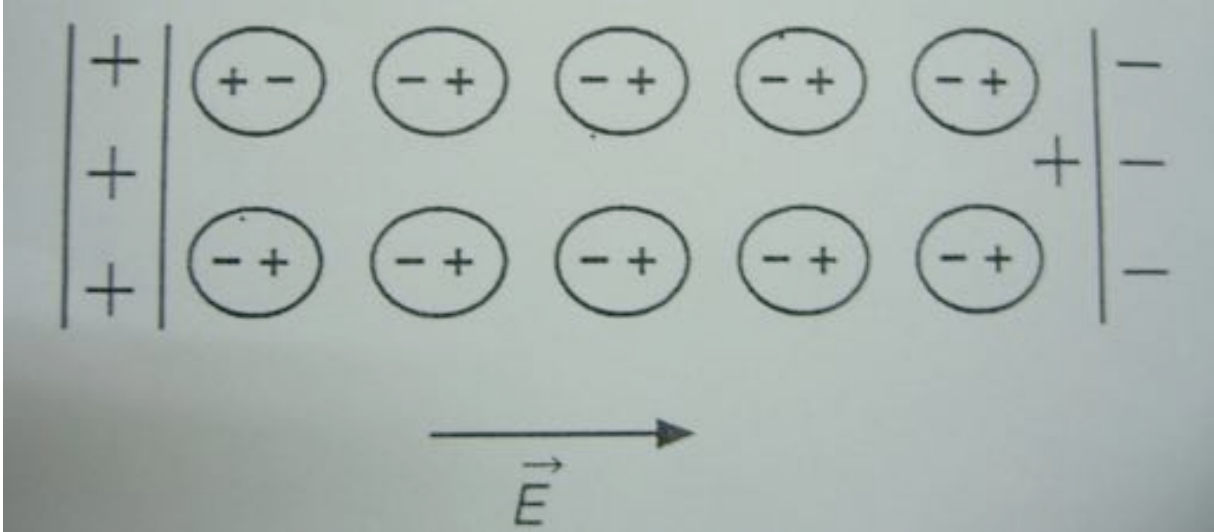
eşitliği elde edilir. Sadece bir plakayı çevreleyecek şekilde seçilen Şekil 3'teki alan (kesikli çizgi) integrasyon sınırlarını oluşturur. Her iki plakayı çevreleyen keyfi bir hacim içindeki toplam yük sıfır olduğundan, kondansatörün dışındaki elektrik alan sıfırdır. Kondansatörün yükü uygulanan gerilimle orantılıdır, orantı sabiti de sığa olarak adlandırılır ve C ile gösterilir.

$$Q = C \cdot U_k = \epsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U_k \quad (5)$$

Sabit gerilim altında, plakalar arasındaki uzaklığın tersi ve dolayısıyla da sığa, kondansatörün taşıyabileceği yükün ölçüsünü belirler. Tersine eğer U_k , Q , d ve A biliniyorsa, elektrik sabiti ϵ_0 ,

$$\epsilon_0 = \frac{d}{A} \cdot \frac{Q}{U_k} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 2 Kondansatör plakaları arasındaki dielektriğin kutuplanması ve bağlı yüklerin oluşumu

Plakalar arasına yalıtkan bir malzeme (dielektrik) yerleştirildiğinde, yalıtkanların serbest hareket edebilecek yükleri bulunmadığından malzemeyi oluşturan atom veya moleküller elektrik alan yönünde kutuplanır. Böylece bu atom veya moleküller küçük dipoller gibi davranır. Şekil 2'de görüldüğü gibi her bir dipolün oluşturduğu elektrik alanı makroskopik ölçekte dielektriğin içinde birbirini götürür, fakat dielektriğin her iki yüzeyinde bağlı yük yoğunluğu oluştuğu için sıfırlanmaz. Bu bağlı yükler, plakaların oluşturduğu elektrik alanına zıt yönde bir elektrik alan oluşturur, dolayısıyla toplam elektrik alan azalır. Alandaki azalma boyutsuz bağlı elektrik geçirgenlik sabiti (dielektrik sabiti)

$$\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (7)$$

kullanılarak belirlenir.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa} \quad (8)$$

Burada \vec{E}_0 sadece plakalardaki yük (serbest yük) tarafından oluşturulan elektrik alanı, \vec{E} ise toplam elektrik alanı ifade etmektedir. Dielektrik sabiti boşluk için bir değerini alır ve her bir dielektrik malzeme için birden büyüktür. Bağlı yükler tarafından oluşturulan zıt yönlü elektrik alanı da

$$\vec{E}_b = \vec{E} - \vec{E}_0 = \frac{1-\kappa}{\kappa} \vec{E}_0 \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Dielektriğin içindeki yükleri makroskopik ölçekte ihmal edersek, zıt yönlü alan sadece yüzeydeki bağlı yükler tarafından oluşturulur.

$$E_b = \frac{Q_b}{\epsilon_0 A} = \frac{Q_b d}{\epsilon_0 V} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{p}{V} \quad (10)$$

p , yüzey yüklerinin toplam dipol momenti, V ise dielektriğin hacmidir. Dielektriğin homojen olmadığı genel durumlarda Denk.(10),

$$\vec{E}_b = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{d\vec{p}}{dV} = \frac{1}{\epsilon_0} \vec{P} \quad (11)$$

haline gelir. \vec{P} , birim hacimdeki toplam dipol momentidir ve dielektrik kutuplanması adını alır. Dielektrik içinde Maxwell denklemleri doğrudan ölçülebilen ve ayarlanabilen nicelik olan serbest yük (plakalardaki yük) Q cinsinden

$$\oiint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q \quad (12)$$

yazılmasını sağlayan \vec{D} elektrik yerdeğiştirme vektörü,

$$\vec{D} = \kappa \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (13)$$

şeklinde tanımlanır ve alan şiddeti \vec{E} ile dielektrik kutuplanması \vec{P} cinsinden

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} \quad (14)$$

eşitliği ile verilir.

Eğer kondansatörün plakalarında Q yükü varken bir dielektrik plakaların arasına yerleştirilirse denklem (4)'teki tanıma göre U_k gerilimi boşluktaki $U_{boş}$ gerilimine göre dielektrik sabiti oranında azalacaktır.

$$U_k = \frac{U_{boş}}{\kappa} \quad (15)$$

Denklem (5)'ten de kondansatörün sığası için

$$C = \kappa \cdot C_{boş} \quad (16)$$

bağıntısı elde edilir. Dolayısıyla, denklem (5)'in genel formu da

$$Q = \kappa \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U_k \quad (17)$$

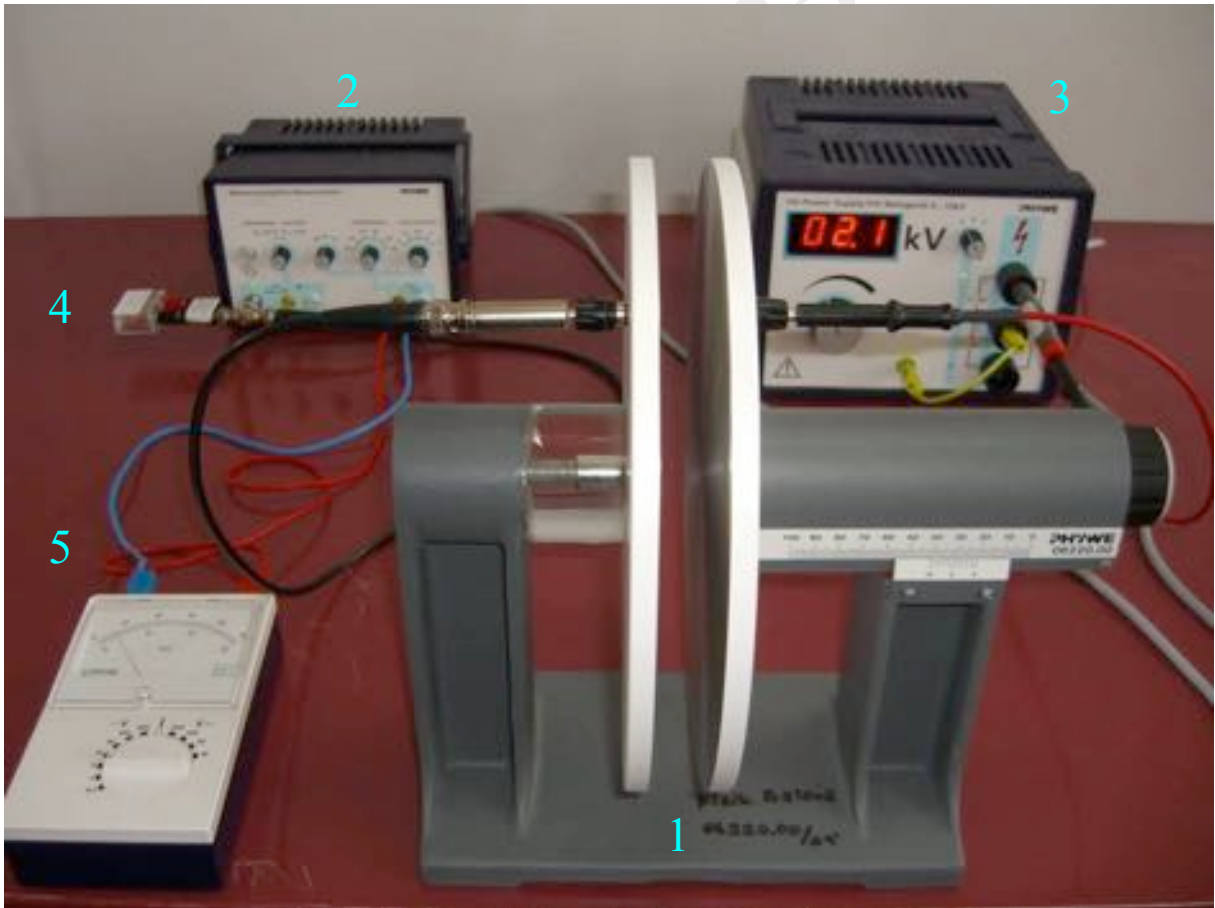
halini alır. Denklem (5) ile denklem (17) kullanılarak,

$$\frac{Q}{Q_{boş}} = \kappa \quad (18)$$

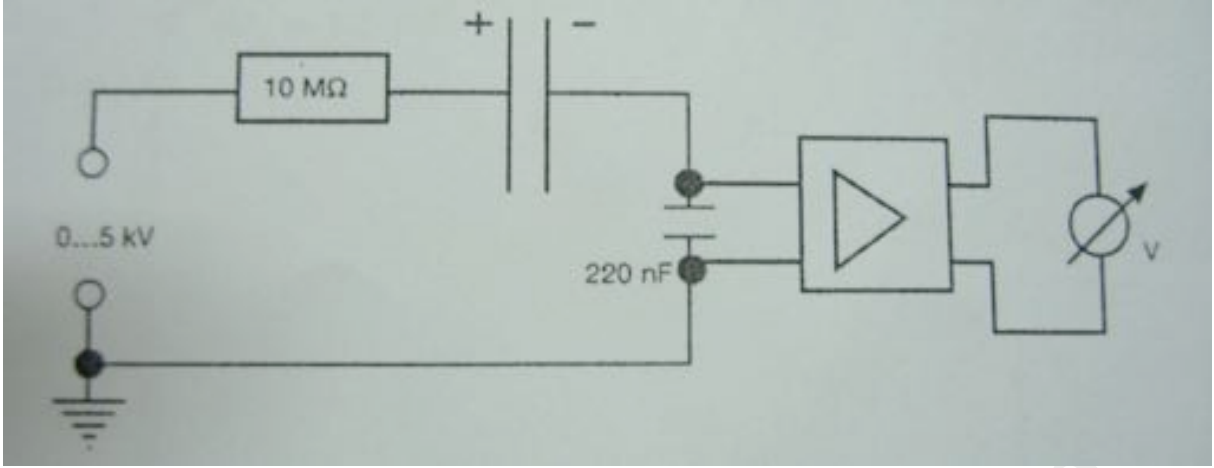
elde edilir.

Deney Malzemeleri

Bu deneyde, plakalı kondansatör (1), 283 mm×283 mm boyutlarında plastik plaka, cam plaka, 10 M Ω 'luk koruyucu direnç, evrensel ölçüm yükseltici (2), 0-10 kV'luk yüksek gerilim kaynağı (3), 220 nF'lık kondansatör (4), voltmetre (5), T şekilli bağlantı ucu ve bağlantı kabloları kullanılacaktır. (Bkz. Şekil 3)



Şekil 3 Deney Düzeneği



Şekil 4 Devre Şeması

Deneyin Yapılışı

Deney düzeneği Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir. Kondansatörün bir plakası $10\text{ M}\Omega$ 'luk koruyucu direncin üzerinden yüksek gerilim kaynağının üst ucuna bağlanmıştır. Yüksek gerilim kaynağının orta ucu doğrudan, kondansatörün diğer plakası ise 220 nF 'lık kondansatörün üzerinden topraklanmıştır. 220 nF 'lık kondansatörün üzerindeki gerilimin ölçülmesi, evrensel ölçüm yükseltici ve voltmetre kullanılarak yapılır. Bunun için ölçüm yükselticinin ayarı giriş direnci yüksek ($10^{13}\ \Omega$), yükseltme çarpanı $1\ (10^0)$ ve zaman sabiti de 0 konumunda iken yapılmalıdır. Yüksek gerilim kaynağından uygulanan gerilim için voltmetreden okunan değer denklem (5)'te yerine konularak 220 nF 'lık kondansatörün yükü bulunur. Kondansatörler seri bağlı oldukları için her iki kondansatörün üzerindeki yük miktarı eşittir. Böylece plakalı kondansatörün üzerindeki yük de bulunmuş olur. Bu bilgiler ışığında, deney aşağıdaki gibi yapılır.

UYARI: Bu deneyde kullanılan cihazlar yüksek gerilimle çalışmaktadır. Bu sebeple kondansatör ve kablolarla temas etmeyiniz.

- 1- Deney düzeneğini Şekil 3 ve 4'ten yararlanarak kurunuz. Plakalı kondansatörün üzerinde bulunan kompası kullanarak plakalar arası mesafeyi 0.2 cm 'ye ayarlayınız. Yüksek gerilim kaynağını açarak devreye 0.5 kV 'luk adımlarla artacak şekilde gerilim uygulayıp buna karşılık voltmetreden okunan gerilim değerlerini Çizelge 1'e kaydediniz. **Not:** Her ölçümden önce güç kaynağından uygulanan gerilimi sıfırlayıp (güç kaynağındaki gerilim göstergesinin sıfıra düşmesini bekleyiniz) evrensel ölçüm yükselticinin en sağındaki düğmeye basarak kondansatörlerin üzerindeki yükü topraklayınız. Ayrıca, plakalı kondansatörde plakalar arasında elektrik boşalmaları meydana geldiği için üzerindeki gerilim düşer bu da voltmetreden okunan 220 nF 'lık kondansatörün geriliminde artışa neden olur. Bu yüzden, her ölçümde voltmetrede görülen ilk değer alınmalıdır.
- 2- Denklem (5)'i kullanarak Q yükünü, sonra da Denklem (6)'yı kullanarak elektrik sabiti ϵ_0 'ı hesaplayıp Çizelge 1'i doldurunuz.
- 3- $Q-U_k$ grafiğini milimetrik kağıda çizerek yükün kondansatör gerilimiyle doğru orantılı olduğunu gösterip grafiğin eğiminden kondansatörün sığası C 'yi ve elektrik sabiti ϵ_0 'ı bularak teorik değeri $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12}\text{ As/Vm}$ ile karşılaştırınız.

- 4- Şimdi de yüksek gerilim kaynağından uygulanan gerilimi $U_k = 1.5 \text{ kV}$ değerine sabitleyerek plakalar arası mesafeyi eşit aralıklarla arttırarak (0.5 cm'i aşmayacak şekilde; neden?) Çizelge 2'yi doldurunuz.
- 5- $Q-1/d$ grafiğini milimetrik kağıda çizerek yük ile kondansatörün plakaları arasındaki mesafenin ters orantılı olduğunu gösterip grafiğin eğiminden elektrik sabiti ϵ_0 'ı bularak teorik değeri ile karşılaştırınız.
- 6- Plakalar arasındaki mesafeyi 0.98 cm'de sabitleyerek önce plakalar arasında herhangi bir dielektrik yokken ve sonra da plastik plaka yerleştirilerek yüksek gerilim kaynağından devreye 0.5 kV'luk adımlarla artacak şekilde gerilim uygulayıp voltmetreden okunan değerleri sırasıyla ($U_{boş}$) ve (U) Çizelge 3'e kaydediniz.
- 7- Denklem (5)'i kullanarak $Q_{boş}$ ve Q hesaplayıp Çizelge 3'ü doldurunuz. Denklem (17) ve (18) ile elde ettiğiniz dielektrik sabitlerini karşılaştırıp yorumlayınız.
- 8- Plakalar arasındaki mesafeyi 0.17 cm'ye, yüksek gerilim kaynağındaki gerilimi de 0.5 kV'a sabitleyerek önce plakalar arasında herhangi bir dielektrik yokken ve sonra da cam plaka yerleştirilerek voltmetredeki değerleri ($U_{boş}$) ve (U) olarak Çizelge 4'e kaydediniz. Gerekli hesaplamaları yaparak cam için de Denklem (17) ve (18) ile elde ettiğiniz dielektrik sabitlerini karşılaştırıp yorumlayınız.

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad d = 0.2 \text{ cm} \quad C = 218 \text{ nF}$$

$U_k [kV]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$U [V]$								
$Q [nAs]$								
$\epsilon_0 [pAs/Vm]$								

Çizelge 1

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad U_k = 1.5 \text{ kV} \quad C = 218 \text{ nF}$$

$U [V]$								
$d [cm]$								
$1/d [cm^{-1}]$								
$Q [nAs]$								
$\epsilon_0 [pAs/Vm]$								

Çizelge 2

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad d = 0.98 \text{ cm} \quad C = 218 \text{ nF}$$

$U_k [kV]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$U [V]$								
$Q [nAs]$								
$\kappa = Q \cdot d / \epsilon_0 \cdot A \cdot U_k$								
$U_{boş} [V]$								
$Q_{boş} [nAs]$								
$\kappa = Q / Q_{boş}$								

Çizelge 3

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad d = 0.17 \text{ cm} \quad C = 218 \text{ nF}$$

$U_k [kV]$	0.5
$U [V]$	
$Q [nAs]$	
$\kappa = Q \cdot d / \epsilon_0 \cdot A \cdot U_k$	
$U_{boş} [V]$	
$Q_{boş} [nAs]$	
$\kappa = Q / Q_{boş}$	

Çizelge 4

Sorular

- 1- Paralel ve boyutları 2 cm'ye 8 cm olan iki dikdörtgen plakadan oluşan bir kondansatörün sığası 90 pF'tır. Plakalar 0.4 mm kalınlığında kağıtla ayrıldığına göre kağıdın dielektrik sabiti nedir?

- 2- Şekil 1'de iki plakanın ortasına temas etmeyecek şekilde özdeş ve paralel bir metal plaka yerleştirildiğini düşünecek olursak sistemin sığası değişir mi? Neden? Seri bağlı iki kondansatör ile söz konusu sistemin arasında nasıl bir benzerlik vardır? (ipucu: metal plakaların içinde elektrik alanı bulunmaz yani yük her zaman yüzeydedir.)

AÜFF Fizik Bölümü

