

Farklı materyallerin elektrik geçirmezlik sabiti 4.2.06-00

Öğrenebileceğiniz...

- Maxwell denklemleri
- Elektrik sabiti
- Levhalı kapasitörün kapasitansı
- Gerçek yükler
- Serbest yükler
- Elektrik geçirmez yer değişim
- Elektrik geçirmez kutuplaşma
- Elektrik geçirmezlik sabiti

Kural:

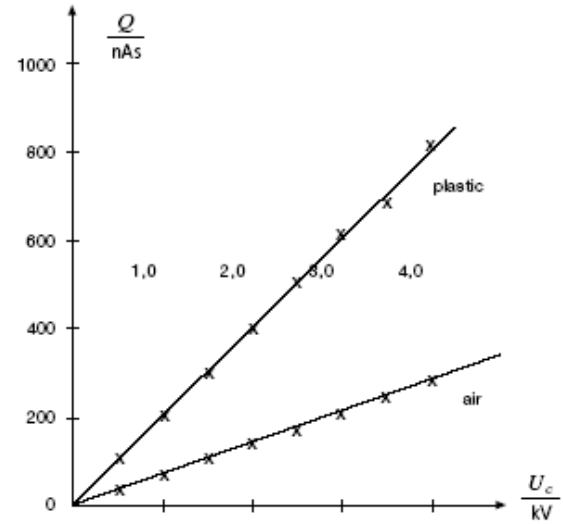
ϵ_0 elektrik sabiti belirli bir voltajın uygulandığı levhalı kapasitörün yükünün ölçülmesiyle belirlenir. Elektrik geçirmezlik sabiti ϵ de aynı şekilde levhalar arasındaki boşluğun plastik ya da cam ile doldurulmasıyla belirlenir.



İhtiyacınız olanlar:

Levhalı kapasitör, d = 260 mm
 Plastik levha 283 x 283 mm
 Cam levhalar f. akımı kondüktörleri
 Yüksek değer rezistans, 10 M Ω
 Universal ölçüm amplifikatörü
 Yüksek voltaj kaynak birimi, 0-10 kV
 Kapasitör / kutu 1/0.22 μ F
 Voltmetre, 0.3-300 VDC, 10-300 VAC
 Bağlantı kablosu, l = 100 mm, yeşil, sarı
 Bağlantı kablosu, l = 500 mm, kırmızı
 Bağlantı kablosu, l = 500 mm, mavi
 Bağlantı kablosu 30kV, l = 500 mm
 Ekranlı kablo, BNC, l = 750 mm
 Adaptör, BNC soketi – 4 mm priz
 Konnektör, T tipi, BNC
 Adaptör, BNC-priz/soket 4 mm

06220.00	1
06233.01	1
06406.00	1
07160.00	1
13626.93	1
13670.93	1
39105.19	1
07035.00	1
07359.15	1
07361.01	1
07361.04	1
07366.00	1
07542.11	1
07542.20	1
07542.21	1
07542.26	1



Levhalar (d = 0.98 cm) arasında elektrik geçirimsiz (plastik) varken ve yokken U_c uygulanan voltajının işlevi olarak levhalı kapasitörün Q elektrostatik yükü

Tam Donanım Seti, CD-ROM içinde Kullanma Kılavuzu,
Farklı materyallerin elektrik geçirmezlik sabiti
P2420600

Görevler:

Zamanla değişen şarj akımını ölçmek için:

1. Levhalı kapasitör kullanılarak Q yükü ve U voltajı arasındaki ilişki ölçülmelidir.
2. Nokta 1'in altında ölçülen ilişkiye göre ϵ_0 elektrik sabiti belirlenmelidir.
3. Levhalı kapasitörün yükü, sabit voltaj altında levhalar arasındaki mesafenin tersinin bir işlevi olarak ölçülmelidir.
4. Q yükü ve U voltajı arasındaki ilişki levhaları arasına farklı elektrik geçirmez bir materyalin konduğu bir levhalı kapasitör vasıtasıyla ölçülür. İlgili elektrik geçirmezlik sabitleri kapasitör levhaları arasındaki hava ile gerçekleştirilen ölçümlerle karşılaştırılarak belirlenir.

İlgili konular

Maxwell denklemleri, Elektrik sabiti, Levhalı kapasitörün kapasitesi, Gerçek yükler, Serbest yükler, Elektrik geçirmez yer değişim, Elektrik geçirmez kutuplaşma, Elektrik geçirmezlik sabiti

Kural

ϵ_0 elektrik sabiti belirli bir voltajın uygulandığı levhalı kapasitörün yükünün ölçülmesiyle belirlenir. Elektrik geçirmezlik sabiti ϵ de aynı şekilde levhalar arasındaki boşluğun plastik ya da cam ile doldurulmasıyla belirlenir.

Donanım

Levhalı kapasitör, $d = 260$ mm

Plastik levha 283×283 mm

Cam levhalar f. akımı kondüktörleri

Yüksek değer rezistans, $10 \text{ M}\Omega$

Universal ölçüm amplifikatörü

Yüksek voltaj kaynak birimi, $0-10 \text{ kV}$

Kapasitör / kutu $1/0.22 \mu\text{F}$

Voltmetre, $0.3-300 \text{ VDC}$, $10-300 \text{ VAC}$

Bağlantı kablosu, $l = 100$ mm, yeşil, sarı

Bağlantı kablosu, $l = 500$ mm, kırmızı

Bağlantı kablosu, $l = 500$ mm, mavi

Bağlantı kablosu 30 kV , $l = 500$ mm

Ekranlı kablo, BNC, $l = 750$ mm

06220.00
06233.01
06406.00
07160.00
13626.93
13670.93
39105.19
07035.00
07359.15
07361.01
07361.04
07366.00
07542.11

Görevler:

1. Levhalı kapasitör kullanılarak Q yükü ve U voltajı arasındaki ilişki ölçülmelidir.
2. Nokta 1'in altında ölçülen ilişkiye göre ϵ_0 elektrik sabiti belirlenmelidir.
3. Levhalı kapasitörün yükü, sabit voltaj altında levhalar arasındaki mesafenin tersinin bir işlevi olarak ölçülmelidir.
4. Q yükü ve U voltajı arasındaki ilişki levhaları arasına farklı elektrik geçirmez bir materyalin konduğu bir levhalı kapasitör vasıtasıyla ölçülür. İlgili elektrik geçirmezlik sabitleri kapasitör levhaları arasındaki hava ile gerçekleştirilen ölçümlerle karşılaştırılarak belirlenir.

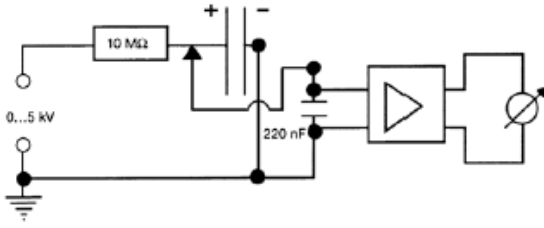
Kurulum ve prosedür

DeneySEL kurulum Şekil 1'de gösterilmiştir ve ilgili kablolama diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Yüksek derecede yalıtılmış kapasitör levhası $10 \text{ M}\Omega$ koruyucu rezistans üzerinden yüksek voltajlı güç kaynağının üst konektörüne bağlanır. Yüksek voltajlı güç kaynağının orta konektörü ve karşısındaki kapasitör levhası 220 nF kapasitör üzerinden topraklanır. Başlangıçtaki voltajın doğru ölçülüp ölçülmediği birimdeki iki konumlu anahtarın ilgili ayarına göre değerlendirilecektir. Levhalı kapasitör üzerindeki elektrostatik endüksiyon 220 nF kapasitöründeki voltaj üzerinden, denklem (4)'e göre ölçülebilir. Ölçüm amplifikatöründe giriş rezistansı yüksek, amplifikasyon faktörü 1 ve zaman sabiti 0 olarak ayarlanır.

Şekil 1: Ölçüm kurulumu: Farklı materyallerin elektrik geçirmezlik sabiti



Şekil 2: Kablolama diyagramı



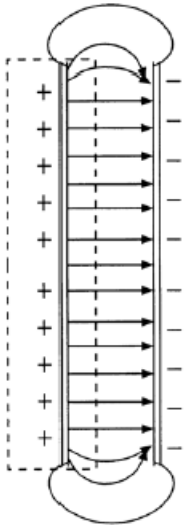
İlk iş olarak, kapasitör levhaların yüzeyi yarıçaplarına göre belirlenir. Deney iki bölümde yürütülür:

1. İlk bölümde, levhali kapasitörün levhaları arasındaki mesafe sabit voltaj altında değiştirilir ve kapasitör levhalarındaki yük ölçülür. Yük ve levhali kapasitör voltajı arasındaki doğrusal ilişki daha sonra doğrulanır.

Ölçüm verileri denklem (4)'den yararlanarak ϵ_0 elektrik sabitini belirlemeyi sağlar.

Ölçümler sırasında kapasitörün yanında olmamaya dikkat edin, aksi takdirde kapasitörü elektrik sahası bozulabilir.

2. İkinci bölümde ise, plastik levhali ya da plastik levha olmadan (hava boşluğu olmadan!) voltajdan kaynaklanan elektrostatik endüksiyon yükünün bağımlılığı levhalar arasındaki boşlukta ve levhalar arasına aynı mesafe konularak ölçülür. Elektrostatik endüksiyon yükleri arasındaki oran plastiğin elektrik geçirmezlik sabitinin belirlenmesini sağlar. Cam levhanın elektrik geçirmezlik sabiti de aynı şekilde belirlenir.



Şekil 3: Levhaları arasında az bir mesafe olan bir levhali kapasitörün, levhaların çapına oranla elektrik sahası. Kesik çizgiler entegrasyonun hacmini göstermektedir.

Kuram ve değerlendirme

Boşluktaki (ve iyi bir tahmin derecesi ile havadaki) elektrostatik süreçleri Maxwell denklemlerinin aşağıdaki integral formu ile tanımlanır.

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

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

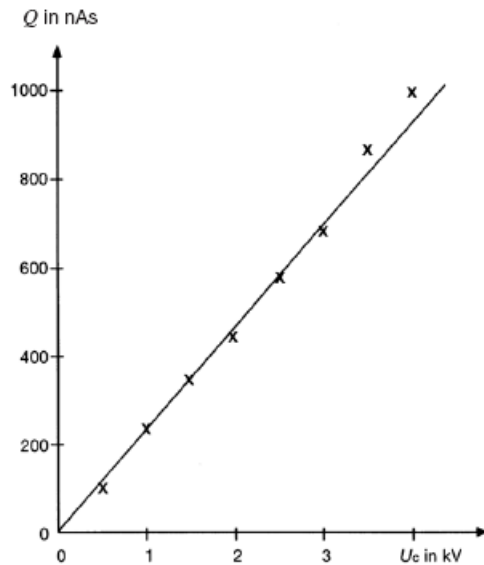
Burada, $\vec{E}$ elektrik sahası yoğunludur, Q kapalı yüzey A tarafından kuşatılan yük, ϵ_0 elektrik sabitidir ve s kapalı bir yoldur.

İki kapasitör levhası arasında bir U_c voltajı uygulanırsa, levhalar arasında bir $\vec{E}$ elektrik sahası etkili olacaktır, ve bu durum şu şekilde formüle edilir:

$$U_c = \int_1^2 \vec{E} d\vec{r}$$

(karş. Şekil 3). Elektrik sahası dolayısıyla, karşıt sinyalin elektrostatik yükleri kapasitörün yüzeylerine doğru çekilir. Voltaj kaynakları yük üretmedikleri ve sadece yükleri ayırabildikleri için, karşıt elektrostatik endüksiyon yüklerinin mutlak değerleri eşit olmalıdır. Kapasitör levhaları arasındaki d kısa mesafelerde deneysel olarak doğrulanabilen simetriden dolayı, elektrik sahasının saha çizgilerinin A yüzeyinin kapasitör yüzeylerine düşey olduğu varsayılarak, denklem (1)'den şu sonuç elde edilebilir:

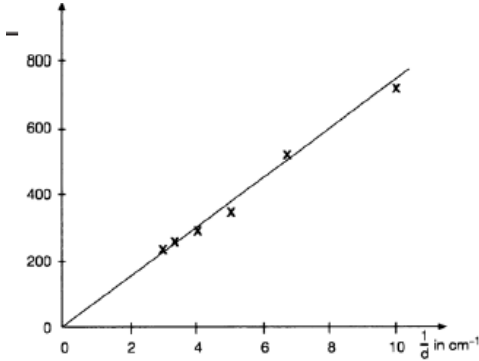
$$\frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot A = U_c \cdot A \cdot \frac{1}{d} \quad (3)$$



Şekil 4: Levhali kapasitörün U_c uygulanan voltajının işlevi olarak Q elektrostatik yükü (d = 0.2cm)

Şekil 5: Levhali kapasitörün kapasitör levhaları arasındaki d^{-1} ters mesafesinin bir işlevi olarak elektrostatik yükü ($U_c = 1.5 \text{ kV}$).

nAs'de Q



Sadece bir kapasitör levhası içeren Şekil 3'te belirtilen hacim entegrasyon hacmi olarak alınmıştır. Kapasitör içindeki yüzey akım (flux) değişmeden çıkarılabileceği için, kapasitör sahası homojendir. Her iki kapasitör levhasını da kuşatan rastlantısal hacimler için toplam kuşatılmış yükün sıfır olmasından dolayı, kapasitör dışındaki akım ve E elektrik sahası sıfırdır.

$$Q = C U_c = \epsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U_c \quad (4)$$

Q yükü ve değişmemiş olarak kalacak olan kapasitöre uygulanan U voltajı arasındaki doğrusal ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Denklem (4) ayrıca kapasitörün C kapasitansının levhalar arasındaki d mesafesine ters orantılı olduğunu gösterir:

$$C = \epsilon_0 \cdot A \frac{1}{d} \quad (5)$$

Sabit voltaj için, levhalar arasındaki ters mesafe ve dolayısıyla kapasitans, bir kapasitörün alabileceği yükün miktarı için bir ölçüdür (karş. Şekil 5). Ters olarak, U, Q, d ve A ölçülseydi, bu ölçüm verileri ϵ_0 elektrik sabitini hesaplamaya yarardı:

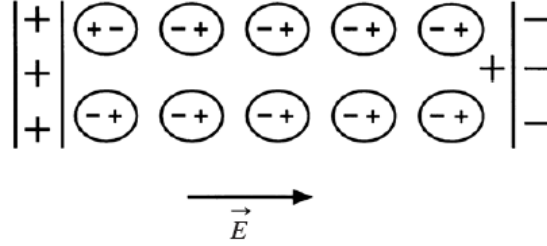
$$\epsilon_0 = \frac{d}{A} \cdot \frac{Q}{U_c} \quad (6)$$

Bu ölçüm örneğinde, aşağıdaki tam değere oranla şu sonuç elde edilir:

$$\epsilon_0 = 8.8 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$$

(4), (5) ve (6) Denklemleri, saha çizgilerinin paralel olduğunun varsayılmasından dolayı sadece yaklaşık olarak geçerlidir. Kapasitör levhaları arasındaki mesafenin artmasıyla, kapasitans yükselir ve bu da denklem (6)'ya göre sistematik olarak çok büyük bir elektrik sabitinin doğmasına yol açar. Bu yüzden, elektrik sabitinin değeri levhalar arasında kısa ve sabit bir mesafe olacak şekilde belirlenmelidir (Karş. Şekil 4).

Şekil 6: Levhali kapasitörün elektrik sahasındaki moleküllerin polarizasyonu vasıtasıyla elektrik geçirmez bir maddede serbest yüklerin üretilmesi



Levhalar arasına yalıtım materyali (elektrik geçirmez maddeler) konulduğunda koşullar değişir. Elektrik geçirmez maddeler, metaller gibi serbest hareket eden yük taşıyıcılarına sahip değildir, ancak pozitif çekirdeğe ve negatif elektronlara sahiptirler. Bu özellikler bir elektrik sahasının hatları boyunca ayarlanabilir. Daha öncesinde, kutupsuz (nonpolar) moleküller yerel olarak durağan iki kutuplular (dipol) olarak hareket ederdi. Şekil 6'da görüleceği gibi, tek bir iki kutuplunun etkisi elektrik geçirmez madde içinde diğerini makroskopik olarak etkisiz hale getirir. Ancak, yüzeylerde karşıt yüklü hiçbir kutup eşi yoktur, bu yüzden bunlar serbest yük olarak tarif edilen durağan yüke sahiptir.

Serbest yükler de elektrik geçirmez madde içindeki kapasitör

levhalarının üzerindeki Q gerçek yüklerinin $\vec{E}$ elektrik sahasını zayıflatır.

Elektrik geçirmez madde içindeki kapasitör levhalarının $\vec{E}$ elektrik sahasının zayıflatılmasının boyutsuz, materyal özel elektrik geçirmezlik sabitine göre ϵ ($\epsilon = 1$ boşlukta) izah edilir:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon} \quad (7)$$

Burada, $\vec{E}$ sadece Q gerçek yükü tarafından üretilen elektrik sahasıdır. Böylelikle, serbest yükler tarafından üretilen karşıt elektrik sahası aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$\vec{E}_f = \vec{E}_0 - \vec{E} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \vec{E}_0 \quad (8)$$

Elektrik geçirmez maddenin hacmi içindeki yükler makroskopik olarak göz ardı edilirse, sadece serbest yüzey yükleri ($\pm Q$) etkin olarak karşıt sahayı üretir:

$$\vec{E}_f = \frac{Q_f}{A \epsilon_0} = \frac{Q_f \cdot 1}{\epsilon_0 V} = \epsilon_0 \frac{p}{V} \quad (9)$$

Burada p, yüzey yüklerinin iki kutuplu momentinin toplamıdır. Homojen olmayan bir iki kutupluda genellikle denklem (9) şu şekilde uygulanır:

$$\vec{E}_f = \frac{1}{\epsilon_0} = \frac{d\vec{p}}{dV} = \frac{1}{\epsilon_0} \vec{P} \quad (10)$$

Burada $\vec{P}$ -birim hacim başına toplam iki kutuplu momenti- elektrik geçirmez kutuplaşma olarak adlandırılır.

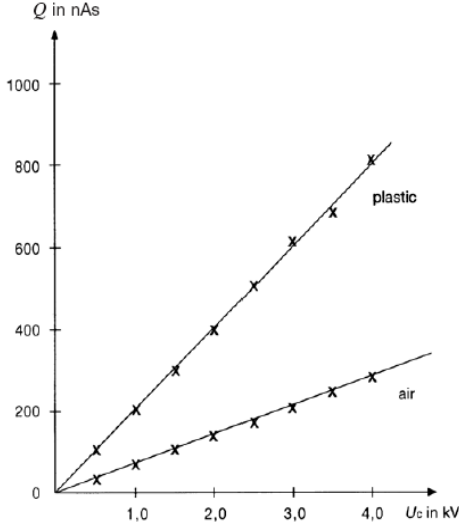
Ek olarak bir $\vec{D}$ sahası olursa (elektrik geçirmez yer değişim), şu şekilde tanımlanır:

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (11)$$

Burada, saha çizgileri sadece gerçek (doğrudan ölçülebilir) yükler ile başlar ya da biter, üç elektrik magnitudü (büyüklüğü), $\vec{E}$ saha yoğunluğu, $\vec{D}$ elektrik yer değişimi, ve $\vec{P}$ elektrik geçirmez madde polarizasyonu aşağıdaki denklemde birbirleriyle şu şekilde ilişkilidir:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$$

Şekil 7: Bir kapasitörün levhalar arasında elektrik geçirmez madde (plastik) varken ve yokken uygulanan U_c voltajının bir işlevi olarak Q elektostatik yükü ($d = 0.98 \text{ cm}$)



Q gerçek yükü kapasitör üzerinde kaldığı halde levhalar arasına elektrik geçirmez bir madde konulursa, tanım (3)'e göre, levhalar arasındaki U_c voltajı elektrik geçirmezlik sabiti ile boşlukta (ya da iyi bir tahmin ile, havada)

U_{vac} voltajına oranla azalır:

$$U_c = \frac{U_{vac}}{\epsilon} \quad (12)$$

Aynı şekilde, kapasitans tanımı (4)'e göre şu sonuç elde edilir:

$$C = \epsilon \cdot C_{vac} \quad (13)$$

Böylece denklem (4) şu genel şekli alır:

$$Q = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U_c \quad (14)$$

Şekil 7'de, kapasitör üzerindeki yük kapasitör levhaları arasında plastik levha varken ve yokken ve tüm diğer koşullar sabitken mevcut olan durumla karşılaştırma yapmak

için U_c uygulanan voltajı ile karşı karşıya getirilir; böylelikle aynı voltaj için kapasitörün yük miktarı elektrik geçirmez madde tarafından önemli ölçüde ve bu örnekte 2.9'luk bir faktörle artırılır. Plastik varken ve yokken elde edilen sonuçlar (denklemler [4] ve [14]) birbirine şu şekilde bölünürse:

$$\frac{Q_{plastic}}{Q_{vacuum}} = \epsilon \quad (15)$$

elde edilen sayısal değer plastiğin elektrik geçirmezlik sabitini oluşturur.

Cam levhalarda ise, benzer şekilde $\epsilon = 9.1$ değeri elde edilir.

Serbest yüklerin yukarıda açıklanan etkisini göz önünde bulundurmak için, Maxwell denklemi (1) genellikle ilgili hacmi dolduran elektrik geçirmez maddenin ϵ elektrik geçirmezlik sabiti ile aşağıdaki gibi tamamlanır:

$$\oint_A \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} d\vec{A} = \oint \vec{D} d\vec{A} = Q \quad (16)$$

Böylelikle, denklem (14) denklem (4) olur.

Ölçüm sonuçları

Elektrik sabitinin ölçümü:

$A = 0.0531 \text{ m}^2$	$U_c = 1.5 \text{ kV}$			$C = 218 \text{ nF}$		
U [V]	3.3	2.4	1.6	1.35	1.2	1.1
d [cm]	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$1/d$ [cm ⁻¹]	10.0	6.7	5.0	4.0	3.3	2.9
Q [nAs]	719	523	350	294	262	240
ϵ_0 [pAs/Vm]	9.00	9.85	8.75	9.25	9.85	10.50

$A = 0.0531 \text{ m}^2$	$d = 0.2 \text{ cm}$			$C = 218 \text{ nF}$				
U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	1.1	1.6	2.05	2.65	3.15	4.0	4.6
Q [nAs]	109	240	348	447	578	687	872	1003
ϵ_0 [pAs/Vm]	8.2	9.0	8.7	8.4	8.7	8.6	9.4	9.5

Elektrik geçirmezlik sabitinin ölçümü:

Plastik:

$A = 0.0531 \text{ m}^2$	$d = 0.98 \text{ cm}$			$C = 218 \text{ nF}$				
U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	0.92	1.35	1.8	2.3	2.8	3.1	3.7
Q [nAs]	109	201	294	392	501	610	676	807
$Q \cdot \frac{d}{\epsilon_0 \cdot U_c}$	4.6	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.0	4.2
U_{vac} [V]	0.16	0.32	0.51	0.62	0.78	0.95	1.12	1.3
Q_{vac} [nAs]	35	70	111	135	170	207	244	283
Q/Q_{vac}	3.1	2.9	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

Cam:

$$d = 0.17 \text{ cm} \quad U = 5.8 \text{ V} \quad Q = 1.264 \text{ } \mu\text{As} \quad U_c = 500 \text{ V}$$

$$\epsilon_{cam} = 9.1$$