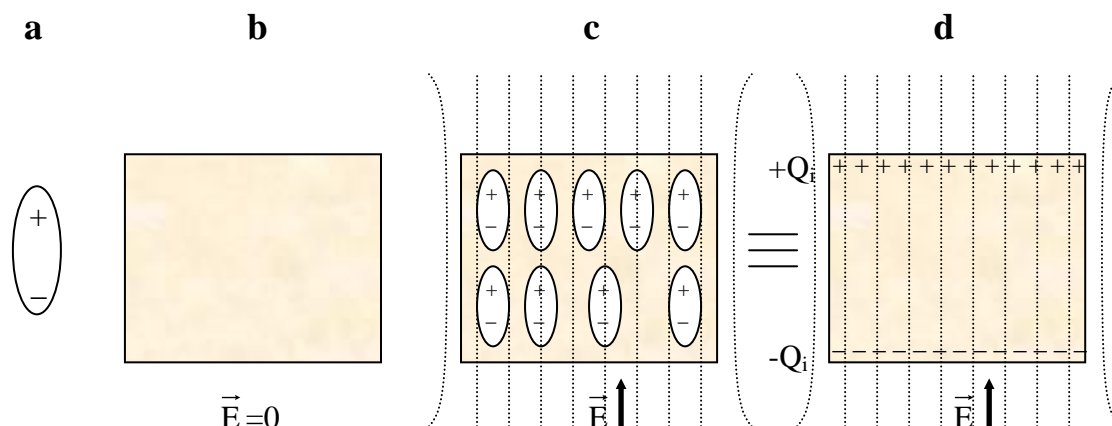


## Ćwiczenie 1

WYZNACZANIE WZGLĘDNEJ PRZENIKALNOŚCI  
ELEKTRYCZNEJ CIAŁ STAŁYCH

## 1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

Dielektrykami nazywamy ciała stałe, ciecze lub gazy, których oporność właściwa jest większa od ok.  $10^8 \Omega\text{cm}$ . Dielektryk umieszczony w polu elektrycznym, w wyniku zjawiska polaryzacji, modyfikuje to pole. Zewnętrzne pole elektryczne powoduje w każdym atomie i cząsteczce dielektryka przesunięcie ładunku ujemnego elektronów względem ładunku dodatniego jąder atomowych. Zjawisko to nazywamy polaryzacją elektryczną indukowaną. Powstały układ przesuniętych względem siebie ładunków dodatniego i ujemnego nazywamy dipolem (Rys. 1a). W niektórych cieczech i gazach, w tzw. dielektrykach polarnych, cząsteczki są trwałymi dipolami. W tym przypadku zewnętrzne pole elektryczne powoduje także częściowe uporządkowanie trwałych dipoli (tzw. polaryzacja orientacyjna). Jedną z przyczyn niepełnego uporządkowania jest ruch cieplny dipoli. Oddziaływanie pola elektrycznego na dielektryk pokazane jest na rysunku 1.



Rys.1

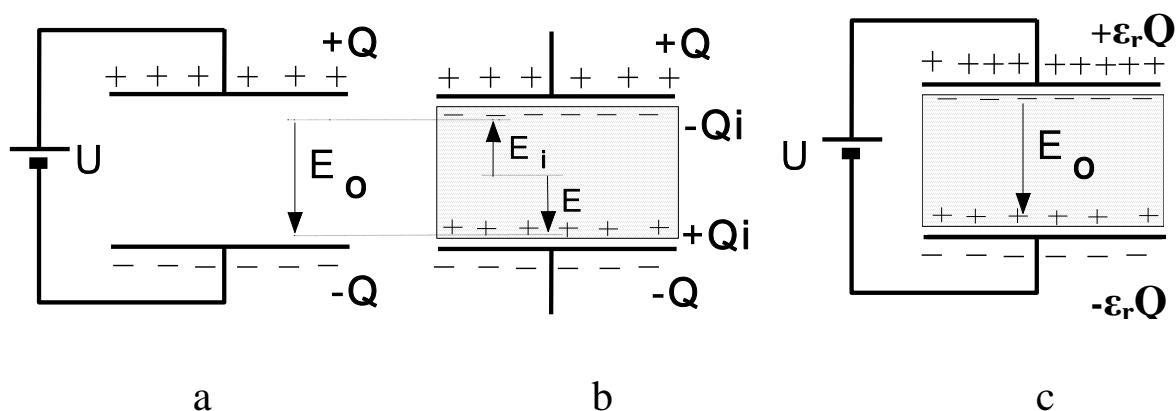
W ciałach stałych występuje tylko polaryzacja indukowana. Nawet, gdy w materiale występują trwałe dipole, silne wiązanie atomów uniemożliwia polaryzację orientacyjną. W niektórych ciałach stałych, nawet bez zewnętrznego pola elektrycznego, znajdują się obszary o spontanicznej polaryzacji zwane domenami. Ponieważ domeny zorientowane są przypadkowo, wypadkowa polaryzacja całego dielektryka jest równa zero. Zewnętrzne pole elektryczne uporządkowuje domeny silnie polaryzując dielektryk. Dielektryki o strukturze domenowej nazywamy ferroelektrykami lub segnetoelektrykami.

Układ dwóch przewodników rozdzielonych warstwą izolatora nazywamy kondensatorem. Po przyłączeniu źródła o napięciu  $U$  w kondensatorze gromadzi się ładunek  $Q$ , przy czym

$$Q = C \cdot U \quad (12.1)$$

Współczynnik  $C$  nazywamy pojemnością kondensatora. Kondensator, w którym elektrodami są

dwie metalowe płyty ustawione równoległe, nazywamy kondensatorem płaskim. Jego pojemność  $C$  jest wprost proporcjonalna do powierzchni płyt  $S$  i odwrotnie proporcjonalna do odległości między płytami  $d$ . W przypadku, gdy wartość  $\sqrt{S}$  jest dużo większa od  $d$  oraz między



elektrodami jest próżnia, pojemność takiego kondensatora można obliczyć ze wzoru

Rys.2

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad (12.2)$$

gdzie:  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni.

W próżniowym kondensatorze płaskim, w wyniku naładowania ładunkiem  $Q$ , powstaje jednorodne pole elektryczne o natężeniu  $E_0 = U/d$  (Rys.2a). Po odłączeniu źródła napięcia, wsunięcie w obszar kondensatora dielektryka spowoduje zmianę tego pola. Analizując powstały w wyniku polaryzacji dielektryka rozkład ładunków można powiedzieć, że blisko powierzchni elektrod kondensatora pojawia się warstwa ładunku indukowanego  $Q_i$  (Rys.2b). Wytworzone przez niego pole elektryczne o natężeniu  $E_i$  częściowo kompensuje przyłożone do dielektryka zewnętrzne pole o wartości  $E_0$ . Zmniejszenie wartości pola elektrycznego jest równoznaczne z zmniejszeniem napięcia na tym kondensatorze. Ponieważ ilość ładunku nie uległa zmianie, z zależności (12.1) wynika, że wsunięcie dielektryka spowodowało zwiększenie pojemności kondensatora. Podobny wniosek uzyskamy analizując przypadek wypełniania dielektrykiem kondensatora przyłączonego do źródła napięcia  $U$ . Ponieważ przy stałym napięciu natężenie pola  $E_0$  nie ulega zmianie, umieszczenie w kondensatorze dielektryka spowoduje wzrost zgromadzonego w kondensatorze ładunku do wartości  $Q' = \epsilon_r Q$  (Rys.2c). Z powyższej analizy wynika, że pojemność kondensatora wypełnionego dielektrykiem wzrasta do pewnej wartości  $C'$ . Stosunek pojemności  $C'$  do  $C_0$  nazywamy względną przenikalnością elektryczną  $\epsilon_r$  tego dielektryka, czyli

$$\epsilon_r = \frac{C'}{C_0}. \quad (12.3)$$

Względna przenikalność elektryczna powietrza jest bliska jedności, natomiast cieczy i ciał stałych mieści się w granicach 1-100. W przypadku ferroelektryków  $\epsilon_r$  osiąga wartość kilkunastu tysięcy. Wartości przenikalności elektrycznej niektórych dielektryków podane są w tabeli 1.

Dielektryki gazowe i ciekłe	$\epsilon_r$	Ciała stałe	$\epsilon_r$
powietrze	1,00059	teflon	2,1
chlorowodór	1,003	polistyren	2,6
olej transformatorowy	2,28	pleksiglas	3÷3,7
alkohol etylowy	41	szkło zwykłe	5÷7
gliceryna	42,5	polikrystaliczny TiO <sub>2</sub>	96
woda destylowana	ok.79	tytanian barowy BaTiO <sub>3</sub>	8000-1000

Tab.1

## 2.ZADANIA

2.1. Zmierzyć pojemność kondensatora powietrznego  $C_0$  przy kilku (minimum 8) odległościach między elektrodami w zakresie 0.5mm-10.0mm. **(Pomyśleć jak wykorzystaśc szczelinomierze).**

2.2. Narysować wykres zależności pojemności kondensatora powietrznego  $C_0=y$  jako funkcji  $(1/d)=x$ . Metodą regresji liniowej wyznaczyć wartość oraz niepewności współczynników  $a=\epsilon_0 S$  i  $b$  otrzymanej funkcji  $y=ax + b$ . Obliczyć powierzchnię kondensatora. Zinterpretować znaczenie współczynnika  $b$  w tym doświadczeniu.

Uwaga: procedura 2.1 i 2.2 jest po prostu wzorcowaniem układu !

2.3. Zmierzyć pojemność  $C'$  kondensatora wypełnionego dostępnymi dielektrykami (np. drewnem, stosem kartek papieru z zeszytu ...).

2.4. Wyznaczyć względną przenikalność elektryczną zmierzonych materiałów. Oszacować maksymalną niepewność pomiaru .

**Uwaga: Wykres z punktu 2.2 należy wykonać z uwagą. Jeśli punkty pomiarowe nie układają się w linii prostej to czy to jest:**

a/ dowód na nieprawdziwość zależności :  $C=\epsilon_0 S/d$ ,

b/ podejrzenie występowania dodatkowego źródła błędu pomiarowego ?

## 3.ZASADA I PRZEBIEG POMIARU

Pomiar względnej przenikalności elektrycznej dielektryków sprowadza się do pomiaru pojemności kondensatora powietrznego i wypełnionego dielektrykiem. Kondensatorem pomiarowym jest układ dwóch kolistych elektrod. Konstrukcja kondensatora umożliwia zmianę odległości między elektrodami za pomocą „szczelinomierzy”.

Wyznaczenie współczynników  $a$  i  $b$  funkcji  $C_0(1/d)$  pozwala na obliczenie pojemności tego kondensatora dla dowolnej odległości  $d'$  między elektrodami. Jeśli  $C'$  oznacza pojemność kondensatora wypełnionego dielektrykiem o grubości  $d'$ , to wzór (12.3), po prawidłowym zinterpretowaniu współczynnika  $b$ , będzie miał postać

$$\epsilon_r = (C' - b) \frac{d'}{a}. \quad (12.4)$$

**Uwaga:** Grubość dielektryka  $d'$  mierzymy za pomocą suwmiarki lub śruby mikrometrycznej.

#### 4. ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARU

Ponieważ  $a = \epsilon_0 S$  to względna niepewność maksymalna wyznaczenia powierzchni  $S$  kondensatora i współczynnika  $a$  są sobie równe, czyli

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta a}{a}, \quad (12.5)$$

gdzie:  $\Delta a$  jest niepewnością wartości  $a$ , którą należy wyznaczyć metodą regresji liniowej (program) lub metodą graficzną. Podobnie wyznaczamy  $\Delta b$ .

Względną niepewność maksymalną wartości  $\epsilon_r$  obliczamy ze wzoru

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = \left| \frac{\Delta C'}{C' - b} \right| + \left| \frac{\Delta b'}{C' - b} \right| + \left| \frac{\Delta d'}{d'} \right| + \left| \frac{\Delta a}{a} \right|, \quad (12.6)$$

gdzie:

$\Delta C' = 0,02 \cdot C'$  na zakresie 200pF (dane producenta),

$\Delta d' = 0,1\text{mm}$  (dane producenta odnoszące się do dokładności wykonania metalowej powierzchni elektrod).

