

İlgili başlıklar

Maxwell'in eşitlikleri, elektrik sabiti, plaka kapasitörün kapasitesi, gerçek yükler, serbest yükler, dielektrik deplasmanı, dielektrik polarizasyonu, dielektrik sabiti.

Prensip

Elektrik sabiti ϵ_0 voltajın uygulandığı plaka kapasitörün yükü ile ölçülerek değerlendirilmektedir. Dielektrik sabiti ϵ aynı biçimde plakalar arasındaki boşluğa plastik veya cam doldurma ile belirlenmektedir.

Donanım

Plaka kapasitör, d=260 mm	06220.00	1
Plastik plaka 283x283 mm	06233.01	1
Cam plakalar f. Akım iletkenleri	06406.00	1
Yüksek-değerli rezistans, 10 MΩ	07160.00	1
Üniversal ölçüm yapan amplifikatör	13626.93	1
Yüksek voltaj kaynağı birimi, 0-10 kV	13670.93	1
Kapasitör/muhafaza 1/0.22 μF	39105.19	1
Voltaj ölçer, 0.3-300 VDC, 10-300 VAC	07035.00	1
Bağlantı kordonu, u=100 mm, yeşil-sarı	07359.15	1
Bağlantı kordonu, u=500 mm, kırmızı	07361.01	1
Bağlantı kordonu, u=500 mm, mavi	07361.04	1
Bağlantı kordonu, 30 kV, u=500 mm	07366.00	1
Blendajlı kablo, BNC, u=750mm	07542.11	1
Adaptör, BNC soketi-4mm fiş	07542.20	1
Konektör, T tipi, BNC	07542.21	1
Adaptör, BNC-fişli/soketli 4mm	07542.26	1

Görevler:

1. Yük Q ve voltaj U arasındaki ilişki plaka kapasitör kullanılarak ölçülmelidir.
2. Elektrik sabiti ϵ_0 nokta 1 altında ölçülen ilişkiye göre belirlenmelidir.
3. Plaka kapasitörünün yükü sabit voltaj altında, plakalar arasındaki uzaklığın tersi işlevi olarak ölçülmelidir.
4. Yük Q ve Voltaj U arasındaki ilişki; farklı dielektrik medyanın bulunduğu plakalar arasındaki, plaka kapasitörü vasıtası ile ölçülmelidir. İlgili dielektrik sabitleri kapasitör plakaları arasındaki hava ile gerçekleştirilen ölçümlerin karşılaştırılması ile belirlenmektedir.

Düzenek ve prosedür

DeneySEL düzenek Şekil 1'de gösterilmektedir ve ilgili elektrik tesisatı şeması da Şekil 2'de gösterilmektedir. Yüksek yalıtımlı kapasitör plakası 10 MΩ koruyucu rezistans

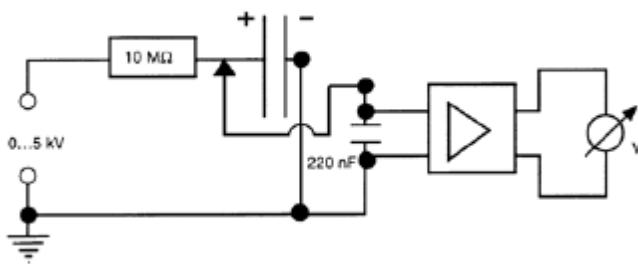
üzerinden yüksek voltaj güç kaynağının üst konektörüne bağlıdır. Yüksek voltaj güç kaynağının hem orta konektörü hem de zıt kapasitörü 220 nF kapasitör üzerinden topraklanmışlardır. Başlangıç voltajının doğru bir şekilde ölçümü birim üzerindeki değiştirme düğmesinin ilgili ayarı ile sağlanacaktır. Plaka kapasitörü üzerindeki elektrostatik endüksiyon yükü eşitliğe göre (4) 220 nF kapasitör üzerindeki voltaj üzerinden ölçülebilmektedir. Ölçüm amplifikatörü yüksek giriş rezistansına, amplifikasyon faktörü 1'e ve zaman sabiti 0'a ayarlanmıştır.

Şekil 1. Ölçüm ayarı: Farklı malzemelerin dielektrik sabiti



PHYWE Farklı malzemelerin dielektrik sabiti LEP 4.2.06_00

Şekil 2. Elektrik tesisatı şeması



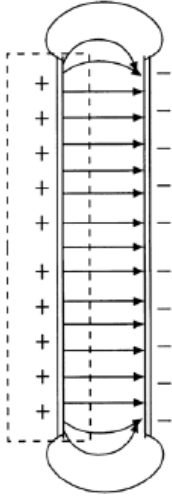
Başlangıç için, kapasitör plakalarının yüzeyi yarıçapları ile belirlenmektedir. Deney iki kısımda yapılmaktadır:

1: Birinci kısımda, plaka kapasitörünün plakaları arasındaki mesafe sabit voltaj altında değişmektedir, ve kapasitör plakaları üzerindeki yük ölçülmektedir. Yük ve plaka kapasitör voltajı arasındaki lineer ilişki daha sonra doğrulanmış olmaktadır.

Ölçüm verileri (4) no'lu eşitlik kullanılarak elektrik sabitinin ϵ_0 belirlenmesine imkân sağlamaktadır.

Ölçümler sırasında kapasitörün yakınında olmamaya dikkat edin, aksi halde kapasitörün elektrik alanı bozulabilir.

2. İkinci kısımda, voltajdan gelen elektrostatik endüksiyon yükünün bağımlılığı, plastik plaka ile veya plastik plakasız (hava boşluğu olmadan) plakalar arasındaki aynı uzaklık ile plakalar arasındaki uzaklıkta incelenmektedir. Elektrostatik endüksiyon yükleri arasındaki oran plastiğin dielektrik sabitinin ϵ_0 belirlenmesine imkân vermektedir. Cam plakanın dielektrik sabiti aynı biçimde belirlenmektedir.



Şekil 3. Plakaların çapı ile karşılaştırıldığında, plakalar arasında küçük uzaklıklar ile plaka kapasitörünün elektrik alanı. Noktalı çizgiler entegrasyon hacmini göstermektedir.

Teori ve değerlendirme

Vakumda (ve iyi bir benzerlik olarak havada) elektrostatik süreçler Maxwell'in aşağıdaki integral biçimdeki eşitliklerinde açıklanmaktadır:

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

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

Burada $\vec{E}$ elektrik alanı yoğunluğudur, Q kapalı alan A tarafından eklenen yük, ϵ_0 elektrik sabitidir ve S kapalı yoldur.

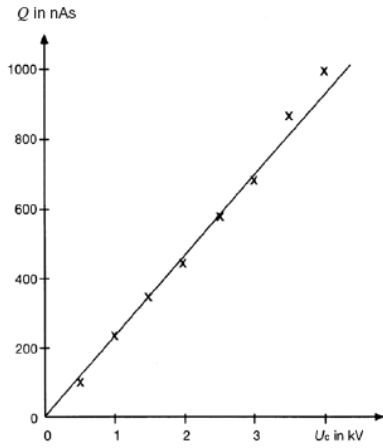
Eğer bir voltaj U_0 iki kapasitör plakası arasında uygulanmış ise, bir elektrik alanı $\vec{E}$ plakalar arasında hâkim olacaktır, bu aşağıdaki biçimde tanımlanabilir:

$$U_0 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{r}$$

(Şekil 3). Elektrik alanına dayalı olarak, zıt işaretin elektrostatik yükleri kapasitörün yüzeyine doğru sürülmektedir. Voltaj kaynakları yük üretmediklerinden, yalnızca onları ayırdıklarından ötürü, zıt elektrostatik endüksiyon yüklerinin mutlak değerleri eşit olmalıdır.

Elektrik alanının alan hatlarının ele alınması daima yüzeyin kapasitör yüzeylerine (A) dik olmalıdır, simetriye dayalı olarak, kapasitör plakaları arasındaki kısa uzaklıklar için d deneysel olarak doğrulanabilmektedir, eşitlik (1)' den aşağıdaki elde edilmektedir:

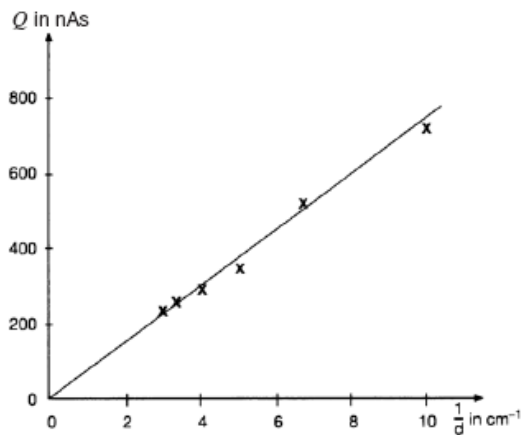
$$\frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot A = U_c \cdot A \cdot \frac{1}{d} \quad (3)$$



Şekil 4. Uygulanan voltajın U_c bir işlevi olarak plaka kapasitörünün elektrostatik yükü Q ($d=0.2$ cm)

PHYWE Farklı malzemelerin dielektrik sabiti LEP 4.2.06_00

Şekil 5. Kapasitör plakaları arasındaki ters mesafenin bir işlevi olarak plaka kapasitörünün elektrostatik yükü (Q) d^{-1} ($U_c = 1.5$ kV).



Şekil 3’de belirtilen hacim, yalnızca bir kapasitör plakası ekleyen, entegrasyon hacmi olarak alınmıştır. Kapasitör içindeki yüzey akımı değiştirmeden yer değiştirebileceğinden dolayı, kapasitör alanı homojendir. Hem akım hem de kapasitör dışındaki elektrik alanı E sıfırdır, çünkü her iki kapasitör plakasını ekleyen isteğe bağlı hacimler için, toplam eklenen yük sıfırdır.

Kapasitörün yükü Q voltaj ile orantılıdır, orantı sabiti C’ ye kapasitörün kapasitesi denmektedir.

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

Yüklenmemiş kapasitöre uygulanan yük Q ve voltaj U arasındaki lineer ilişki Şekil 4’de gösterilmektedir. Eşitlik (4) buna ilaveten şunu göstermektedir; kapasitörün C kapasitansı plakalar arasındaki Mesafe ile (d) ters orantılıdır:

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

Sabit voltaj için, plakalar arasındaki uzaklık, ve böylece kapasitans, bir kapasitörün alabileceği yük miktarına ilişkin bir ölçüdür (Şekil 5). Eğer ters olarak U, Q, d ve A ölçülseydi, bu ölçüm verileri elektrik sabitinin ϵ_0 hesaplanmasına imkân verecekti:

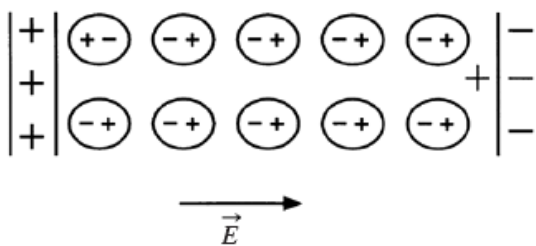
$$\epsilon_0 = \frac{d}{A} \cdot \frac{Q}{U_c} \quad (6)$$

Bu ölçüm örneğinde, $\epsilon_0 = 8.8 \cdot 10^{-12}$ elde edilmektedir. As/(Vm) aşağıdakinin tam değeri ile karşılaştırıldığı gibidir:

$$\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$$

(4), (5) ve (8) eşitlikleri yalnızca alan hatlarının paralel olduğu varsayımına dayalı olarak geçerlidirler. Kapasitör plakaları arasındaki artan mesafeler ile, kapasitans artmaktadır, ve buna karşılık sistematik olarak eşitlikten (6) son derece büyük elektrik sabiti elde edilmektedir. Bundan dolayı elektrik sabiti plakalar arasındaki küçük ve sabit uzaklık için belirlenecektir (Şekil 4).

Şekil 6. Plaka kapasitörünün elektrik alanındaki moleküllerin polarizasyonu vasıtası ile dielektrikte serbest yüklerin üretilmesi



Plakalar arasına yalıtım malzemeleri (dielektrikler) eklendiği zaman bir şeyler değişmektedir. Dielektrikler (elektrik geçirmezler) serbest hareket eden yük taşıyıcılara sahip değildirler, metallerde olduğu gibi, ancak pozitif çekirdeğe ve negatif elektronlara sahiptirler. Bunlar bir elektrik alanının hatları boyunca düzenlenebilirler. Önceden kutupsuz moleküller yerel durgun çift kutuplar olarak hareket ederlerdi. Şekil 6'da da görüldüğü gibi, tek kutupların etkileri dielektrik içersinde birbirlerini makroskopik olarak iptal etmektedirler. Ancak, zıt yüklü hiçbir çift yüzeyde mevcut değildir; bunlar durgun yüke sahiptirler bunlara serbest yükler denir.

Bu durumda serbest yükler gerçek yüklerin (Q) elektrik alanını $\vec{E}$ zayıflatmaktadır, bunlar dielektrik içersinde kapasitör plakalarının üzerindedir.

Dielektrik içersinde elektrik alanının $\vec{E}$ zayıflatılması boyutsuzluk, malzemeye özel dielektrik sabiti ile açıklanmaktadır ϵ (vakumda $\epsilon=1$)

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

Burada $\vec{E}_0$ gerçek yükler (Q) ile üretilen elektrik alanıdır. Böylece, serbest yükler ile oluşturulan zıt alan aşağıdaki gibi olmalıdır:

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

Dielektriğin hacmi içindeki yüklerin makroskopik olarak göz ardı edilmesi ile, yalnızca serbest yüzey yükleri ($\pm Q$) etkin bir biçimde zıt alanı oluşturmaktadır:

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

Burada p yüzey yüklerinin toplam dipol momentidir. Homojen olmayan dielektrik durumunda genelde (9) no'lu eşitlik şu hale gelmektedir:

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

Burada $\vec{P}$ -birim hacmi başına toplam dipol momentidir ve dielektrik polarizasyonu diye adlandırılmaktadır.

Eğer ilaveten bir $\vec{D}$ -alanı (dielektrik deplasmanı) tanımlanması gerekiyor ise:

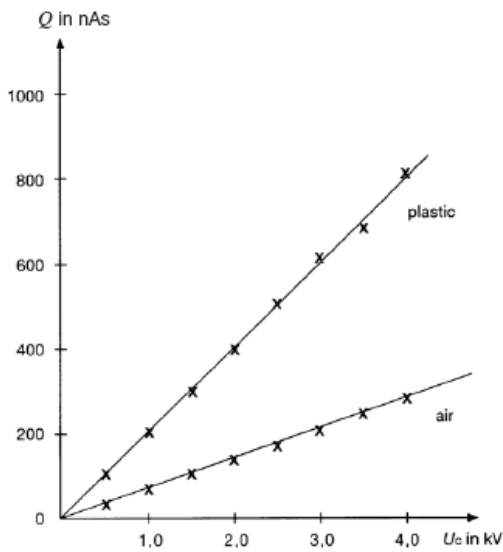
$$\vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (11)$$

Bu alan hatları yalnızca gerçek (doğrudan ölçülebilir) yüklerde başlamaktadır veya bitmektedir; üç elektrik magnitudü, alan yoğunluğu $\vec{E}$, dielektrik deplasmanı $\vec{D}$ ve dielektrik polarizasyonu $\vec{P}$ aşağıdaki eşitlik ile birbiri ile ilişkilidir:

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

PHYWE Farklı malzemelerin dielektrik sabiti LEP 4.2.06_00

Şekil 7. Plakalar arasında dielektrik (plastik) var iken ve olmaksızın uygulanan voltajın U_c işlevi olarak plaka kapasitörünün elektrostatik yükü Q (d=0.98 cm)



Eğer gerçek yük Q, plakalar arasına dielektrik eklendiği zaman kapasitör üzerinde kalıyor ise; açıklama (3)'e göre, plakalara arasındaki U_c voltajı voltaj U_{vac} ile kıyaslandığında vakumda (ve iyi bir benzerlik olarak havada) dielektrik sabiti ile azaltılmaktadır.

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

Benzer biçimde, kapasitansın açıklaması elde edilmektedir (4):

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

(4) no'lu eşitliğin genel biçimi aşağıdaki gibidir:

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

Şekil 7'de, kapasitör üzerindeki yük Q; kapasitör plakaları arasındaki plastik plaka ile birlikte veya plastik plaka olmaksızın durumunu karşılaştırılması bakımından uygulanan plaka voltajına U_c karşın çizilmektedir, Tüm diğer koşullar aynı

kalmaktadır; böylece, aynı voltaj için, kapasitörün yük miktarı dielektrik ile önemli ölçüde artmaktadır. Bu örnekte 2.9'luk bir katsayı ile eğer yükler plastik ile veya plastik olmadan elde edilmiş ise (eşitlikler (4) ve (14)) birbirlerine bölünmektedirler:

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

Elde edilen sayısal değer plastiğin dielektrik sabitidir.

Cam plakalar için, benzer biçimde $\varepsilon = 9.1$ değeri elde edilmektedir.

Serbest yüklerin yukarıda açıklana etkilerinin göz önünde bulundurulması için, Maxwell' in (1) no'lu eşitliği genellikle ilgili hacmi dolduran dielektriğin dielektrik sabiti ile tamamlanmaktadır:

$$\oint_A \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E} d\vec{A} = \oint \vec{D} d\vec{A} = Q \quad (16)$$

Böylece (14) no'lu eşitlik (4) no'lu eşitlik olmaktadır.

Ölçüm Sonuçları

Elektrik sabitinin ölçümleri

	$A = 0.0531 \text{ m}^2$		$U_c = 1.5 \text{ kV}$		$C = 218 \text{ nF}$	
$U \text{ [V]}$	3.3	2.4	1.6	1.35	1.2	1.1
$d \text{ [cm]}$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$1/d \text{ [cm}^{-1}\text{]}$	10.0	6.7	5.0	4.0	3.3	2.9
$Q \text{ [nAs]}$	719	523	350	294	262	240
$\varepsilon_0 \text{ [pAs/Vm]}$	9.00	9.85	8.75	9.25	9.85	10.50

	$A = 0.0531 \text{ m}^2$		$d = 0.2 \text{ cm}$		$C = 218 \text{ nF}$			
$U_c \text{ [kV]}$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$U \text{ [V]}$	0.5	1.1	1.6	2.05	2.65	3.15	4.0	4.6
$Q \text{ [nAs]}$	109	240	348	447	578	687	872	1003
$\varepsilon_0 \text{ [pAs/Vm]}$	8.2	9.0	8.7	8.4	8.7	8.6	9.4	9.5

Dielektrik sabitinin ölçümü

Plastik:

	$A = 0.0531 \text{ m}^2$		$d = 0.98 \text{ cm}$		$C = 218 \text{ nF}$			
$U_c \text{ [kV]}$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$U \text{ [V]}$	0.5	0.92	1.35	1.8	2.3	2.8	3.1	3.7
$Q \text{ [nAs]}$	109	201	294	392	501	610	676	807
$Q \frac{d}{\varepsilon_0 U_c}$	4.6	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.0	4.2
$U_{\text{vac}} \text{ [V]}$	0.16	0.32	0.51	0.62	0.78	0.95	1.12	1.3
$Q_{\text{vac}} \text{ [nAs]}$	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

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

Cam: $\varepsilon_{\text{glass}} = 9.1$