

TENSION AUX BORNES D'UN CONDENSATEUR À PLAQUES

MESURE STATIQUE DE LA TENSION EN FONCTION DE L'ÉCARTEMENT DES PLAQUES

- Mesure statique de la tension aux bornes d'un condensateur à plaques en fonction de l'écartement des plaques.
- Confirmation de la proportionnalité entre la tension et l'écartement des plaques pour de faibles écartements des plaques.

UE3010800

09/26 UD



Fig. 1 : Montage expérimental

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Les plaques chargées d'un condensateur à plaques exercent l'une sur l'autre une force d'attraction. Pour augmenter l'écartement des plaques d'un condensateur à plaques chargé et déconnecté de toute liaison électrique, il faut donc fournir un travail mécanique. L'énergie ainsi fournie au condensateur peut être mise en évidence par une augmentation de la tension entre les plaques, à condition de s'assurer qu'aucun courant ne puisse circuler entre les plaques lors de la mesure de la tension.

Condensateur à plaques idéal

Pour décrire plus précisément les relations, on considère le champ électrique homogène E entre les plaques du condensateur portant les charges Q et $-Q$. On a :

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

A: surface de la plaque,

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$: permittivité du vide.

Si aucun courant ne peut circuler lors d'une modification de l'écartement des plaques d , la charge Q et, par conséquent, le champ électrique E restent inchangés.

Pour la charge, on a :

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

La capacité électrique d'un condensateur à plaques est donnée par :

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

d : écartement des plaques.

Pour de faibles écartements, pour lesquels le champ électrique peut être considéré comme homogène, on a donc, pour la tension U aux bornes du condensateur et le champ électrique E :

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

c'est-à-dire que la tension U est proportionnelle à l'écartement des plaques d .

Cela est vérifié expérimentalement à l'aide d'appareil de mesure de champ électrique utilisé comme voltmètre électrostatique. Il est ainsi garanti qu'aucun courant ne peut circuler à travers le voltmètre entre les plaques du condensateur et que la charge Q sur les plaques du condensateur reste constante.

Influence des appareils de mesure

Au début de la mesure, le condensateur à plaques est chargé une seule fois en appliquant la tension $U(d_0)$ pour un écartement des plaques d_0 . Outre la capacité électrique du condensateur à plaques, il faut tenir compte de la capacité électrique C_M du montage de mesure.

Comme la plaque fixe du condensateur est reliée à la face supérieure du moulin à champ d'appareil de mesure de champ électrique et que la plaque mobile du condensateur est reliée à la face inférieure du moulin à champ et mise à la terre, l'ensemble du montage doit être considéré comme un circuit en parallèle de capacités électriques. En particulier, les capacités électriques du condensateur à plaques et du montage de mesure s'additionnent pour donner la capacité totale :

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

avec

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

Il en résulte pour la charge totale :

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

Si l'écartement des plaques est augmenté jusqu'à $d > d_0$, la charge totale reste constante si le condensateur à plaques reste isolé électriquement après avoir été chargé :

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

Des équations (7) et (8), on obtient :

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

En particulier, dans le cas où la capacité électrique C_M est négligeable, c'est-à-dire $C_M \ll C(d_0)$, $C(d)$, on obtient :

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

Afin d'éliminer l'influence de la capacité électrique C_M sur la tension mesurée, celle-ci doit être multipliée par un facteur de correction qui met en relation les tensions des équations (9) et (10). On obtient ainsi pour la tension corrigée :

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

U_{meas} : tension mesurée,

U_{corr} : tension corrigée.

Remarque :

Pour $d = d_0$, on a $U_{\text{corr}} = U_{\text{meas}}$, puisque $C(d) = C(d_0)$.

MATÉRIEL

1 Appareil de mesure de champ électrique	1021405
ou	
1 Appareil de mesure de champ électrique (115 V, 50/60 Hz)	1021406
1 Condensateur à plaques, type D	1006798
1 Alimentation continue, 0–20 V, 0–5 A	1003312
ou	
1 Alimentation continue, 0–20 V, 0–5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1 Multimètre numérique P1035	1002781
3 Cordons électriques standard, bleu, rouge, 2 pces.	1024540
1 Cordons électriques standard, noir, 2 pces.	1002850

MONTAGE

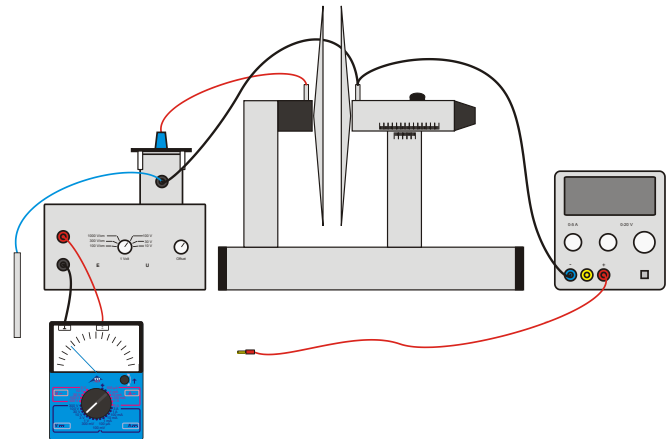


Fig. 2 : Montage expérimental

- Monter l'expérience comme indiqué à la fig. 1 ou à la fig. 2.
- Placer la plaque de mesure de tension, avec la plage de mesure 1x, sur le cylindre de blindage d'appareil de mesure de champ électrique de manière à ce que la distance par rapport à la plaque de blindage soit aussi faible que possible. Fixer la plaque de mesure de tension à l'aide de la vis moletée.
- Relier la plaque fixe du condensateur à la plaque de mesure de tension.

- Relier la plaque mobile du condensateur à la douille de masse située sur le cylindre de blindage d'appareil de mesure de champ électrique ainsi qu'au pôle négatif de l'alimentation.
- Raccorder la tige de mise à la terre à la douille de masse située sur le cylindre de blindage d'appareil de mesure de champ électrique.
- Raccorder une extrémité d'un cordon électrique au pôle positif de l'alimentation. Poser l'autre extrémité libre du cordon sur la table sans la raccorder.
- Raccorder le multimètre à la sortie de tension d'appareil de mesure de champ électrique pour mesurer la tension.
- Régler le sélecteur de plage de mesure d'appareil de mesure de champ électrique sur 100 V, mettre l'appareil de mesure de champ électrique sous tension et attendre environ 3 minutes jusqu'à ce qu'il se soit stabilisé.

PROCÉDURE

- Régler l'écartement des plaques sur $d = 2 \text{ mm} = d_0$ à l'aide de la vis de réglage fin du condensateur à plaques.
- Mettre l'alimentation sous tension et régler la tension $U(d_0) = 10 \text{ V} = U_0$.
- Pour décharger le condensateur à plaques, toucher la plaque fixe du condensateur avec la tige de mise à la terre afin de court-circuiter les plaques. Régler simultanément le point zéro d'appareil de mesure de champ électrique à l'aide du réglage d'offset.
- Retirer la tige de mise à la terre de la plaque fixe du condensateur et la tenir dans la main afin d'assurer la liaison équipotentielle.
- Ne plus lâcher la tige de mise à la terre pendant toute la durée de la mesure.
- Pour charger le condensateur à plaques, toucher la plaque fixe du condensateur avec l'extrémité libre du cordon raccordé au pôle positif de l'alimentation.
- Lorsque le condensateur à plaques est chargé, retirer de nouveau le cordon de la plaque fixe du condensateur afin que le condensateur à plaques soit déconnecté du pôle positif.
- Lire sur le multimètre la tension U_{meas} pour l'écartement des plaques réglé à $d = 2 \text{ mm} = d_0$ et reporter la valeur dans le tableau 1.
- Augmenter rapidement l'écartement des plaques par pas de 2 mm jusqu'à $d = 18 \text{ mm}$. À chaque étape, relever la tension mesurée U_{meas} pour l'écartement des plaques réglé et reporter la valeur dans le tableau 1.

EXEMPLE DE MESURE

Tableau 1 : Tensions mesurées U_{meas} et tensions corrigées U_{corr} en fonction de l'écartement des plaques 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

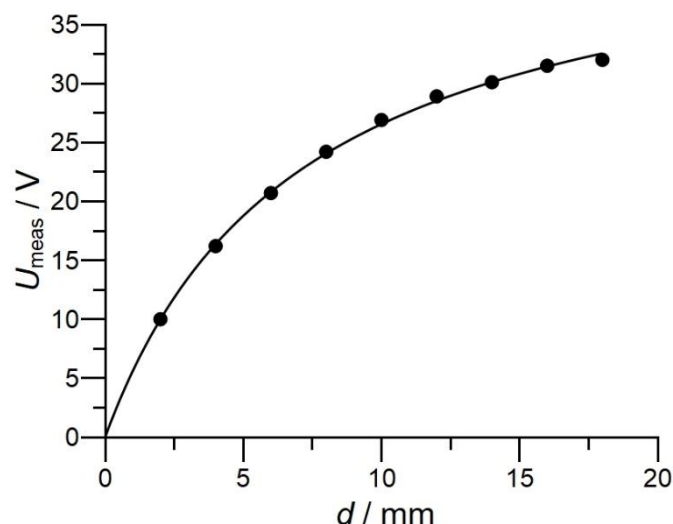


Fig. 3 : Tension mesurée U_{meas} en fonction de l'écartement des plaques d et courbe ajustée selon l'équation (9) pour déterminer la capacité électrique C_M

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Représenter graphiquement les tensions mesurées U_{meas} du tableau 1 en fonction des écartements d réglés des plaques (fig. 3).

Les points de mesure ne reproduisent pas l'évolution linéaire attendue selon l'équation (4). Afin de pouvoir éliminer l'influence du montage de mesure conformément à l'équation (11), il faut déterminer sa capacité électrique C_M .

- Ajuster l'équation (9) aux points de mesure $U_{\text{meas}}(d)$ afin de déterminer la capacité électrique inconnue C_M .

Paramètres :

$d_0 = 2 \text{ mm}$

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

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

$C(d_0) = 2,21 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ (d'après l'équation (6))

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

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

- À l'aide des équations (3), (6) et (11) ainsi que de la valeur de C_M déterminée par l'ajustement, calculer les tensions corrigées U_{corr} à partir des tensions mesurées U_{meas} (tableau 1) et inscrire les valeurs dans le tableau 1.
- Représenter graphiquement les valeurs des tensions corrigées U_{corr} du tableau 1 en fonction des écartements d réglés des plaques et ajuster une droite passant par l'origine (fig. 4).

La relation linéaire $U \propto d$ qui caractérise le condensateur à plaques idéal devient visible.

Remarques :

La représentation ainsi corrigée pour l'influence systématique du montage de mesure illustre la relation linéaire $U \propto d$, mais ne la démontre pas de manière indépendante. Le champ électrique connu $E = U_0 / d_0 = 5 \text{ V/mm}$ est reproduit par la pente de la droite. Pour une démonstration indépendante, la capacité électrique C_M doit être mesurée séparément.

Les effets de bord dus à l'inhomogénéité croissante du champ électrique ne sont pas significatifs, dans la plage d'écartements considérée, par rapport à l'influence dominante de la capacité électrique du montage de mesure, car le diamètre des plaques (env. 25 cm) est grand par rapport aux écartements des plaques réglés (2 – 18 mm).

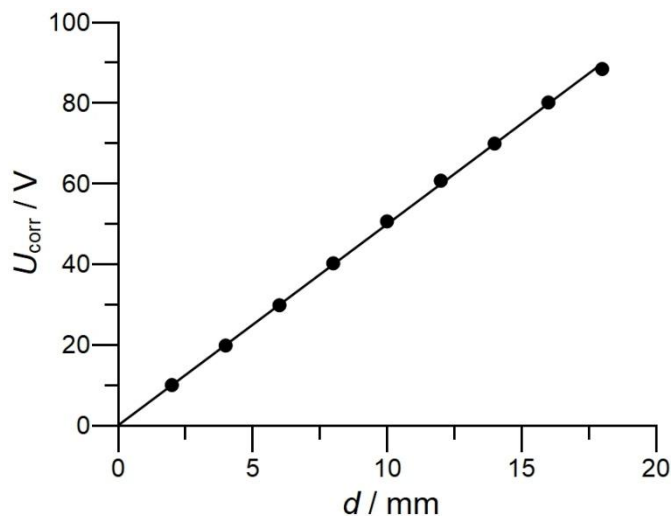


Fig. 4 : Tension corrigée U_{corr} en fonction de l'écartement des plaques d