

Tensione sul condensatore a piastre parallele

MISURA STATICA DELLA TENSIONE IN FUNZIONE DELLA DISTANZA TRA LE PIASTRE

- Misura statica della tensione su un condensatore a piastre parallele in funzione della distanza tra le piastre.
- Conferma della proporzionalità tra tensione e distanza tra le piastre per piccole distanze tra le piastre.

UE3010800

09/26 UD



Fig. 1: Apparato sperimentale

PRINCIPI

Le piastre cariche di un condensatore a piastre parallele esercitano una forza di attrazione reciproca. Per aumentare la distanza tra le piastre di un condensatore a piastre parallele carico e scollegato da tutti i cavi per esperimenti, è pertanto necessario compiere lavoro meccanico. L'energia fornita in questo modo al condensatore può essere rilevata come un aumento della tensione tra le piastre, a condizione che durante la misura della tensione non possa fluire corrente tra le piastre.

Condensatore ideale a piastre parallele

Per descrivere più precisamente le relazioni, si considera il campo elettrico omogeneo E tra le piastre del condensatore che portano le cariche Q e $-Q$. Vale:

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

A : Area della piastra,

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

Se durante una variazione della distanza tra le piastre d non può fluire corrente, la carica Q e quindi anche il campo elettrico E rimangono invariati.

Per la carica vale:

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

La capacità elettrica di un condensatore a piastre parallele è data da:

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

d : Distanza tra le piastre.

Per piccole distanze, per le quali il campo elettrico può essere considerato omogeneo, per la tensione U sul condensatore e il campo elettrico E vale quindi:

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

cioè la tensione U è proporzionale alla distanza tra le piastre d .

Questo viene verificato nell'esperimento con il misuratore di campo elettrico utilizzato come voltmetro elettrostatico. In questo modo si garantisce che non possa fluire corrente attraverso il voltmetro tra le piastre del condensatore e che la carica Q sulle piastre del condensatore rimanga costante.

Influenza degli strumenti di misura

All'inizio della misura, il condensatore a piastre parallele viene caricato una sola volta applicando la tensione $U(d_0)$ con una distanza tra le piastre d_0 . Oltre alla capacità elettrica del condensatore a piastre parallele, deve essere considerata anche la capacità elettrica C_M della configurazione di misura.

Poiché la piastra fissa del condensatore è collegata alla parte superiore del mulino di campo elettrico del misuratore di campo elettrico e la piastra mobile del condensatore è collegata alla parte inferiore del mulino di campo elettrico e messa a terra, l'intero apparato deve essere considerato come un circuito in parallelo di capacità elettriche. In particolare, le capacità elettriche del condensatore a piastre parallele e della configurazione di misura si sommano formando la capacità totale

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

con

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

Per la carica totale ne consegue:

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

Se la distanza tra le piastre viene aumentata a $d > d_0$, la carica totale rimane costante, purché il condensatore a piastre parallele rimanga elettricamente isolato dopo la carica:

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

Da (7) e (8) segue:

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

In particolare, nel caso in cui la capacità elettrica C_M sia trascurabile, cioè $C_M \ll C(d_0)$, $C(d)$, si ottiene:

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

Per eliminare l'influenza della capacità elettrica C_M sulla

tensione misurata, questa deve essere moltiplicata per un fattore di correzione che mette in relazione le tensioni delle equazioni (9) e (10), ottenendo così per la tensione corretta:

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

U_{meas} : Tensione misurata,
 U_{corr} : Tensione corretta.

Nota:

A $d = d_0$ vale $U_{\text{corr}} = U_{\text{meas}}$ poiché $C(d) = C(d_0)$.

APPARECCHIATURE E MATERIALI

1 Misuratore di campo elettrico oppure	1021405
1 Misuratore di campo elettrico (115 V, 50/60 Hz)	1021406
1 Condensatore a piastre parallele, tipo D	1006798
1 Alimentatore CC, 0–20 V, 0–5 A	1003312
oppure	
1 Alimentatore CC, 0–20 V, 0–5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1 Multimetro digitale P1035	1002781
3 Cavi per esperimenti, blu, rosso, 2 pz.	1024540
1 Cavi per esperimenti, nero, 2 pz.	1002850

MONTAGGIO

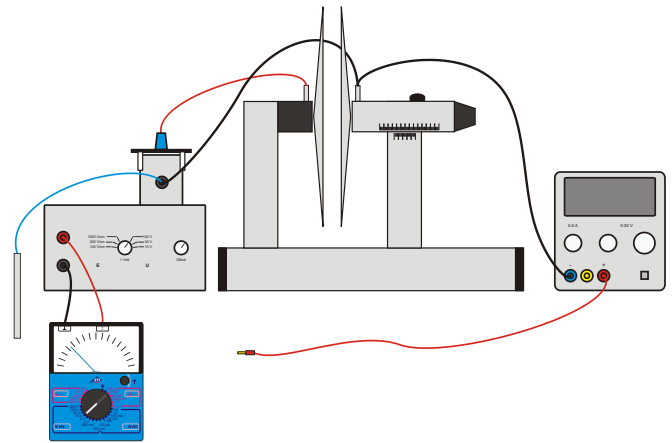


Fig. 2: Apparato sperimentale

- Montare l'esperimento come mostrato nella Fig. 1 o nella Fig. 2.
- Posizionare la piastra di misura della tensione con campo di misura 1x sul cilindro di schermatura del misuratore di campo elettrico in modo che la distanza dalla piastra di schermatura sia la minima possibile. Fissare la piastra di misura della tensione con l'ausilio della vite zigrinata.
- Collegare la piastra fissa del condensatore alla piastra di misura della tensione.
- Collegare la piastra mobile del condensatore alla boccola di massa sul cilindro di schermatura del misuratore di campo elettrico e al polo negativo dell'alimentatore.

- Collegare l'asta di messa a terra alla boccia di massa sul cilindro di schermatura del misuratore di campo elettrico.
- Collegare un'estremità di un cavo per esperimenti al polo positivo dell'alimentatore. Posizionare l'altra estremità libera del cavo sul tavolo e non collegarla.
- Collegare il multimetro per la misura della tensione all'uscita di tensione del misuratore di campo elettrico.
- Impostare il selettore del campo di misura del misuratore di campo elettrico su 100 V, accendere il misuratore di campo elettrico e attendere circa 3 minuti fino a quando si è stabilizzato.

PROCEDIMENTO

- Con l'ausilio della vite di regolazione fine del condensatore a piastre parallele, impostare la distanza tra le piastre $d = 2 \text{ mm} = d_0$.
- Accendere l'alimentatore e impostare la tensione $U(d_0) = 10 \text{ V} = U_0$.
- Per scaricare il condensatore a piastre parallele, toccare la piastra fissa del condensatore con l'asta di messa a terra, cortocircuitando così le piastre. Contemporaneamente, regolare il punto zero sul misuratore di campo elettrico mediante il regolatore di offset.
- Allontanare l'asta di messa a terra dalla piastra fissa del condensatore e tenerla in mano per garantire il collegamento equipotenziale.
- Durante l'intera misura, non lasciare più l'asta di messa a terra.
- Per caricare il condensatore a piastre parallele, toccare la piastra fissa del condensatore con l'estremità libera del cavo collegato al polo positivo dell'alimentatore.
- Quando il condensatore a piastre parallele è carico, allontanare nuovamente il cavo dalla piastra fissa del condensatore, in modo da separare il condensatore a piastre parallele dal polo positivo.
- Leggere sul multimetro la tensione U_{meas} per la distanza tra le piastre impostata $d = 2 \text{ mm} = d_0$ e riportare il valore nella Tab. 1.
- Aumentare la distanza tra le piastre in incrementi di 2 mm fino a $d = 18 \text{ mm}$, procedendo senza indugio; a ogni incremento, leggere la tensione U_{meas} corrispondente alla distanza tra le piastre impostata e riportare il valore nella Tab. 1.

ESEMPIO DI MISURA

Tab. 1: Tensioni misurate U_{meas} e tensioni corrette U_{corr} in funzione della distanza tra le piastre 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

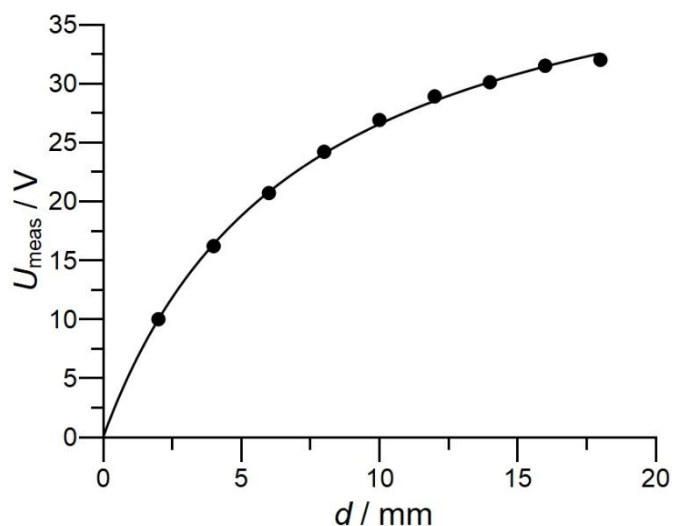


Fig. 3: Tensione misurata U_{meas} in funzione della distanza tra le piastre d e curva adattata secondo l'equazione (9) per determinare la capacità elettrica C_M .

ANALISI DEI DATI

- Rappresentare graficamente le tensioni misurate U_{meas} della Tab. 1 in funzione delle distanze tra le piastre d impostate (Fig. 3).

I punti di misura non rispecchiano l'andamento lineare previsto dall'equazione (4). Per poter eliminare l'influenza della configurazione di misura secondo l'equazione (11), è necessario determinarne la capacità elettrica C_M .

- Adattare l'equazione (9) ai punti di misura $U_{\text{meas}}(d)$ per determinare la capacità elettrica incognita C_M .

Parametri:

$d_0 = 2 \text{ mm}$

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

$A = 0,05 \text{ m}^2$: Area della piastra

$C(d_0) = 2,21 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ (dall'equazione (6))

$C(d) = 4,43 \cdot 10^{-13} \text{ F} / d$ (dall'equazione (3))

L'adattamento fornisce $C_M = 62,5 \pm 0,6 \text{ pF}$.

- Con l'ausilio delle equazioni (3), (6) e (11) e del valore di C_M determinato mediante l'adattamento, calcolare le tensioni corrette U_{corr} a partire dalle tensioni misurate U_{meas} (Tab. 1) e riportarle nella Tab. 1.
- Rappresentare graficamente i valori delle tensioni corrette U_{corr} della Tab. 1 in funzione delle distanze tra le piastre d impostate e adattare una retta passante per l'origine (Fig. 4).

La relazione lineare $U \propto d$ alla base del condensatore ideale a piastre parallele diventa evidente.

Note:

La rappresentazione, corretta in questo modo per l'influenza sistematica della configurazione di misura, illustra la relazione lineare $U \propto d$, ma non ne fornisce una verifica indipendente. Il campo elettrico noto $E = U_0 / d_0 = 5 \text{ V/mm}$ viene riprodotto dalla pendenza della retta. Per una verifica indipendente, la capacità elettrica C_M deve essere misurata separatamente.

Gli effetti di bordo dovuti alla crescente disomogeneità del campo elettrico non sono significativi, nell'intervallo di distanze considerato, rispetto all'influenza dominante della capacità elettrica della configurazione di misura, poiché il diametro delle piastre (circa 25 cm) è grande rispetto alle distanze tra le piastre impostate (2 – 18 mm).

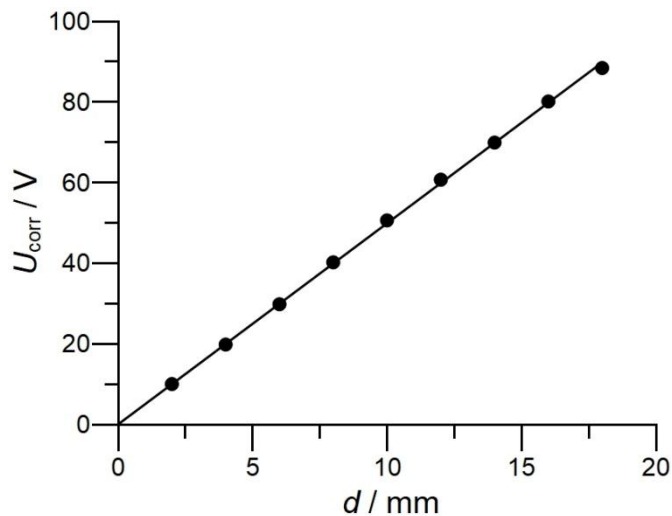


Fig. 4: Tensione corretta U_{corr} in funzione della distanza tra le piastre d