

Tensión en un condensador de placas paralelas

MEDICIÓN ESTÁTICA DE LA TENSIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE PLACAS

- Medición estática de la tensión en un condensador de placas paralelas en función de la distancia entre placas.
- Confirmación de la proporcionalidad entre la tensión y la distancia entre placas para distancias entre placas pequeñas.

UE3010800

09/26 UD



Fig. 1: Montaje experimental

FUNDAMENTOS

Las placas cargadas de un condensador de placas paralelas ejercen entre sí una fuerza de atracción. Por lo tanto, debe realizarse trabajo mecánico para aumentar la distancia entre placas de un condensador de placas paralelas cargado que se haya desconectado de todos los cables de alimentación. La energía suministrada de este modo al condensador puede comprobarse observando un aumento de la tensión entre las placas, siempre que no pueda circular corriente entre ellas durante la medición de la tensión.

Condensador de placas paralelas ideal

Para describir con mayor precisión estas relaciones, considérese el campo eléctrico homogéneo E entre las placas del condensador, que poseen las cargas eléctricas Q y $-Q$. Se cumple:

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

A : área de la placa,

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$: permitividad del vacío.

Si no puede circular corriente al modificar la distancia entre placas d , la carga eléctrica Q y, por tanto, el campo eléctrico E permanecen constantes.

Para la carga eléctrica se cumple:

$$(2) \quad Q = C \cdot U$$

La capacitancia de un condensador de placas paralelas viene dada por:

$$(3) \quad C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

d : distancia entre placas.

Por lo tanto, para distancias entre placas pequeñas, en las que el campo eléctrico puede considerarse homogéneo, se cumple la siguiente relación entre la tensión U en el condensador y el campo eléctrico E :

$$(4) \quad U = E \cdot d$$

Es decir, la tensión U es proporcional a la distancia entre placas d .

Esta relación se verifica experimentalmente utilizando el medidor de campo eléctrico como voltímetro electrostático. De este modo se garantiza que no pueda circular corriente a través del voltímetro entre las placas del condensador y que la carga eléctrica Q de las placas del condensador permanezca constante.

Influencia de los equipos de medición

Al comienzo de la medición, el condensador de placas paralelas se carga una sola vez aplicando la tensión $U(d_0)$ con una distancia entre placas d_0 . Además de la capacitancia del condensador de placas paralelas, debe tenerse en cuenta la capacitancia C_M del montaje de medición.

Dado que la placa fija del condensador está conectada a la parte superior del molino de campo eléctrico del medidor de campo eléctrico y la placa móvil del condensador está conectada a la parte inferior del molino de campo eléctrico y puesta a tierra, todo el conjunto debe considerarse como un circuito en paralelo de capacitancias. En particular, las capacitancias del condensador de placas paralelas y del montaje de medición se suman para dar la capacitancia total:

$$(5) \quad C_{\text{tot}} = C(d_0) + C_M$$

Donde

$$(6) \quad C(d_0) = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d_0}$$

Por lo tanto, la carga total es:

$$(7) \quad Q_{\text{tot}} = [C(d_0) + C_M] \cdot U(d_0)$$

Si la distancia entre placas se aumenta hasta $d > d_0$, la carga total permanece constante, siempre que el condensador de placas paralelas permanezca eléctricamente aislado después de la carga:

$$(8) \quad Q_{\text{tot}} = [C(d) + C_M] \cdot U(d)$$

De las ecuaciones (7) y (8) se deduce que

$$(9) \quad U(d) = U(d_0) \cdot \frac{C(d_0) + C_M}{C(d) + C_M}$$

En particular, si la capacitancia C_M es despreciable, es decir, $C_M \ll C(d_0), C(d)$, se obtiene:

$$(10) \quad U(d) = U(d_0) \cdot \frac{C(d_0)}{C(d)}$$

Para eliminar la influencia de la capacitancia C_M sobre la tensión medida, esta debe multiplicarse por un factor de corrección que relacione las tensiones de las ecuaciones (9) y (10). Por lo tanto, la tensión corregida es:

$$(11) \quad U_{\text{corr}} = U_{\text{meas}} \cdot \frac{U(d_0) \cdot \frac{C(d_0)}{C(d)}}{U(d_0) \cdot \frac{C(d_0) + C_M}{C(d) + C_M}} = U_{\text{meas}} \cdot \frac{C(d) + C_M}{C(d)} \cdot \frac{C(d_0)}{C(d_0) + C_M}$$

U_{meas} : tensión medida,

U_{corr} : tensión corregida.

Nota:

Para $d = d_0$, $U_{\text{corr}} = U_{\text{meas}}$, porque $C(d) = C(d_0)$.

EQUIPO Y MATERIAL

1 Medidor de campo eléctrico	1021405
0	
1 Medidor de campo eléctrico (115 V, 50/60 Hz)	1021406
1 Condensador de placas paralelas, tipo D	1006798
1 Fuente de alimentación CC, 0–20 V, 0–5 A	1003312
0	
1 Fuente de alimentación CC, 0–20 V, 0–5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1 Multímetro digital P1035	1002781
3 Cables de experimentación, azul, rojo, 2 ud.	1024540
1 Cables de experimentación, negro, 2 ud.	1002850

MONTAJE

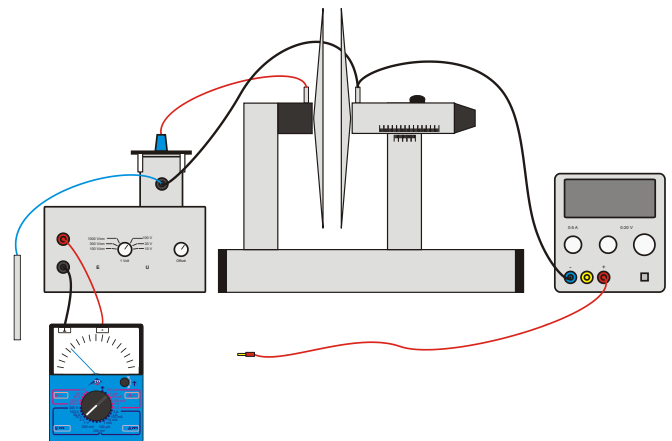


Fig. 2: Montaje experimental

- Montar el experimento como se muestra en la Fig. 1 o la Fig. 2.
- Colocar la placa de medición de tensión, rango de medición 1x, sobre el cilindro de blindaje del medidor de campo eléctrico, de modo que la distancia a la placa de blindaje sea lo más pequeña posible. Fijar la placa de medición de tensión con el tornillo moleteado.
- Conectar la placa fija del condensador a la placa de medición de tensión.

- Conectar la placa móvil del condensador al conector hembra de masa situado en el cilindro de blindaje del medidor de campo eléctrico y al polo negativo de la fuente de alimentación.
- Conectar la varilla de puesta a tierra al conector hembra de masa situado en el cilindro de blindaje del medidor de campo eléctrico.
- Conectar un extremo de un cable de experimentación al polo positivo de la fuente de alimentación. Colocar el otro extremo libre del cable sobre la mesa y déjelo sin conectar.
- Conectar el multímetro a la salida de tensión del medidor de campo eléctrico para medir la tensión.
- Ajustar el selector de rango de medición del medidor de campo eléctrico a 100 V, enciéndalo y esperar aproximadamente 3 minutos hasta que se haya estabilizado.

PROCEDIMIENTO

- Utilizar el tornillo de ajuste fino del condensador de placas paralelas para ajustar la distancia entre placas a $d = 2 \text{ mm} = d_0$.
- Encender la fuente de alimentación y ajustar la tensión a $U(d_0) = 10 \text{ V}$.
- Para descargar el condensador de placas paralelas, tocar la placa fija del condensador con la varilla de puesta a tierra, cortocircuitando así las placas. Al mismo tiempo, utilizar el regulador de offset para ajustar el punto cero del medidor de campo eléctrico.
- Retirar la varilla de puesta a tierra de la placa fija del condensador y sostenerla en la mano para la conexión equipotencial.
- Mantener la varilla de puesta a tierra en la mano durante toda la medición.
- Para cargar el condensador de placas paralelas, tocar la placa fija del condensador con el extremo libre del cable conectado al polo positivo de la fuente de alimentación.
- Una vez cargado el condensador de placas paralelas, separar el cable de la placa fija para que el condensador ya no esté conectado al polo positivo.
- Leer en el multímetro la tensión medida U_{meas} para la distancia entre placas ajustada $d = 2 \text{ mm} = d_0$ e introducir el valor en la Tabla 1.
- Aumentar la distancia entre placas en incrementos de 2 mm hasta $d = 18 \text{ mm}$, procediendo sin demoras innecesarias. En cada paso, leer la tensión medida U_{meas} correspondiente a la distancia entre placas ajustada e introducir el valor en la Tabla 1.

EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tabla 1: Tensión medida U_{meas} y tensión corregida U_{corr} en función de la distancia entre placas d

d / mm	$U_{\text{meas}} / \text{V}$	$U_{\text{corr}} / \text{V}$
2	10.0	10.0
4	16.2	19.8
6	20.7	29.8
8	24.2	40.2
10	26.9	50.6
12	28.9	60.7
14	30.1	69.9
16	31.5	80.1
18	32.0	88.4

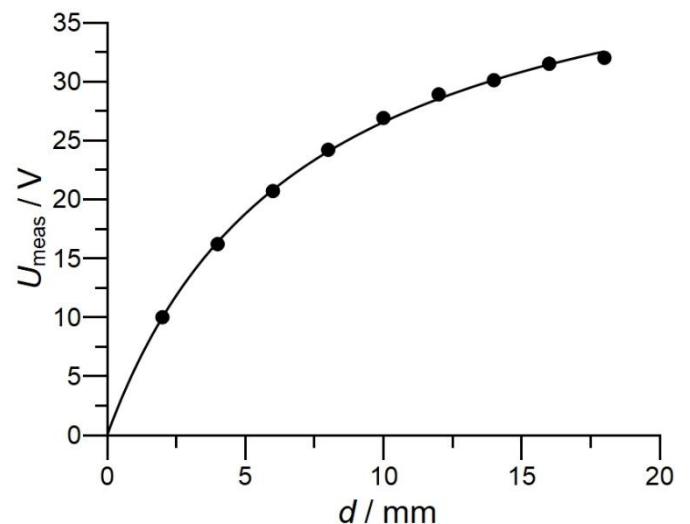


Fig. 3: Tensión medida U_{meas} en función de la distancia entre placas d , con una curva ajustada según la Ec. (9) para determinar la capacitancia C_M .

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Representar gráficamente las tensiones medidas U_{meas} de la Tabla 1 en función de las distancias entre placas ajustadas d (Fig. 3).

Los puntos de medición no muestran la relación lineal esperada según la Ec. (4). Para corregir la influencia del montaje de medición conforme a la Ec. (11), debe determinarse su capacitancia C_M .

- Ajustar la Ec. (9) a los puntos de medición $U_{\text{meas}}(d)$ para determinar la capacitancia desconocida C_M .

Parámetros:

$$d_0 = 2 \text{ mm}$$

$$U(d_0) = 10 \text{ V}$$

$$A = 0,05 \text{ m}^2: \text{área de la placa}$$

$$C(d_0) = 2,21 \cdot 10^{-10} \text{ F (de la Ec. (6))}$$

$$C(d) = 4,43 \cdot 10^{-13} \text{ F} / d \text{ (de la Ec. (3))}$$

El ajuste da como resultado $C_M = 62,5 \pm 0,6 \text{ pF}$.

- Utilizando las Ecs. (3), (6) y (11), así como el valor de C_M determinado mediante el ajuste, calcular las tensiones corregidas U_{corr} a partir de las tensiones medidas U_{meas} de la Tabla 1 e introducir los resultados en la Tabla 1.
- Representar gráficamente las tensiones corregidas U_{corr} de la Tabla 1 en función de las distancias entre placas ajustadas d y ajustar una línea recta que pase por el origen a los datos (Fig. 4).

Se hace visible la relación lineal $U \propto d$ que subyace al condensador de placas paralelas ideal.

Notas:

La representación gráfica corregida de este modo para tener en cuenta la influencia sistemática del montaje de medición ilustra la relación lineal $U \propto d$, pero no la verifica de forma independiente. El campo eléctrico conocido $E = U_0 / d_0 = 5 \text{ V/mm}$ se reproduce mediante la pendiente de la recta ajustada. Para una verificación independiente, la capacitancia C_M debe medirse por separado.

Dentro del rango de distancias entre placas considerado, los efectos de borde provocados por la creciente falta de homogeneidad del campo eléctrico no son significativamente visibles en comparación con la influencia dominante de la capacitancia del montaje de medición, ya que el diámetro de las placas (aproximadamente 25 cm) es grande en relación con las distancias entre placas ajustadas (2 – 18 mm).

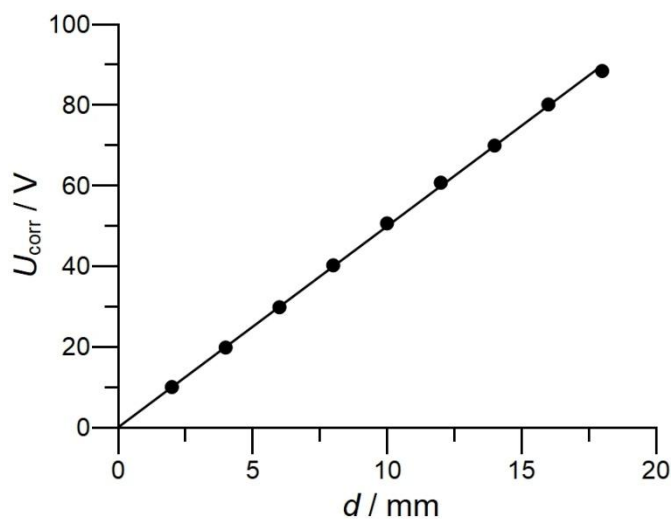


Fig. 4: Tensión corregida U_{corr} en función de la distancia entre placas d . Corrected voltage