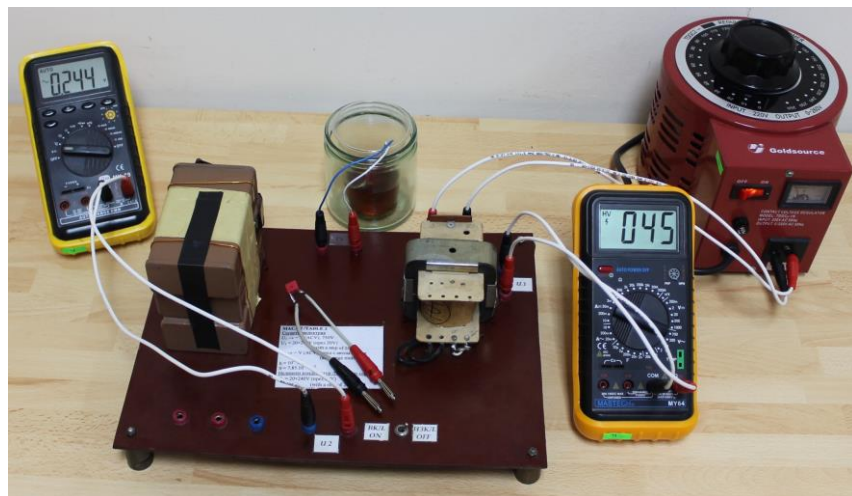
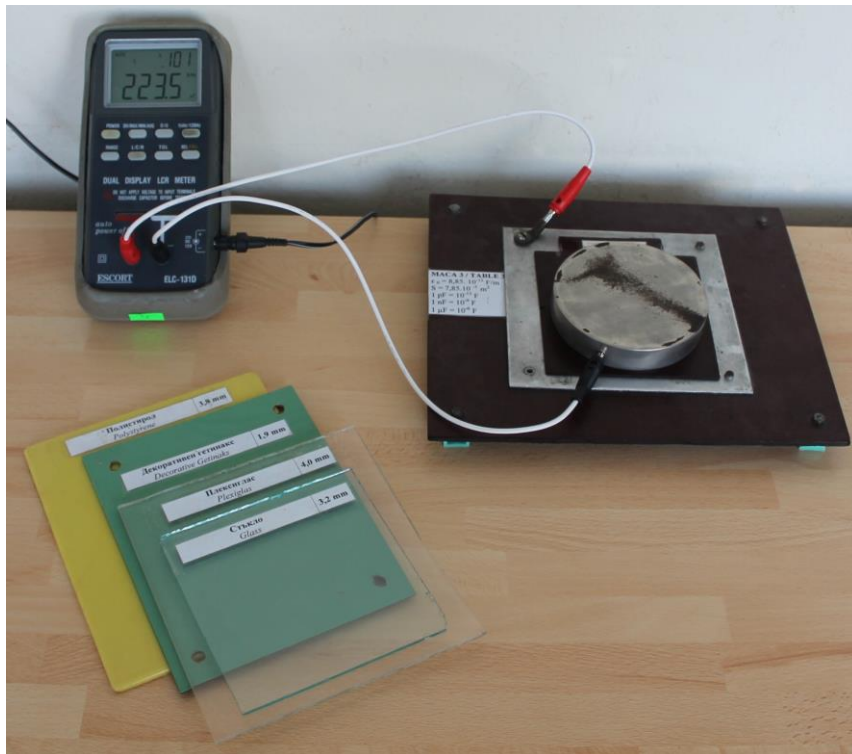


УПРАЖНЕНИЕ № 2

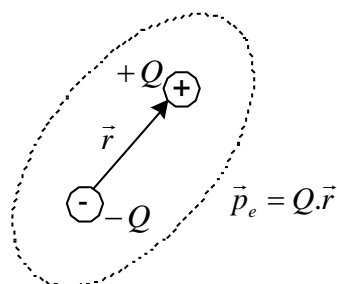
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ДИЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИЦАЕМОСТ И ТАНГЕНСА НА ЪГЪЛА НА ДИЕЛЕКТРИЧНИТЕ ЗАГУБИ



2.1. Основни понятия и определения

А. Поляризация

За оценка на електричните свойства на диелектриците важно значение има класифицирането им на полярни и неполярни въз основа на структурата на молекулите им. Молекула, в която центровете на положителния и отрицателния заряд съвпадат, е неполярна. Молекула, в която



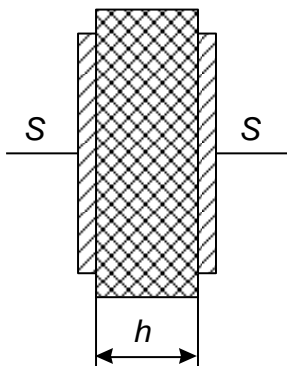
Фиг. 2.1

центровете на положителния и отрицателния заряд са изместени един спрямо друг, е полярна (нарича се още *дипол*). (Понятието "дипол" е по-общо – диполът е система от два еднакви по големина и противоположни по знак заряда, намиращи се на малко разстояние един от друг).

Полярността на молекулите (диполите) се характеризира с векторната величина *електричен диполен момент* \vec{p}_e , равен на произведението от

големината на единия от зарядите Q и разстоянието \vec{r} между тях (фиг. 2.1).

Нека плоскопаралелна пластина от полярен диелектрик с дебелина h е поместена между два успоредни метални електрода, всеки с площ S . Образува се плосък кондензатор, характеризиращ се с капацитет C (фиг. 2.2).

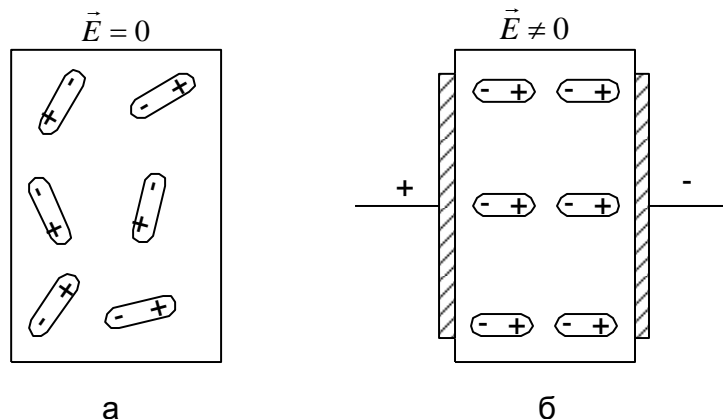


Фиг. 2.2

Диполите извършват топлинно движение, те са безразборно ориентирани в пространството и във всеки момент векторната сума от електричните им диполни моменти е 0 (фиг. 2.3.а).

Когато се приложи напрежение U към електродите на кондензатора, между тях се създава електрично поле с интензитет

$$E = \frac{U}{h}.$$



Фиг. 2.3

(Интензитетът на електричното поле е векторна величина с посока от положителния към отрицателния електрод)*

Под действие на полето диполите се ориентират преимуществено по посока на интензитета. Векторната сума от електричните им диполни моменти вече е различна от 0 (фиг. 2.3. б). Осъществява се **поляризация – ограничено и обратимо преместване на взаимно свързани електрични заряди**. Описаното явление се нарича *диполно-релаксационна поляризация*.

Под действие на електрично поле неполярните молекули придобиват индуциран диполен момент в посока на интензитета поради отместване на електронните обвивки на атомите спрямо ядрата. Извършва се *електронна поляризация*. Тя е свойствена за всички видове диелектрици.

В различните диелектрици могат да се осъществяват и други видове поляризация.

Поляризираното състояние на диелектрика се характеризира с векторната величина *електрична поляризация* \vec{P} . Тя е равна на сумарния електричен диполен момент в единици обем:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_{ei}}{\Delta V},$$

където $\sum \vec{p}_{ei}$ е сумарен електричен диполен момент в обем ΔV .

За по-голяма част от диелектриците, наречени пасивни или линейни, електричната поляризация \vec{P} е пропорционална на интензитета \vec{E} на външното електрично поле (поле, съществуващо в пространството преди внасянето на диелектрика в него), т.е. \vec{P} е линейна функция на \vec{E} :

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi_e \vec{E}, \quad (2.1)$$

където $\varepsilon_0 \chi_e$ играе ролята на коефициент на пропорционалност; ε_0 е *електрична константа* ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}, F/m$), а χ_e е безразмерна величина, наречена *електрична възприемчивост*.

Друга величина, описваща електричното поле в диелектрика и явлението поляризация, е електричната индукция \vec{D} :

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (2.2)$$

При вземане под внимание на (2.1) от уравнение (2.2) следва

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \varepsilon_0 \chi_e \vec{E} = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}, \quad (2.3)$$

където:

*Вектор се означава чрез буква със стрелка над нея, същата буква без стрелка означава числената стойност(модула) на вектора.

$$\varepsilon_r = 1 + \chi_e, \quad (2.4)$$

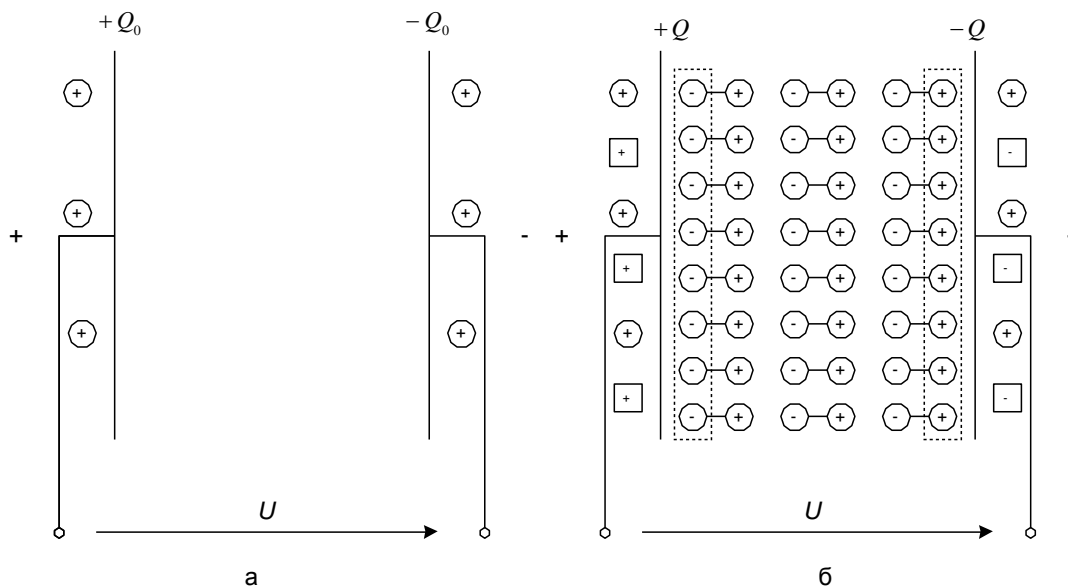
Величината, означена с ε_r , се нарича *относителна диелектрична проницаемост* – тя е свързана с процеса поляризация и е една от най-важните характеристики на диелектриците.

След изразяване на χ_e от уравнение (2.4) ($\chi_e = \varepsilon_r - 1$) и заместване в (2.1) се получава:

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1) \vec{E}. \quad (2.5)$$

Ако вакуумен кондензатор с капацитет C_0 се включи към източник на постоянно напрежение U , върху електродите му се натрупват електрични заряди $+Q_0$ и $-Q_0$ (фиг. 2.4.а):

$$Q_0 = C_0 \cdot U.$$



Фиг. 2.4

На чертежа тези заряди са изобразени с кръгчета.

Когато между електродите на кондензатора се постави диелектрик, той се поляризира (фиг. 2.4.б). Върху двете му срещуположни повърхности се образуват поляризационни заряди (на чертежа са заградени с прекъснати линии). Върху електродите на кондензатора се натрупват допълнителни заряди Q_0 , равни по големина и противоположни по знак на поляризационните заряди, разположени близо до тях (на чертежа са изобразени с квадратчета). Общото количество заряди върху всеки един от електродите става:

$$Q = Q_0 + Q_0.$$

Съответно се увеличава капацитетът на кондензатора:

$$C = QU.$$

Относителната диелектрична проницаемост ε_r се дефинира с отношението на капацитета C на кондензатор, между електродите на който е

поставен диелектрик, към капацитета C_0 на вакуумен кондензатор със същите геометрични размери:

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q + Q_0}{Q_0}.$$

ε_r е число, винаги по-голямо от 1. За вакуум $\varepsilon_r = 1$.

Капацитетът на плосък вакуумен кондензатор се определя от уравнението

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{h}.$$

Капацитетът на същия кондензатор, пространството между електродите на който е запълнено с диелектрик с относителна диелектрична проникваемост ε_r , се определя от уравнението

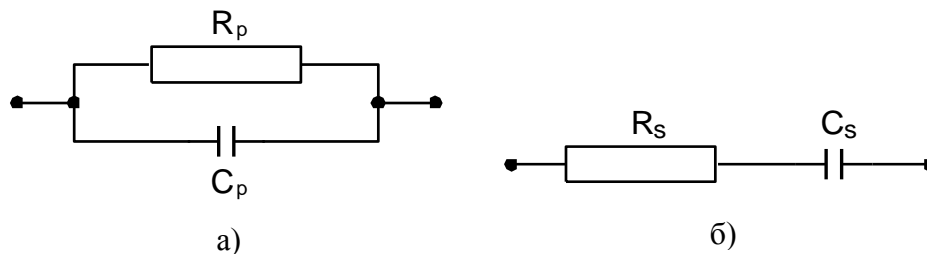
$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{h} \quad (2.6)$$

Б. Диелектрични загуби

Под действие на променливо електрично поле поляризация се извършва през всеки полупериод в противоположни посоки. В този случай освен обратимите поляризационни процеси, в електроизолационния материал се осъществява и допълнително необратимо превръщане на електричната мощност в топлина. Тази мощност се нарича *диелектрични загуби*.

Според физичната природа диелектричните загуби са 4 вида:

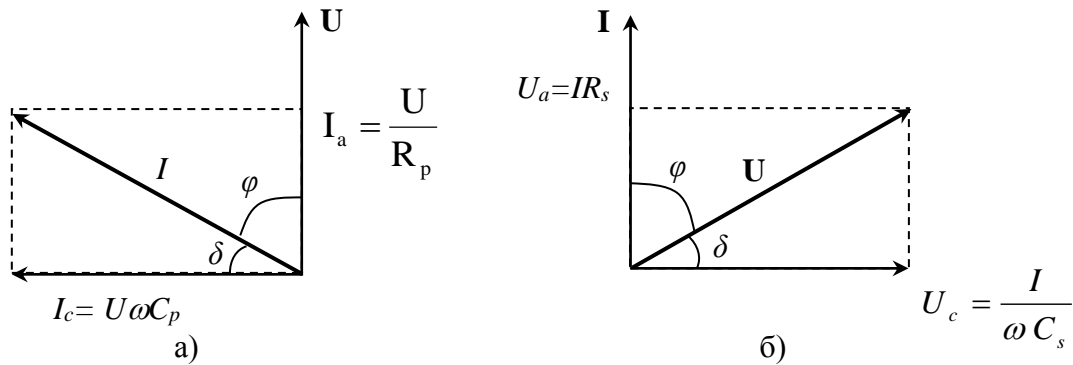
1. Диелектрични загуби от електропроводимост - те се проявяват както при постоянно, така и при променливо електрично поле.
2. Диелектрични загуби от релаксационни (забавени) поляризации - по същество те са загуби от триене между частиците на диелектрика при непрекъснатото им преориентиране; проявяват се само в променливо поле.
3. Йонизационни диелектрични загуби - свойствени са за газообразни диелектрици при силни неравномерни електрични полета и за твърди диелектрици с газови включения - проявяват се при постоянни и променливи полета, но във втория случай са значително по-големи.
4. Диелектрични загуби, обусловени от нееднородност на структурата - проявяват се само в променливи полета при ниски честоти и са свързани с миграционната поляризация.



Фиг. 2.5

Електроизолационна конструкция, намираща се под синусоидално изменящо се напрежение представлява реален кондензатор. Той може да се представи чрез паралелна или последователна заместваща схема. (фиг.2.5.а,б)

Съответните векторни диаграми на токовете и напреженията са показани на фиг.2.6.а.б.



фиг. 2.6

Ъгъл δ , допълващ фазовата разлика φ между тока и напрежението до 90° , се нарича *ъгъл на диелектричните загуби*. $\text{tg } \delta$ е важен параметър на материалите, характеризиращ способността им да отделят енергия (във вид на топлина) в електрично поле.

Въз основа на векторните диаграми и закона на Ом се получава:

- за паралелната заместваща схема

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p}; \quad (2.7)$$

- за последователната заместваща схема

$$\text{tg } \delta = \omega C_s R_s, \quad (2.8)$$

където $\omega = 2\pi f$ е кръгова честота на променливото напрежение.

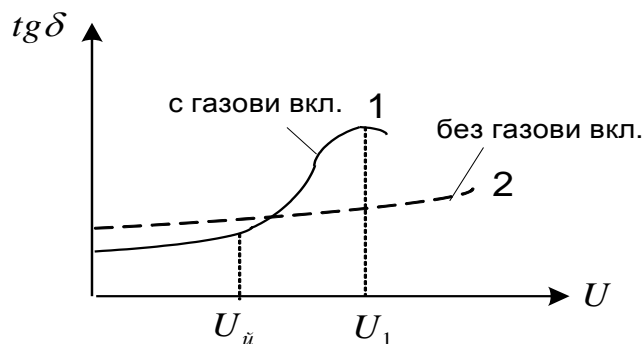
Мощността на загубите е

$$P_a = U^2 \omega C \text{tg } \delta. \quad (2.9)$$

В уравнение 2.9 е прието, че

$$C \approx C_p \approx C_s.$$

Особено характерни явления се наблюдават, когато в твърд електроизолационен материал съществуват газови включения. Известно е, че в двукомпонентна изолационна система интензитетът на електричното поле е по-голям в материала с по-малка стойност на относителната диелектрична проницаемост. В случая това е газът и той е подложен на по-висок интензитет. При определено напрежение започва йонизация в газовите включения, което е



фиг. 2.7

причина за силно нарастване на $\text{tg } \delta$. В кривата изразяваща зависимостта $\text{tg } \delta = f(U)$ (наречена крива на йонизацията) се явява ясно изразена чупка при $U = U_i$ [U_i - начално напрежение на йонизация на газа (фиг.2.7-крива 1)]. При $U = U_1$ газът във включенията изцяло е йонизиран, повече енергия за йонизация не се изразходва и

при $U > U_l \operatorname{tg} \delta$ намалява. Крива 2 се отнася за електроизолационен материал без газове включения.

В. Многокомпонентна диелектрична система в електрично поле

Многокомпонентни са всички диелектрици, съдържащи примеси във вид на макрочастици, също шупли и пукнатини. Многокомпонентни са и слоестите материали.

Относителната диелектрична проникваемост на сложни диелектрици, представляващи смес от химично невзаимодействащи си вещества, може да се определи въз основа на уравнението на Лихтенекер:

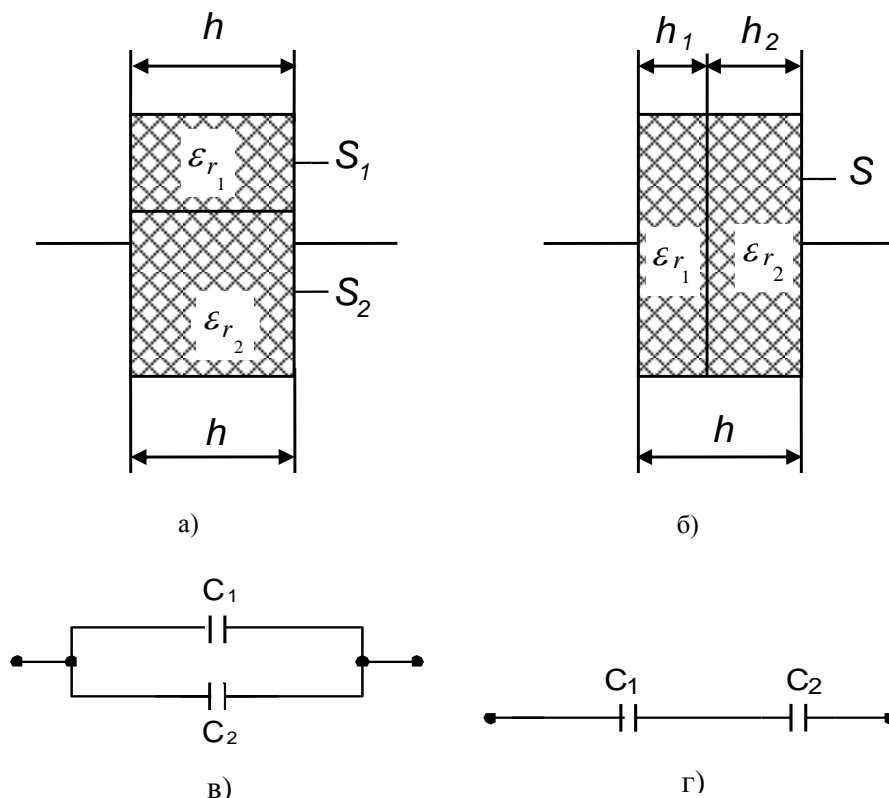
$$\varepsilon_r^{*x} = \Theta_1 \varepsilon_{r_1}^x + \Theta_2 \varepsilon_{r_2}^x + \dots + \Theta_n \varepsilon_{r_n}^x = \sum_{i=1}^n \Theta_i \varepsilon_{r_i}^x, \quad (2.10)$$

където ε_r^* и ε_{r_i} са съответно относителни диелектрични проникваемости на сместа и отделните компоненти; Θ_i - относителни обемни съдържания на компонентите, удовлетворяващи уравнението

$$\Theta_1 + \Theta_2 + \dots + \Theta_n = \sum_{i=1}^n \Theta_i = 1.$$

x е величина, характеризираща разпределението на компонентите и имаща стойности между -1 и $+1$.

При паралелно включване на диелектрици между електродите на плосък кондензатор $x = 1$. За две компоненти (фиг.2.8.а)



Фиг. 2.8

$$\varepsilon_r^* = \Theta_1 \varepsilon_{r_1} + \Theta_2 \varepsilon_{r_2}; \quad (2.11)$$

$$\Theta_1 = \frac{S_1}{S} = \frac{S_1}{S_1 + S_2}, \quad \Theta_2 = \frac{S_2}{S} = \frac{S_2}{S_1 + S_2}, \quad (2.12)$$

където S_1 и S_2 са площи на електродите, покриващи първата и втората компонента.

При последователно включване на диелектриците $x = -1$. За две компоненти (фиг.2.5.б)

$$\frac{1}{\varepsilon_r^*} = \frac{\Theta_1}{\varepsilon_{r_1}} + \frac{\Theta_2}{\varepsilon_{r_2}}; \quad (2.13)$$

$$\Theta_1 = \frac{h_1}{h} = \frac{h_1}{h_1 + h_2}; \quad \Theta_2 = \frac{h_2}{h} = \frac{h_2}{h_1 + h_2}, \quad (2.14)$$

където h_1 и h_2 са дебелини на слоевете.

В нееднородните диелектрици възникват допълнителни загуби. Те (както вече е изтъкнато) се дължат на миграционна поляризация.

За двукомпонентна изолационна конструкция при последователно включване на компонентите еквивалентният $\text{tg } \delta$ е

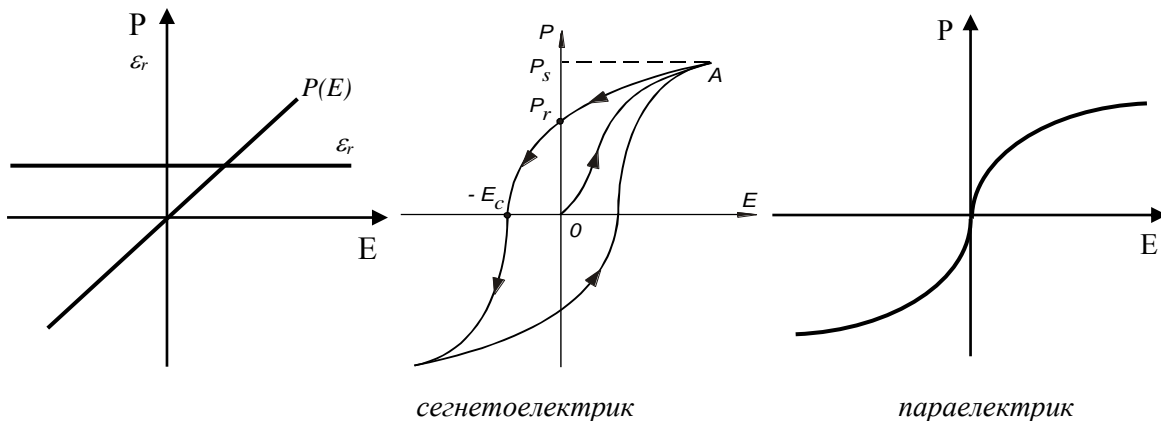
$$\text{tg } \delta^* = \frac{C_1 \text{tg } \delta_2 + C_2 \text{tg } \delta_1}{C_1 + C_2} \quad (2.15)$$

където $\text{tg } \delta_1$ и $\text{tg } \delta_2$ са $\text{tg } \delta$ на отделните компоненти; C_1, C_2 ,- капацитетт от заместващата схема на двуслойния диелектрик (фиг.2.8.г)

Г. Нелинейни диелектрици

За повечето диелектрици, които обикновено се използват като електроизолационни материали, електричната поляризация \vec{P} и електричната индукция \vec{D} са линейни функции на интензитета на електричното поле \vec{E} (фиг.2.9) [вж. уравнения (2.3) и (2.5)]. Такива диелектрици се наричат линейни или пасивни.

Съществуват и така наречените нелинейни диелектрици, за които \vec{P} и \vec{D} не са линейни функции на \vec{E} . Такива са сегнето(ди)електриците и пара(ди)електриците (фиг.2.10).



фиг. 2.9

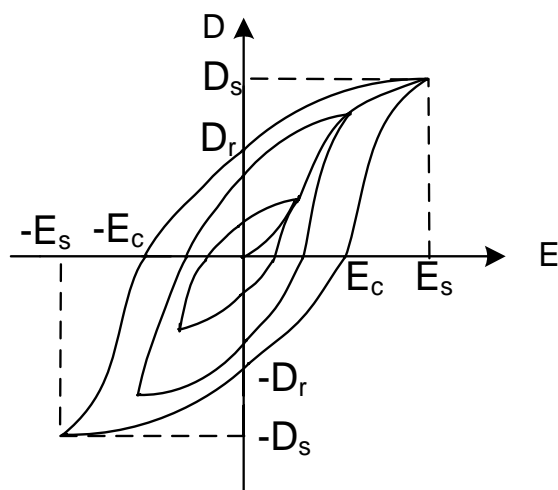
фиг.2.10

Сегнето - и параелектриците се характеризират с високи и свръхвисоки стойности на ϵ_r (т.е. $\epsilon_r \gg 1$) и от сравняването на уравнения (2.3) и (2.5) следва, че при тях $\vec{P} \approx \vec{D}$.

За сегнетоелектриците е свойствена спонтанната поляризация.. Сегнетоелектрици са сегнетовата сол, бариев титант (BaTiO_3), оловен титант (PbTiO_3), калиев ниобат (KNbO_3) и др.

Спонтанната поляризация се обяснява с наличието в диелектрика на макрообласти, наречени домени, които притежават електричен диполен момент и в отсъствие на електрично поле, т.е. те са спонтанно поляризирани. Понеже са хаотично ориентирани, сумарният им диполен момент е нула.

При прилагане на външно електрично поле в сегнетоелектрика се извършва изместване на доменните граници – нарастват домовете, чиито електрични диполни моменти \vec{p}_e сключват остри ъгли с посоката на полето, а тези, за които ъглите между \vec{p}_e и \vec{E} са тъпи, намаляват размерите си. При понататъшно увеличаване на E се осъществява завъртане на електричните диполни моменти на домовете преимуществено по посока на полето. При $E=E_s$ настъпва състояние на насищане и следващото нарастване на E не предизвиква съществено увеличаване на D – достигната е *индукцията на насищане* D_s (фиг.2.11).



Фиг 2.11

Ако след поляризиране на образца до насищане интензитетът на външното електрично поле се намали до нула, електричната индукция достига стойност D_r – *остатъчна индукция*. За премахването ѝ е необходимо да се приложи поле с обратна посока с интензитет E_c – *коерцитивен интензитет*.

Следващото изменение на E последователно до стойности $-E_s, 0, +E_c, +E_s$ води до съответно изменение на D : $-D_s, -D_r, 0, +D_s$. Така се получава затворена крива,

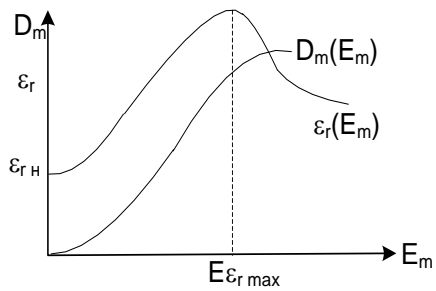
наречена *хистерезисен цикъл*.

В променливо електрично поле относителната диелектрична проницаемост е

$$\epsilon_r = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{D_m}{E_m}, \quad (2.16)$$

където D_m и E_m са амплитудни стойности на D и E .

Линията, свързваща върховете на фамилия хистерезисни цикли, получени при увеличаване на амплитудата на интензитета, се нарича основна крива на поляризацията (фиг.2.11). Видът ѝ е показан на фиг.2.12. Въз основа на нея и уравнение (2.16) се установява зависимостта $\epsilon_r(E_m)$, показана на същата фиг.2.12.



Фиг.2.12

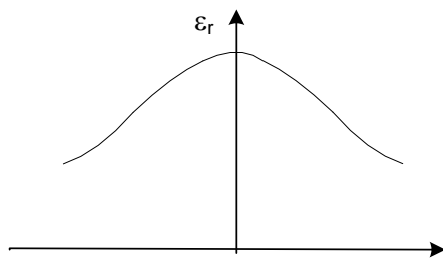
Относителната диелектрична проницаемост в слаби полета (при $E \rightarrow 0$) се нарича начална: $\epsilon_{rн}$. При увеличаване на E ϵ_r расте, достига максимална стойност ϵ_{rmax} при $E = E_{\epsilon r max}$ след което спада и при $E \rightarrow \infty$ $\epsilon_r \rightarrow 1$. Отношението

$$K_{ef} = \frac{\epsilon_{rmax}}{\epsilon_{rн}} \quad (2.17)$$

се нарича *коэффициент на ефективна нелинейност*.

Способността да се поляризират спонтанно е присъща на сегнетоелектриците само в определени области на температурата. За всеки сегнетоелектрик съществува специфична за него температура T_k , наречена точка на Кюри, над която той губи спонтанната си поляризация. При нея ϵ_r достига максимална стойност.

Параелектриците са също нелинейни диелектрици. Те са по същество сегнетоелектрици, загрети до температури над точката на Кюри. За тях ϵ_r



Фиг.2.13

намалява при повишаване на температурата. Те нямат доменна структура, у тях липсва спонтанна поляризация – по това се различават от сегнетоелектриците. От обикновените диелектрици се различават по това, че стойността на относителната им диелектрична проницаемост ϵ_r е много голяма, зависимостта на P (съответно на D) от E е нелинейна (фиг.2.10), а с

увеличаване на E ϵ_r намалява (фиг.2.13).

Параелектрици при стайна температура са $SrTiO_3$ ($T_k \sim 30K$), $CdTiO_3$ ($T_k \sim 50K$) и др.

2.2. Задачи за изпълнение

1. Определяне на относителната диелектрична проницаемост ϵ_r и тангенса на ъгъла на диелектричните загуби $tg \delta$ на твърди и течни диелектрици.

2. Проверка на уравнението на Лихтенекер за двуслоен диелектрик при последователно свързване на компонентите [уравнение (2.13)]; проверка на уравнение (2.15) за същата диелектрична система.

3. Определяне на относителната диелектрична проницаемост и тангенса на ъгъла на диелектричните загуби на твърди електроизолационни материали при 50 Hz и високо напрежение.

4. . Определяне на относителната диелектрична проницаемост и тангенса от ъгъла на диелектричните загуби на твърди електроизолационни материали при висока честота.

5. Изследване на нелинейни диелектрици (сегнето- и параелектрици).

А. Осцилоскопско наблюдаване на сегнето- и параелектрични свойства.

Б. Снемане на основната крива на поляризация и изследване на зависимостта $\epsilon_r(E)$ за сегнетоелектрик.

В. Изследване влиянието на напрежението върху капацитета на нелинеен кондензатор, чиито диелектрик е параелектрик.

2.3. Методични указания за провеждане на изпитванията

По точка 1 от заданието

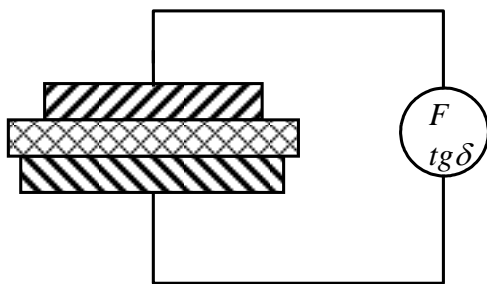
Определянето на ϵ_r се свежда до измерване на капацитет.

Двуелектродна система с твърд диелектрик във форма на плоскопаралелна пластина между електродите (фиг.2.14) се включва към цифров уред ELC-131D, от който се отчитат капацитетът C и $\text{tg } \delta$. Относителната диелектрична проницаемост се изчислява по уравнението

$$\epsilon_r = \frac{Ch}{\epsilon_0 S}, \quad (2.18)$$

следващо от уравнение (2.6); S е площ на по-малкия електрод.

Измерванията се извършват при две честоти - 120Hz и 1kHz.



Фиг.2.14

Изследването на течни диелектрици се извършва със същия уред, като се използва двуелектродна система, илюстрирана в упражнение 1 на фиг.1.9. ϵ_r се определя от уравнението

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0},$$

където C е измерен капацитет, а C_0 - капацитет на двуелектродната система с диелектрик - въздух

По точка 2 от заданието

От изследваните в т. 1 образци се избират двойки и разположени последователно, се поместват между електродите. Отчитат се капацитетът C^* и $\text{tg } \delta^*$. Определя се ϵ_r^* :

$$\epsilon_r^* = \frac{C^*(h_1 + h_2)}{\epsilon_0 S}$$

Изчислява се $\hat{\epsilon}_r^*$ по уравнението

$$\hat{\epsilon}_r^* = \frac{(h_1 + h_2)\epsilon_{r1}\epsilon_{r2}}{h_1\epsilon_{r2} + h_2\epsilon_{r1}},$$

следващо от уравнения(2.13) и (2.14)

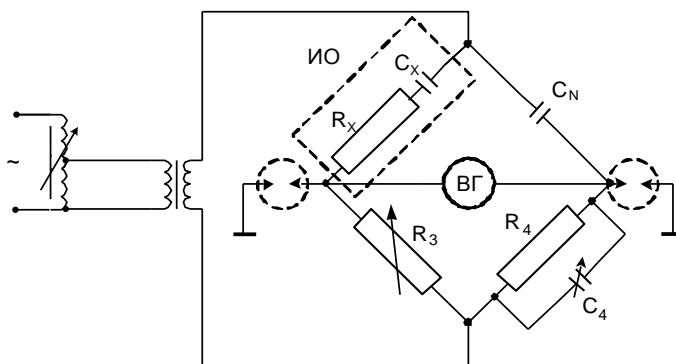
$\text{tg } \hat{\delta}^*$ се пресмята по уравнение (2.15)

Сравняват се ϵ_r^* с $\hat{\epsilon}_r^*$ и $\text{tg } \delta^*$ с $\text{tg } \hat{\delta}^*$.

Забележка: Измерванията по точка 2 се извършват при честота 1 kHz. При изчисляването на $\hat{\epsilon}_r^*$ и $\text{tg } \hat{\delta}^*$ се използват данните от точка 1, получени също при честота 1 kHz.

По точка 3 от заданието

Измерванията се извършват с мост на Шеринг, чиято схема е показана на фиг.2.15. ВГ е вибрационен галванометър, изпълняващ ролята на нулев индикатор, а ИО - изпитваният образец, представен с последователната си заместваща схема.



фиг. 2.15

Този мост се използва за определяне на относителната диелектрична проницаемост и тангенса на ъгъла на диелектрични загуби при честоти от 50 Hz до 1000 Hz.

Чрез R_3 и C_4 мостът се уравновесява, което се установява по нулевото показание на галванометъра. При това състояние C_x и R_x се определят по уравненията

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} ; \operatorname{tg} \delta = \omega R_4 C_4$$

ϵ_r се пресмята по уравнение (2.18).

Изследват се зависимостите на ϵ_r и $\operatorname{tg} \delta$ от приложеното напрежение за два твърди електроизолационни материала (със и без шупли).

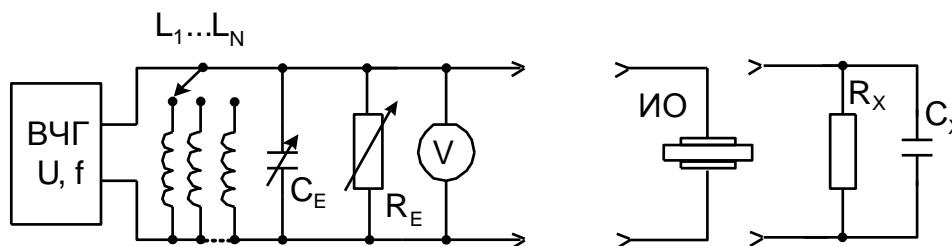
По точка 4 от заданието

В честотен диапазон от няколко десетки килохерца до $100 \div 200 \text{ MHz}$ се използват резонансни методи за определяне на ϵ_r и $\operatorname{tg} \delta$. Измерването се реализира в резонансни вериги със съсредоточени параметри, съдържащи бобини, кондензатори и резистори.

На фиг.2.16 е посочена принципната схема на подобен измерител, където ВЧГ е високочестотен генератор с възможност за промяна на честотата и амплитудата на изходящото напрежение, захранващ трептящ кръг (L_1, C_e, R_e, R_x и C_x); R_x и C_x са параметри на изпитвания образец.

Измерването на C_x и R_x се осъществява по следния начин:

- свързва се към съответните клеми изпитваният образец, а R_e се поставя в положение ∞ (изключва се).



фиг. 2.16

- настройва се в резонанс трептящият кръг - грубо чрез избор на L_1 и точно с C_e - резонансът се определя по максимума в показанието α_1 на волтметра и за резонанса се отчитат C_{e1} и α_1 ;

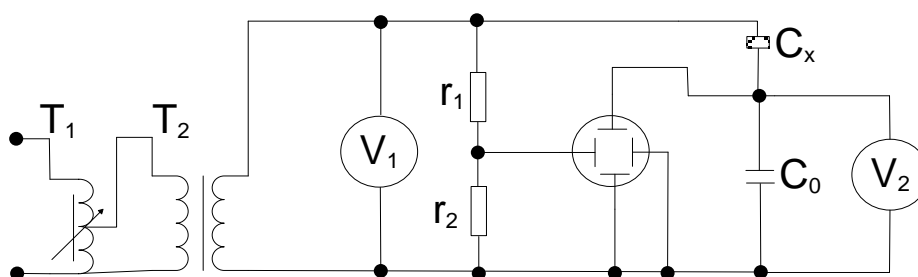
- изключва се изпитваният образец и само чрез C_e трептящият кръг се настройва отново в резонанс. Определят се C_{e2} и $\alpha_2 > \alpha_1$, тъй като електроизолационният материал е със загуби.

- въвежда се R_e и се търси такава стойност на съпротивлението R_e^* , за която $\alpha_2 = \alpha_1$. Тогава $R_x = R_e^*$; $C_x = C_{e2} - C_{e1}$, а $\text{tg } \delta = (\omega R_x C_x)^{-1}$; ϵ_r се определя от уравнение (2.18).

На този принцип действа резонансният измерител ТУР1033, с който при една честота се измерват C_x и R_x на различни твърди електроизолационни материали и се определят ϵ_r и $\text{tg } \delta$.

По точка 5 от заданието

Задача 5. А се изпълнява с опитна постановка, реализирана по схемата от фиг.2.17. – схема на Сойер-Тауер.



Фиг.2.17

Захранването се осъществява от мрежата с помощта на автотрансформатор T_1 и повишаващ трансформатор T_2 . С C_x е означен кондензаторът на изследвания образец. Последователно на него е свързан кондензатор с капацитет C_0 ($C_0 \gg C_x$).

Напрежение, пропорционално на U_1 , респективно на интензитета E в образеца, се прилага на хоризонтално отклоняващите плочи на осцилоскопа с помощта на делителя r_1, r_2 . Напрежението U_2 , възникващо върху кондензатора C_0 , се подава на вертикално отклоняващите пластини на осцилоскопа. То е пропорционално на електричната индукция D . Напреженията U_1 и U_2 се измерват с волтметрите V_1 и V_2 . Върху екрана на осцилоскопа се получава картина, изобразяваща характеристика в координати, пропорционални на E и D .

Изследват се кондензатор с линеен диелектрик, сегнетоелектрик и кондензатор с параелектрик.

По точка 5.Б от заданието

Изследва се плоскопаралелна пластина от сегнетоелектрик, оформена като кондензатор. Дебелината ѝ е h , а площта на по-малкия електрод - S . Включва се в схемата на Сойер-Тауер като C_x (фиг.2.17). Задават се стойности на U_1 и се отчитат съответните стойности на U_2 . Амплитудите E_m и D_m на интензитета на електричното поле и електричната индукция се изчисляват посредством уравненията.

$$E_m = \frac{\sqrt{2}U_1}{h} ; \quad D_m = \frac{\sqrt{2}U_2 C_o}{S}.$$

Относителната диелектрична проникваемост на образеца се определя по уравнение (2.18), а коефициентът на ефективна нелинейност - от уравнение (2.17).

По точка 5.В от заданието.

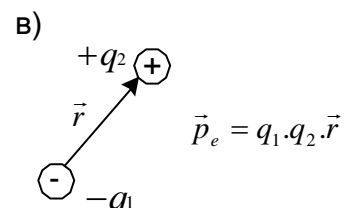
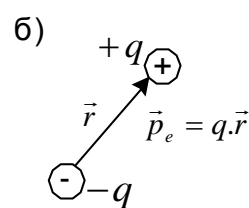
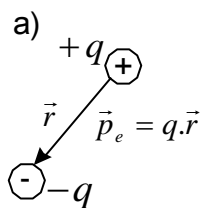
Със същата опитна постановка се изследва нелинеен кондензатор с параелектрик. Снема се зависимостта $U_2(U_1)$. Капацитетът се пресмята по уравнението

$$C_x = \frac{U_2}{U_1} C_o$$

Данните от измерванията и изчисленията се представят в табличен и графичен вид.

2.4. Тест за самопроверка

1. Какво е неполярна молекула?
 - а) Молекула, в която центровете на положителния и отрицателния заряд съвпадат.
 - б) Електронеутрална молекула.
 - в) Молекула, състояща се от атоми на химични елементи с една и съща валентност.
2. Какво е полярна молекула?
 - а) Йонизирана молекула.
 - б) Молекула, състояща се от различни атоми.
 - в) Молекула, в която центровете на положителния и отрицателния заряд не съвпадат.
3. Какво е дипол?
 - а) Система от два еднакви по големина и противоположни по знак заряда, намиращи се на малко разстояние един от друг.
 - б) Система от два различни по големина и знак заряда, намиращи се на малко разстояние един от друг.
 - в) Система от 2 еднакви по големина и знак заряда, намиращи се на малко разстояние един от друг.
4. Посочете правилните чертеж и уравнение за електричен диполен момент на дипол.



5. Кое твърдение за явленияето поляризация под действие на електрично поле е правилно?

Поляризацията е

а) Неограничено и необратимо преместване на свободни електрични заряди.

б) Ограничено и обратимо преместване на свързани електрични заряди.

в) Неограничено, но обратимо преместване на свободни електрични заряди.

6. Какъв е механизмът на електронната поляризация?

а) Под действие на електрично поле се изместват електронните обвивки спрямо ядрата на атомите.

б) Под действие на електрично поле във веществото ограничено и обратимо се преместват свободни електрони.

в) При електронна поляризация в диелектрика под действие на електрично поле се преместват слабо свързани електрони.

7. Кое твърдение за диполно-релаксационната поляризация е правилно?

а) При диполно релаксационна поляризация диполите на диелектрика се ориентират преимуществено в посока, обратна на посоката на полето.

б) При диполно-релаксационна поляризация диполите на диелектрика се ориентират преимуществено по посока на полето.

в) При диполно-релаксационна поляризация диполите на диелектрика се ориентират преимуществено в направление, перпендикулярно спрямо посоката на полето.

8. Q е големина на електричните заряди, натрупани върху всеки един от електродите на кондензатор при наличие на диелектрик между тях; Q_0 е големина на зарядите върху електродите на същия кондензатор при създаден вакуум между тях. За относителната диелектрична проницаемост на диелектрика е валидно уравнението

а) $\varepsilon_r = \frac{Q - Q_0}{Q}$; б) $\varepsilon_r = \frac{Q}{Q_0}$;

в) $\varepsilon_r = \frac{Q - Q_0}{Q_0}$; г) $\varepsilon_r = \frac{Q + Q_0}{Q_0}$.

9. Ако C е капацитет на кондензатор с диелектрик, а C_0 - капацитет на същия кондензатор без диелектрик, относителната диелектрична проницаемост на диелектрика ε_r се изразява с уравнението

а) $\varepsilon_r = \frac{C}{C_0}$; б) $\varepsilon_r = \frac{C + C_0}{C_0}$;

в) $\varepsilon_r = \frac{C_0}{C}$; г) $\varepsilon_r = \frac{C - C_0}{C}$.

10. Посочете правилното уравнение, изразяващо връзката между електричната поляризация \vec{P} и интензитета на електричното поле \vec{E} .

а) $\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r + 1)\vec{E}$; б) $\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\vec{E}$;

в) $\vec{P} = \varepsilon_r(1 - \varepsilon_0)\vec{E}$; г) $\vec{P} = \varepsilon_r(\varepsilon_0 + 1)\vec{E}$.

11. Посочете правилното уравнение, изразяващо връзката между електричната индукция \vec{D} и интензитета на електричното поле \vec{E} .

$$\text{a) } \vec{D} = \frac{1}{\epsilon_0} \epsilon_r \vec{E} ; \quad \text{б) } \vec{D} = \frac{\vec{E}}{\epsilon_0 \epsilon_r} ; \quad \text{в) } \vec{E} = \frac{\vec{D}}{\epsilon_0 \epsilon_r} .$$

12. Между електродите на плосък кондензатор е поставен диелектрик с дебелина h ; S е площ на по-малкия електрод; ϵ_0 - електрична константа; C - капацитет на двуелектродната система с диелектрика. Уравнението за относителната диелектрична проницаемост на диелектрика е

$$\begin{aligned} \text{a) } \epsilon_r &= \frac{\epsilon_0 S}{Ch} ; & \text{б) } \epsilon_r &= \frac{Ch}{\epsilon_0 S} ; \\ \text{в) } \epsilon_r &= \frac{CS}{\epsilon_0 h} ; & \text{г) } \epsilon_r &= \frac{C \epsilon_0}{Sh} . \end{aligned}$$

13. Посочете уравнението Лихтенекер за последователно включени два плоскопаралелни образеца от диелектрици между електродите на плосък кондензатор (ϵ_r^* - еквивалентна относителна диелектрична проницаемост на съставния диелектрик; $\epsilon_{r_1}, \epsilon_{r_2}$ - относителни диелектрични проницаемости на образците; Θ_1, Θ_2 - техните относителни обемни съдържания).

$$\text{a) } \frac{1}{\epsilon_r^*} = \frac{\Theta_1}{\epsilon_{r_1}} + \frac{\Theta_2}{\epsilon_{r_2}} ; \quad \text{б) } \epsilon_r^* = \frac{\Theta_1}{\epsilon_{r_1}} + \frac{\Theta_2}{\epsilon_{r_2}} ; \quad \text{в) } \epsilon_r^* = \Theta_1 \epsilon_{r_1} + \Theta_2 \epsilon_{r_2} .$$

14. Посочете уравнението Лихтенекер за паралелно включени 2 плоскопаралелни образеца от диелектрици между електродите на плосък кондензатор (ϵ_r^* - еквивалентна относителна диелектрична проницаемост на съставния диелектрик; $\epsilon_{r_1}, \epsilon_{r_2}$ - относителни диелектрични проницаемости на образците; Θ_1, Θ_2 - техните относителни обемни съдържания).

$$\text{a) } \frac{1}{\epsilon_r^*} = \frac{\Theta_1}{\epsilon_{r_1}} + \frac{\Theta_2}{\epsilon_{r_2}} ; \quad \text{б) } \epsilon_r^* = \frac{\Theta_1}{\epsilon_{r_1}} + \frac{\Theta_2}{\epsilon_{r_2}} ; \quad \text{в) } \epsilon_r^* = \Theta_1 \epsilon_{r_1} + \Theta_2 \epsilon_{r_2} .$$

15. Каква е същността на диелектричните загуби?

а) Диелектричните загуби са електричната енергия, отделена в околното пространство във вид на топлина от единица обем (1m^3) на диелектрик, подложен на действието на електрично поле.

б) Диелектричните загуби са електричната енергия, превърната в топлина за единица време (1s) в диелектрик подложен на действието на електрично поле.

в) Диелектричните загуби са електричната енергия, която се излъчва под формата на електромагнитни вълни в пространството около диелектрик, подложен на действието на електрично поле.

16. С какви процеси, протичащи в твърд електроизолационен материал без шупли при прилагане на постоянно напрежение, са свързани диелектричните загуби?

а) Само забавени поляризации.

б) Ток на проводимост и забавени поляризации.

в) Само ток на проводимост.

17. Кое от следващите твърдения за диелектричните загуби, дължащи се на забавени поляризации, е правилно?

- а) Проявяват се само при променливо електрично поле.
- б) Не зависят от честотата на електричното поле и са еднакви както при постоянно, така и при променливо поле.
- в) Те се проявяват само при постоянно поле.

18. Какво е ъгъл на диелектричните загуби?

- а) Ъгъл, допълващ фазовата разлика между тока и напрежението в диелектрик до 90° : $\delta = 90^\circ - \varphi$
- б) Ъгъл между активния и реактивния (капацитивния) ток в диелектрика.
- в) Фазова разлика между тока и напрежението в диелектрик: φ

19. Посочете правилното уравнение за $tg\delta$ валидно за паралелната заместваща схема на реален диелектрик (ω - кръгова честота).

а) $tg\delta = \frac{\omega}{C_p R_p}$

б) $tg\delta = \frac{1}{\omega C_p R_p}$

в) $tg\delta = \omega C_p R_p$

20. Посочете правилното уравнение за загубната мощност P_a в диелектрик. (U - ефективна стойност на приложеното променливо напрежение, ω - неговата кръгова честота, C - капацитет на кондензатор със съответния диелектрик, $tg\delta$ - тангенс на ъгъла на диелектричните загуби)

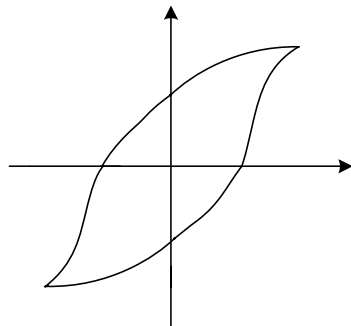
а) $P_a = U^2 \omega C tg\delta$;

б) $P_a = U \omega^2 C tg\delta$;

с) $P_a = U^2 \omega^2 C tg\delta$;

г) $P_a = U \omega^2 C^2 tg\delta$.

21. На чертежа е показана хистерезисна крива за сегнетоелектрик. Кои величини се нанасят по координатните оси? (E – интензитет на електричното поле, D – електрична индукция, ϵ_r – относителна диелектрична проникваемост).



ординатната ос се нанася ϵ_r .

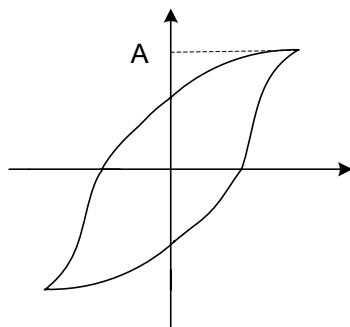
а) По хоризонталната (абцисната) ос се нанася E , а по вертикалната (ординатната) ос се нанася D .

б) По абцисната ос се нанася D , а по ординатната ос се нанася ϵ_r .

в) По абцисната ос се нанася D , а по ординатната ос се нанася E .

г) По абцисната ос се нанася E , а по

22. На чертежа е показана хистерезисна крива за сегнетоелектрик. Коя величина съответства на т.А?

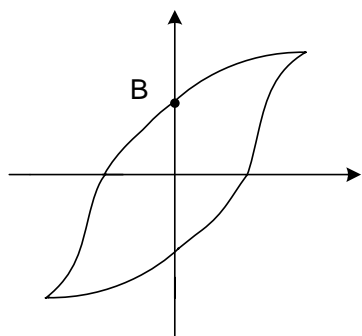


а) Електрична индукция на насищане D_s ;

б) Остатъчна електрична индукция D_r ;

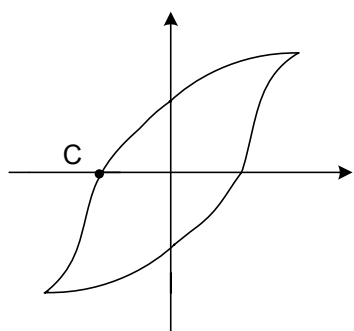
в) Коерцитивен интензитет E_c .

23. На чертежа е показана хистерезисна крива за сегнетоелектрик. Коя величина съответства на т.В?



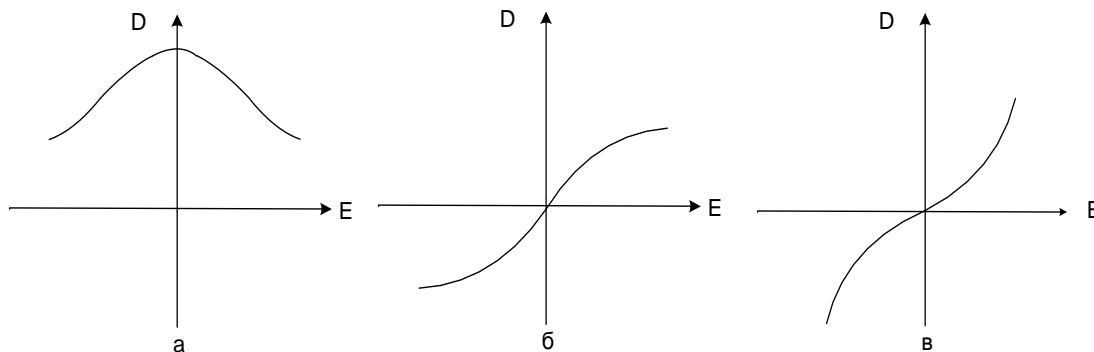
- а) Електрична индукция на насищане D_s ;
- б) Остатъчна електрична индукция D_r ;
- в) Коерцитивен интензитет E_c .

24. На чертежа е показана хистерезисна крива за сегнетоелектрик. Коя величина съответства на т.С?



- а) Електрична индукция на насищане D_s ;
- б) Остатъчна електрична индукция D_r ;
- в) Коерцитивен интензитет E_c .

24. Посочете правилната графика, изразяваща зависимостта на електричната индукция D от интензитета на електричното поле E за параелектрик.



25. Посочете правилната графика, изразяваща зависимостта $\epsilon_r(E)$ за параелектрик.

