

## PRÀCTICA III

### 3. MESURA DE LA PERMITIVITAT ELÈCTRICA DE MATERIALS

#### 3.1. Fonament

En aquest treball de laboratori s'observarà com la presència d'un dielèctric incrementa la capacitat d'un condensador pla. Amb les mesures efectuades s'obtindrà el valor de la permitivitat relativa,  $\epsilon_r$ . A continuació es mesurarà la permitivitat relativa de diferents materials. Finalment s'estudiarà la dependència de  $\epsilon_r$  en funció de la freqüència del senyal elèctric aplicat, cosa que és fonamental per poder entendre les propietats físiques dels medis dielèctrics.

##### 3.1.1. Polarització d'un dielèctric

Un dielèctric és un material que no disposa de càrregues mòbils, per la qual cosa el seu comportament és aïllant. Entre els sòlids dielèctrics podem citar el vidre, les ceràmiques, la fusta, molts plàstics, la baquelita i les fibres tèxtils.

Es diu que un dielèctric està polaritzat quan els elements de volum,  $dv$ , que el constitueixen es comporten com a dipols elèctrics elementals i presenten un moment dipolar,  $d\vec{p}$ . Això fa que en cada punt del dielèctric es pugui definir una densitat del moment dipolar anomenada *polarització*,  $\vec{P}$ :

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dv}. \quad (1)$$

Les unitats de  $d\vec{p}$  són de càrrega per longitud, per tant,  $\vec{P}$  tindrà unitats de càrrega dividit per longitud al quadrat, que correspon a una densitat superficial de càrrega.

Aquesta polarització té dues conseqüències: la primera és que el dielèctric pot experimentar forces i parells de forces de caràcter elèctric, tot i ser elèctricament neutre. Això és el que fa que una pantalla de televisor (que crea camp elèctric) atregui partícules de pols (molt sovint constituïdes per fibres tèxtils elèctricament neutres). La segona conseqüència és que el medi polaritzat crea camp elèctric,  $\vec{E}_p$ , que, en cada punt, se superposa als camps creats per les distribucions de càrrega lliure,  $\vec{E}_{Ll}$ , de manera que el camp total,  $\vec{E}$ , val:

$$\vec{E} = \vec{E}_{Ll} + \vec{E}_p. \quad (2)$$

Concretament, en el cas d'una làmina polaritzada de manera uniforme, perpendicularment a les seves cares, es pot demostrar que el camp,  $\vec{E}_p$ , creat és el que crearien unes densitats superficials de càrrega:

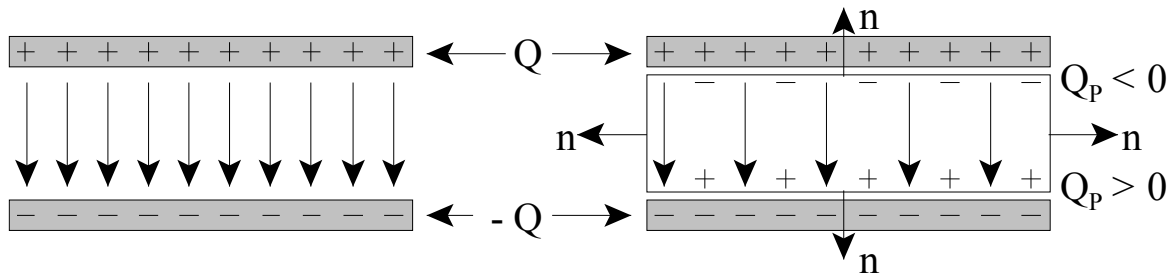
$$\sigma_p = \vec{P} \cdot \vec{n}, \quad (3)$$

on  $\vec{n}$  és un vector unitari normal a la superfície límit del dielèctric i dirigit cap a fora (vegeu la figura 1). Aquestes densitats de càrrega són positives en un costat de la làmina i negatives en l'altre. El camp creat per aquestes càrregues se superposa, en cada punt de l'espai, al camp creat per altres distribucions de càrrega, cosa que, *a priori*, en dificulta la resolució.

Per tal d'estudiar els camps en medis dielèctrics, en cada punt de l'espai i a partir de  $\vec{E}$  i  $\vec{P}$ , es defineix un nou camp,  $\vec{D}$ :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (4)$$

on  $\epsilon_0 \approx (4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)^{-1} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  és la permitivitat elèctrica del buit.



**Figura 1.** Línies de camp elèctric entre les plaques d'un condensador sense dielèctric (esquerra) i amb dielèctric (dreta).

### 3.1.2. Medis lineals

El mecanisme físic (aplicació de camps elèctrics i/o de tensions mecàniques, escalfament, etc.) que fa que un cert dielèctric es polaritzi depèn de la naturalesa del material. Experimentalment s'ha trobat que en una gran part dels materials la polarització,  $\vec{P}$ , que apareix com a resultat de l'aplicació d'un camp elèctric,  $\vec{E}$ , presenta una proporcionalitat entre el camp i la polarització donat per:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}, \quad (5)$$

on  $\chi$  és una constant adimensional anomenada *susceptibilitat elèctrica del medi*. Els medis que compleixen l'equació 5 s'anomenen *medis lineals*. A partir de les igualtats 4 i 5 es dedueix una proporcionalitat entre  $\vec{D}$  i  $\vec{E}$  per als medis lineals:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \epsilon \vec{E}, \quad (6)$$

on  $\epsilon$  i  $\epsilon_r$  es coneixen, respectivament, com a *permitivitat elèctrica* i *permitivitat elèctrica relativa del medi*.

### 3.1.3. Estudi de la polarització en un medi lineal

Quan un condensador pla de capacitat  $C_0$  es connecta a una diferència de potencial  $V$ , el condensador adquireix una càrrega  $Q$  (positiva en una de les armadures i negativa en l'altra) tal que:

$$C_0 = \frac{Q}{V}. \quad (7)$$

Si l'espai comprès entre les armadures del condensador s'omple amb un dielèctric lineal de permitivitat relativa  $\epsilon_r$ , tindrem que, per a una mateixa  $Q$ , la diferència de potencial és  $V' = V/\epsilon_r$  (vegeu la figura 1), de manera que el condensador que hem obtingut omplint l'espai entre armadures amb el dielèctric presenta una capacitat:

$$C = \frac{Q}{V'} = \frac{\epsilon_r Q}{V} = \epsilon_r C_0. \quad (8)$$

## 3.2. Material

- Mesurador d'impedàncies que actua com a capacímetre.
- Condensador pla de separació entre elèctrodes variable (diàmetre de les plaques: 256 mm).
- Joc de làmines de vidre de diferents gruixos:  $d_i = 3, 4, 5, 6, 8$  i 10 mm.
- Joc de làmines de diferents materials dielèctrics.
- Condensador comercial de 100 pF de capacitat nominal.

## 3.3. Procediment experimental

### 3.3.1. Observació del fenomen de polarització i determinació de la permitivitat del vidre

- Connecteu el mesurador d'impedàncies als terminals del condensador de capacitat variable i feu que mesuri capacitats (ha d'estar activat un indicador lluminós marcat amb C).
- Introduïu, completament, entre les armadures del condensador la primera de les plaques de vidre (de gruix  $d_1$ ) i, amb delicadesa, reduïu la separació entre plaques de manera que quedi suaument ajustada al vidre (que s'ha de poder extreure només estirant).
- Efectueu la mesura de la capacitat del condensador,  $C(d_1)$ .
- Sense modificar la separació entre plaques, traieu completament el vidre i efectueu una nova lectura de la capacitat del condensador  $C_0(d_1)$ .
- Repetiu els tres passos anteriors per a la resta de plaques de vidre.
- Feu les mesures corresponents als gruixos de 7 i 9 mm combinant dues plaques en sèrie.

### 3.3.2. Mesura de la permitivitat de diferents materials

- Introduïu, completament, entre les armadures del condensador, una làmina d'un dels materials dielèctrics per estudiar. Amb delicadesa, reduïu la separació entre les plaques del condensador de manera que quedi suaument ajustada a la làmina de material (que s'ha de poder extreure només estirant).
- Efectueu la mesura de la capacitat del condensador,  $C$ , i de la separació entre plaques,  $d$ .
- Sense modificar la separació entre plaques, traieu completament la làmina i efectueu una nova lectura de la capacitat del condensador  $C_0$ .
- Repetiu els tres passos anteriors per a la resta de làmines.

### 3.3.3. Mesura de la permitivitat en funció de la freqüència

- Torneu a introduir la làmina de vidre més gruixuda.
- Amb l'ajuda del teclat numèric i de la tecla *Hz*, feu que la mesura de la capacitat es faci a 100 Hz. Anoteu la freqüència i el valor corresponent de la capacitat.
- Repetiu l'operació anterior per a les freqüències 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 kHz i 1, 2, 5 i 10 MHz.
- Traieu la làmina de vidre i repetiu les mesures anteriors (condensador amb aire).
- Connecteu el mesurador d'impedàncies al condensador comercial.
- Feu la mesura de la capacitat en funció de la freqüència.

### 3.4. Elaboració de l'informe

1. Escriviu una introducció d'aproximadament mitja pàgina en què s'expliqui l'objectiu de la pràctica i es descrigui el mètode emprat.
2. A partir dels resultats del primer experiment, presenteu una gràfica amb  $C(1/d)$  i  $C_0(1/d)$ . Feu les regressions lineals corresponents i, a partir dels pendents, determineu la permitivitat del buit,  $\epsilon_0$ , i la permitivitat dielèctrica relativa del vidre.
3. Presenteu, en una taula, els valors de les  $\epsilon_r$  dels diferents materials dielèctrics mesurats.
4. Presenteu, en una gràfica amb escala log/log, els resultats de la mesura de la capacitat en funció de la freqüència per als tres casos estudiats: condensador amb làmina de vidre, condensador amb aire i condensador comercial.

### 3.5. Qüestions

- 3.1. Què s'entén per *ruptura dielèctrica*?
- 3.2. Indiqueu una aplicació dels dielèctrics per a dispositius en electrònica (que no sigui la del condensador).
- 3.3. Digueu tres materials dielèctrics d'interès en electrònica, i indiqueu-ne les característiques.