

Tensão no capacitor de placas paralelas

MEDIÇÃO ESTÁTICA DA TENSÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE PLACAS

- Medição estática da tensão em um capacitor de placas paralelas em função da distância entre placas.
- Confirmação da proporcionalidade entre tensão e distância entre placas para pequenas distâncias entre placas.

UE3010800

09/26 UD

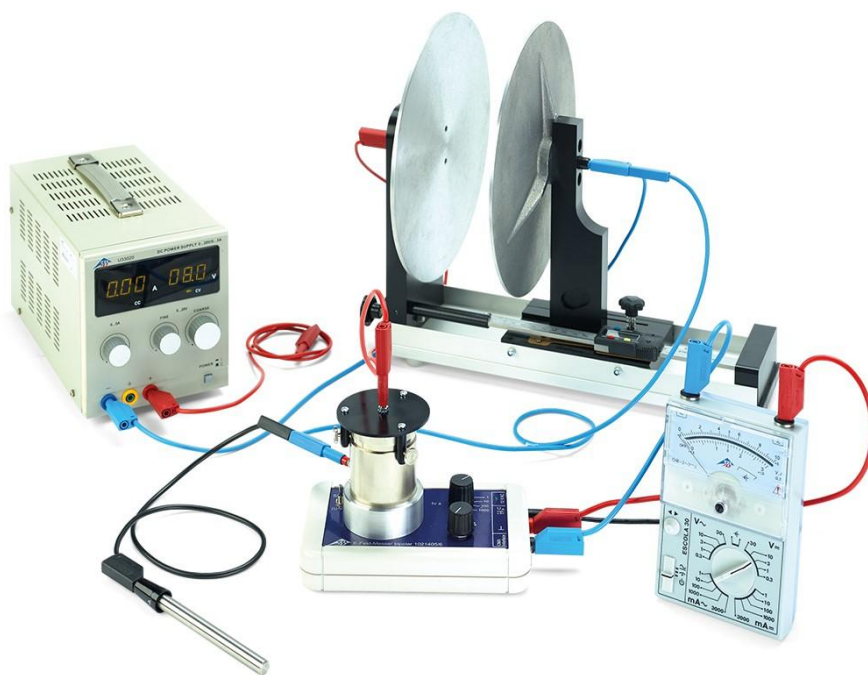


Abb. 1: Montagem experimental

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

As placas carregadas de um capacitor de placas paralelas exercem uma força de atração entre si. Portanto, para aumentar a distância entre placas de um capacitor de placas paralelas carregado e desconectado de quaisquer cabos de alimentação, é necessário realizar trabalho mecânico. A energia fornecida dessa forma ao capacitor pode ser comprovada pelo aumento da tensão entre as placas, desde que seja assegurado que, durante a medição da tensão, nenhuma corrente possa fluir entre as placas.

Capacitor ideal de placas paralelas

Para uma descrição mais precisa das relações, considera-se o campo elétrico homogêneo E entre as placas do capacitor que possuem as cargas Q e $-Q$. Tem-se:

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

A : Área da placa,

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$: Permissividade elétrica do vácuo.

Se, durante uma alteração da distância entre placas d , não puder haver fluxo de corrente, a carga Q e, consequentemente, também o campo elétrico E permanecem inalterados.

Para a carga, tem-se:

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

A capacitância de um capacitor de placas paralelas é dada por:

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

d : Distância entre placas.

Para pequenas distâncias, nas quais o campo elétrico pode ser considerado homogêneo, tem-se, portanto, para a tensão U no capacitor e o campo elétrico E .

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

ou seja, a tensão U é proporcional à distância entre placas d .

Isso é verificado no experimento com o medidor de campo elétrico como voltímetro eletrostático. Dessa forma, garante-se que nenhuma corrente possa fluir através do voltímetro entre as placas do capacitor e que a carga Q nas placas do capacitor seja mantida.

Influência dos equipamentos de medição

No início da medição, o capacitor de placas paralelas é carregado uma única vez mediante a aplicação da tensão $U(d_0)$, com uma distância entre placas d_0 . Além da capacitância do capacitor de placas paralelas, deve-se considerar a capacitância C_M da montagem de medição.

Como a placa fixa do capacitor está conectada à parte superior do moínho de campo elétrico do medidor de campo elétrico, e a placa móvel do capacitor está conectada à parte inferior do moínho de campo elétrico e aterrada, todo o arranjo deve ser considerado como um circuito em paralelo de capacitâncias. Em particular, as capacitâncias do capacitor de placas paralelas e da montagem de medição somam-se para formar a capacitância total

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

com

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

Para a carga total, resulta:

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

Se a distância entre placas for aumentada para $d > d_0$, a carga total permanecerá constante se o capacitor de placas paralelas permanecer eletricamente isolado após o carregamento:

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

De (7) e (8), resulta:

$$(9) \quad \begin{aligned} Q_{\text{tot}} &= [C(d) + C_M] \cdot U(d) = [C(d_0) + C_M] \cdot U(d_0) \Leftrightarrow \\ U(d) &= U(d_0) \cdot \frac{C(d_0) + C_M}{C(d) + C_M} \end{aligned}$$

Em particular, para o caso em que a capacitância C_M seja desprezível, ou seja, $C_M \ll C(d_0)$, $C(d)$, obtém-se:

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

Para eliminar da tensão medida a influência da capacitância C_M , é necessário multiplicá-la por um fator de correção que relacione as tensões de (9) e (10), de modo que, para a tensão

corrigida, resulte:

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

U_{meas} : Tensão medida,

U_{corr} : Tensão corrigida.

Observação:

Para $d = d_0$, tem-se $U_{\text{corr}} = U_{\text{meas}}$, pois $C(d) = C(d_0)$.

MATERIAL

1 Medidor de campo elétrico	1021405
ou	
1 Medidor de campo elétrico (115 V, 50/60 Hz)	1021406
1 Capacitor de placas paralelas, tipo D	1006798
1 Fonte de alimentação CC, 0–20 V, 0–5 A	1003312
ou	
1 Fonte de alimentação CC, 0–20 V, 0–5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1 Multímetro digital P1035	1002781
3 Cabos para experimentos, azul, vermelho, 2 unid.	1024540
1 Cabos para experimentos, preto, 2 unid.	1002850

MONTAGEM

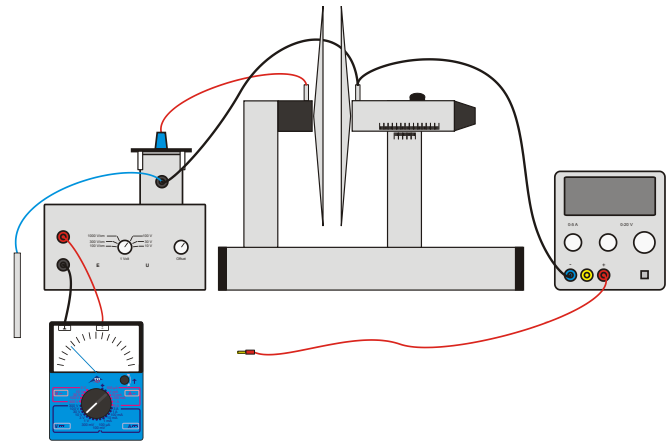


Abb. 2: Montagem experimental

- Montar o experimento conforme mostrado na Fig. 1 ou na Fig. 2.
- Colocar a placa de medição de tensão, com a faixa de medição 1x, sobre o cilindro de blindagem do medidor de campo elétrico, de modo que a distância até a placa de blindagem seja a menor possível. Fixar a placa de medição de tensão com o parafuso recartilhado.
- Conectar a placa fixa do capacitor à placa de medição de tensão.
- Conectar a placa móvel do capacitor ao conector fêmea de aterramento no cilindro de blindagem do medidor de campo elétrico e ao polo negativo da fonte de alimentação.

- Conectar a haste de aterramento ao conector fêmea de aterramento no cilindro de blindagem do medidor de campo elétrico.
- Conectar uma extremidade de um cabo para experimentos ao polo positivo da fonte de alimentação. Colocar a outra extremidade livre do cabo sobre a mesa e não conectá-la.
- Conectar o multímetro à saída de tensão do medidor de campo elétrico para medir a tensão.
- Ajustar o seletor de faixa de medição do medidor de campo elétrico para 100 V, ligar o medidor de campo elétrico e aguardar aprox. 3 minutos até que ele se estabilize.

PROCEDIMENTO

- Ajustar, com o auxílio do parafuso de ajuste fino do capacitor de placas paralelas, a distância entre placas para $d = 2 \text{ mm} = d_0$.
- Ligar a fonte de alimentação e ajustar a tensão para $U(d_0) = 10 \text{ V} = U_0$.
- Para descarregar o capacitor de placas paralelas, tocar a placa fixa do capacitor com a haste de aterramento, colocando assim as placas em curto-circuito. Ao mesmo tempo, ajustar o ponto zero no medidor de campo elétrico com o auxílio do regulador de offset.
- Retirar a haste de aterramento da placa fixa do capacitor e segurá-la na mão para a equipotencialização.
- Não soltar a haste de aterramento da mão durante toda a medição.
- Para carregar o capacitor de placas paralelas, tocar a placa fixa do capacitor com a extremidade livre do cabo conectado ao polo positivo da fonte de alimentação.
- Quando o capacitor de placas paralelas estiver carregado, retirar novamente o cabo da placa fixa do capacitor, de modo que o capacitor de placas paralelas fique desconectado do polo positivo.
- No multímetro, ler a tensão U_{meas} para a distância entre placas ajustada $d = 2 \text{ mm} = d_0$ e registrar o valor na Tab. 1.
- Aumentar a distância entre placas em incrementos de 2 mm, em ritmo adequado, até $d = 18 \text{ mm}$; a cada etapa, ler a tensão U_{meas} correspondente à distância entre placas ajustada e registrar o valor na Tab. 1.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 1: Tensões medidas U_{meas} e tensões corrigidas U_{corr} em função da distância 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

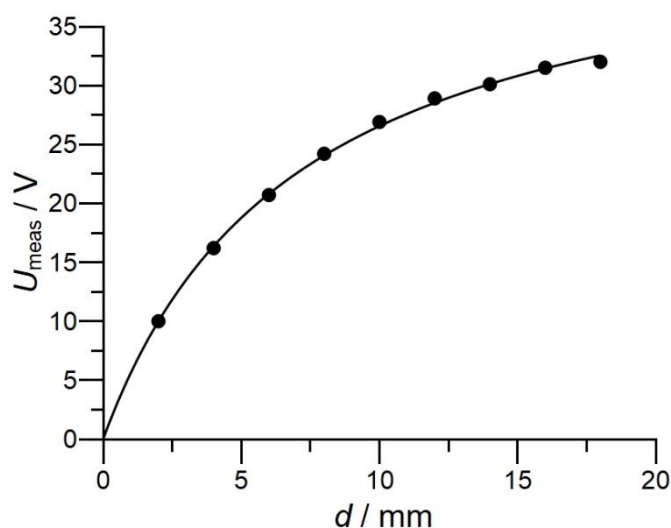


Fig. 3: Tensão medida U_{meas} em função da distância entre placas d e curva ajustada de acordo com a equação (9) para determinar a capacitância C_M

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Representar graficamente as tensões medidas U_{meas} da Tab. 1 em função das distâncias ajustadas entre placas d (Fig. 3).

Os pontos de medição não reproduzem o comportamento linear esperado de acordo com a equação (4). Para eliminar a influência da montagem de medição de acordo com a equação (11), é necessário determinar sua capacitância C_M .

- Ajustar a equação (9) aos pontos de medição $U_{\text{meas}}(d)$ para determinar a capacitância desconhecida C_M .

Parâmetros:

$d_0 = 2 \text{ mm}$

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

$A = 0,05 \text{ m}^2$: Área da placa

$C(d_0) = 2,21 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ (a partir da equação (6))

$C(d) = 4,43 \cdot 10^{-13} \text{ F} / d$ (a partir da equação (3))

O ajuste resulta em $C_M = 62,5 \pm 0,6 \text{ pF}$.

- Com o auxílio das equações (3), (6) e (11) e do valor de C_M determinado a partir do ajuste, calcular as tensões corrigidas U_{corr} a partir das tensões medidas U_{meas} (Tab. 1) e registrar os valores na Tab. 1.
- Representar graficamente os valores das tensões corrigidas U_{corr} da Tab. 1 em função das distâncias entre placas d ajustadas e ajustar uma reta que passe pela origem (Fig. 4).

A relação linear $U \propto d$, que caracteriza o capacitor ideal de placas paralelas, torna-se visível.

Observações:

A representação corrigida dessa forma quanto à influência sistemática da montagem de medição ilustra a relação linear $U \propto d$, mas não a comprova de forma independente. O campo elétrico conhecido $E = U_0 / d_0 = 5 \text{ V/mm}$ é reproduzido pela inclinação da reta. Para uma comprovação independente, a capacitância C_M deve ser medida separadamente.

Os efeitos de borda decorrentes da crescente não homogeneidade do campo elétrico não são significativos, na faixa de distâncias considerada, em comparação com a influência dominante da capacitância da montagem de medição, pois o diâmetro das placas (aprox. 25 cm) é grande em relação às distâncias entre placas ajustadas (2 – 18 mm).

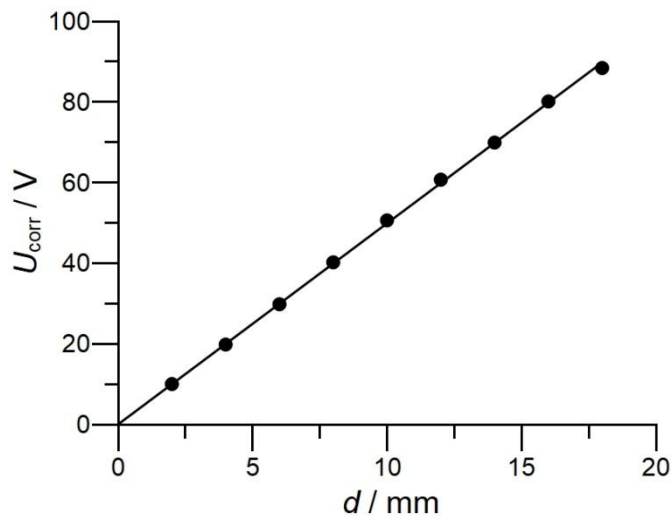


Fig. 4: Tensão corrigida U_{corr} em função da distância entre placas d