

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК

Рубаненко О.О., Явдик В.В.

«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ»

Навчально-методичний посібник для
проведення лабораторних робіт та організації самостійної роботи
студентів з навчальної дисципліни «Електротехнічні матеріали»
за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Вінниця 2018

Рубаненко О.О., Явдик В.В.

Навчально-методичний посібник для проведення лабораторних робіт та організації самостійної роботи студентів з навчальної дисципліни «Електротехнічні матеріали» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Вінниця.: РВВ ВНАУ, 2018. – 100 с.

Рецензенти:

Собчук Н.В., к.т.н., доцент кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету

Матвійчук В.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК Вінницького національного аграрного університету

Рекомендовано до видання науково-методичною комісією Вінницького національного аграрного університету, протокол № 4 від ___ грудня 2018 року.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1.....	5
Лабораторна робота 2.....	11
Лабораторна робота 3.....	20
Лабораторна робота 4.....	26
Лабораторна робота 5.....	34
Лабораторна робота 6.....	36
Лабораторна робота 7.....	43
Лабораторна робота 8.....	50
Контрольне тестування.....	55
Самостійна робота.....	55
Література.....	99

ВСТУП

Сучасна електроенергетика використовує в елементах конструкцій надзвичайно широкий спектр різноманітних електротехнічних матеріалів (ЕТМ), від механічних, фізико-хімічних та інших властивостей яких значною мірою залежить надійність роботи електроенергетичного обладнання. Тому актуальним завданням забезпечення систем електроспоживання якісним обладнанням є розробка і впровадження нових, більш якісних матеріалів з кращими функціональними та експлуатаційними характеристиками. При проектуванні та розробці нових електротехнічних приладів і обладнання з покращеними характеристиками знання електрофізичних, фізико-технічних та механічних властивостей використовуваних матеріалів є обов'язковою умовою раціонального вирішення цього завдання.

Розробка нових матеріалів, необхідних для вирішення тієї чи іншої електротехнічної задачі, й безперервне вдосконалювання уже відомих матеріалів йшли одночасно з загальним розвитком електротехніки і розширенням вимог електропромисловості до якості матеріалів.

Матеріал – це об'єкт з певним складом, структурою, властивостями, призначений для виконання певних функцій. Матеріали можуть мати різні агрегатні стани: тверді, рідкі, газоподібні або плазмові.

ЕТМ – це розділ матеріалознавства, який займається матеріалами для електроенергетики, що мають специфічні властивості, необхідні для конструювання, виробництва та експлуатації електротехнічного устаткування.

Лабораторна робота №1

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МІЦНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ПРОМІЖКІВ

Ціль роботи - вивчити особливості пробою повітряних проміжків в електричному полі промислової частоти при різній формі електродів, одержати дослідні значення електричної міцності повітря в різних проміжках, порівняти отримані значення і зробити висновки.

Теоретичні відомості

Значення діелектричної проникності газоподібних діелектриків суттєво залежить від їхньої фізико-хімічної природи: від розмірів і ступеня полярності молекул, тобто, від механізмів поляризації, властивих тій або іншій речовині. Діелектрична проникність у цьому випадку також залежить від температури. Однак на відміну від твердих елементів температурний коефіцієнт діелектричної проникності може мати нелінійний характер і ухвалювати позитивні значення. Для полярних речовин має місце й залежність діелектричної проникності від частоти прикладеної напруги. З ростом частоти діелектрична проникність полярних діелектриків знижується.

Діелектрик, що перебуває в електричному полі, при певному значенні напруженості електричного поля втрачає ізоляційні властивості. Це явище зветься пробоем, а значення напруги при якому відбувається пробій – електричною міцністю діелектрика.

На практиці звичайно вимірюють електричну міцність у кіловольтах на міліметр. Електрична міцність суттєво залежить від відстані між електродами і їх форми, від великого числа різноманітних фізико-технічних параметрів.

При заданих значеннях тиску газу і температури ударна іонізація починається при певному значенні напруженості поля. Ця напруженість поля називається початковою напруженістю.

Явище пробою газу залежить від ступеня однорідності електричного поля, в якому здійснюється пробій.

У неоднорідному полі пробій газу відрізняються від пробою в однорідному полі. Неоднорідне поле виникає між проводами ліній електропередач, між сферичними поверхнями при відстані між ними, що перевищує радіус сфери. Особливістю пробою газу в неоднорідному полі є виникнення часткового розряду у вигляді корони у місцях, де напруженість поля досягає критичних значень, з подальшим переходом корони в іскровий розряд і дугу при зростанні напруги.

Електрична міцність газу досить суттєво залежить від його густини (тобто від тиску, якщо температура постійна). При незначних змінах температури і тиску газу пробивна напруга пропорційна густині газу.

При зменшенні тиску спочатку спостерігається падіння електричної міцності, коли тиск доходить до певної межі, нижчої від атмосферного тиску, розрідження газу досягає високого ступеня, електрична міцність зростає. Таке зростання пояснюється зменшенням кількості молекул газу в одиниці об'єму при сильному розрідженні та, відповідно, зниженням імовірності зіткнення електронів з молекулами. У цьому випадку електрична міцність досягає достатньо високих значень. Це явище використовують для конструювання вакуумних вимикачів.

Повітря є природною ізоляцією багатьох електричних конструкцій: трансформаторів, конденсаторів, повітряних вимикачів, ліній передач.

Як діелектрик, повітря має такі позитивні властивості: швидко відновлює свою електричну міцність після пробою, незначно змінює діелектричну проникність, діелектричні втрати повітря практично дорівнюють нулю.

Негативні властивості повітря як діелектрика: погана теплопровідність, низька електрична міцність, різка її зміна біля поверхні твердого діелектрика, здатність зволожуватись, створювати оксиди, підтримувати горіння. Електрична міцність повітря не є постійною величиною і залежить від його

тиску, відносної вологості та ступеня однорідності електричного поля, в якому здійснюється пробій.

Устаткування і прилади

Схема приладу для проведення досвідів зображена на рис. 1.1 і містить у собі: високовольтний підвищувальний трансформатор Т1 потужністю 10 кВА, що має номінальні напруги первинної обмотки 350 В і вторинної - 100 кВ, узгоджувальний трансформатор Т2 - 200/350 В; однофазний регулятор напруги (автотрансформатор) Т3, що забезпечує плавне регулювання випробної напруги в межах 0...100 кВ. У колах первинної комутації трансформаторів включені: блок-контакти вимикача SQ-1 і SQ-2, двері огороження установки, запобіжник F, контакти КМ1, КМ2 магнітного пускача КМ, трансформатор струму ТА, обмежувальний резистор R, замкнутий при необхідності вимикачем S1. Вторинний ланцюг трансформатора струму містить струмове реле КА й амперметр РА, межа виміру якого, а також вставку спрацьовування КА (5 чи 50 А) визначаються положенням перемикача S2. Нормально замкнутий контакт КА1, контакти "Пуск" і "Стоп" включені послідовно з котушкою магнітного пускача КМ. Сигналізація замкнутого стану блок-контактів дверей (при справному запобіжнику F) здійснюється за допомогою червоної лампи НЛ.

Для включення приладу необхідно закрити двері огороження (замикаються контакти SQ-1 і SQ-2) і, попередньо перевіривши нульове положення Т3, натиснути кнопку S3 "Пуск". Підйом напруги на випробуваному об'єкті робиться плавним обертанням рукоятки Т3 у напрямку, зазначеному на пульті.

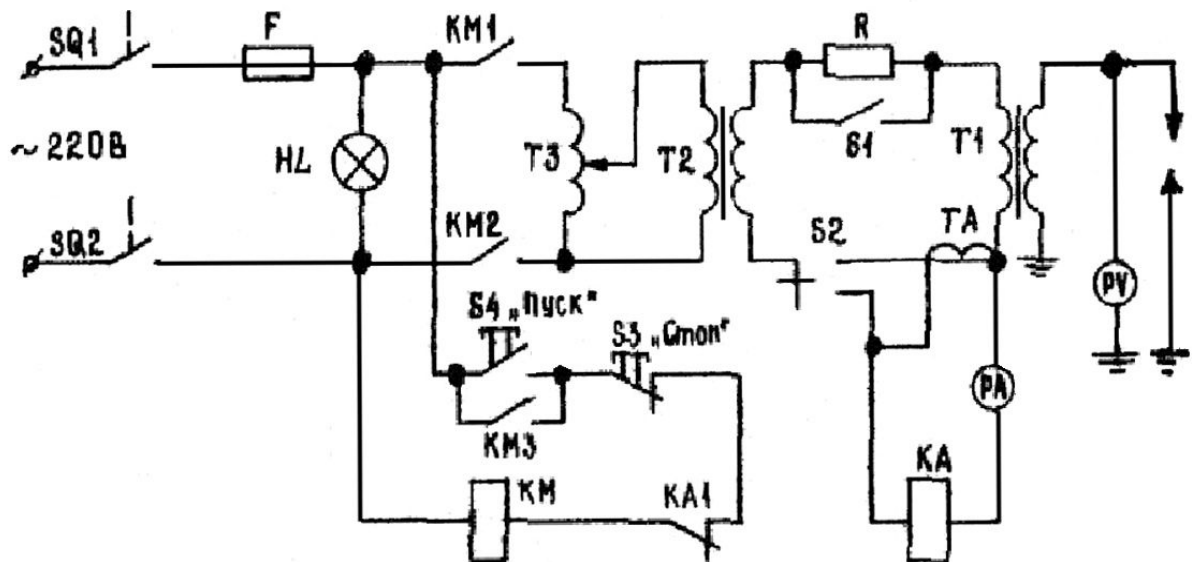


Рисунок 1.1 – Схема приладу для проведення досвідів

Перемикач S2 повинний знаходитися в положенні "5А", а вимикач S1 розімкнутий. Вимір досліджуваної напруги проводиться вольтметром PV, повне відхилення стрілки якого відповідає 100 кВ. У випадку перекриття випробуваного об'єкта спрацьовує реле КА, розмикається його контакт КА1, відпадає магнітний пускач КМ, відключаючи своїми контактами КМ1, КМ2 установку від джерела живлення. Для повторного включення установки необхідно ТЗ установити в нульове положення, а потім повторити перераховані операції.

Порядок виконання роботи

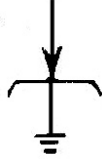

1. Роботу варто проводити, виконуючи вимоги інструкції з техніки безпеки.
2. Підготовку електродів до іспитів, зміну відстані між ними необхідно робити в діелектричних рукавичках, при відкритих дверях огороження приладу і попередньо накладеному на високовольтний вивід досліджуваного трансформатора переносному заземленні.
3. Двері огороження приладу можуть бути закриті тільки після

виведення людей за межі огороження.

4. Перед включенням приладу оператор зобов'язаний попередити бригаду про подачу напруги і переконавшись, що попередження почуте всіма членами бригади, зняти заземлення з високовольтного виводу приладу і включити магнітний пускач, тобто підключити прилад до джерела живлення.

5. Визначити пробивну напругу й електричну міцність повітря при різних електродах і відстанях між ними. Результати записати в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Таблиця 1.1h см	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	Форма електродів
$U_{пр1}$, кВ		11	14	17	21	24			
$E_{пр}$, кВ/см									
$U_{пр2}$, кВ	12	20	30	36	41	46			
$E_{пр2}$, кВ/см									

6. Побудувати графіки $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ для двох видів електродів.

7. Для кульових електродів побудувати розрахункові залежності $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ і порівняти їх з отриманими експериментально.

При промисловій частоті емпірична формула для обчислення електричної міцності повітря між кульовими електродами має вигляд, кВ макс. / см

$$E_{пр} = 27,2 \cdot \delta \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{R \cdot \delta}} \right)$$

де $\delta = \frac{0.385}{273 + T} p$ - відносна щільність повітря; p - тиск повітря, мм.рт.ст.;

t -температура, °C; R - радіус кулі, см.

По величині електричної міцності визначають пробивну напругу, кВ:

$$U_{пр.макс.} = E_{пр.макс.} h \cdot \frac{1}{k}$$

де h - відстань між електродами; k - коефіцієнт неоднорідності поля, значення якого для випадку при одній ізольованій та одній заземленій кулі приведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2

h/R	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
K	1.03	1.07	1.14	1.23	1.32	1.41

Завдання на самостійну роботу і контрольні питання:

1. Назвіть фактори, що впливають на процес пробою газового проміжку.
2. Умова самостійності розряду в повітряному проміжку.
3. Як керується регулювання напруги досліджуваного приладу?
4. Поясніть хід залежності електричної міцності від тиску
(при постійній температурі).
5. Особливість пробою повітряного проміжку в неоднорідному полі.
6. Чи може відбутися пробій вакууму?

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МІЦНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Ціль роботи - вивчити електричні властивості трансформаторного масла, ознайомитися з вимогами до електричної міцності трансформаторного масла в залежності від його призначення, вивчити правила добору проб і визначення електричної міцності трансформаторного масла.

Теоретичні відомості

Явище електричного пробою пов'язане з електронними процесами в діелектрику, що виникають у сильному електричному полі і призводять до раптового (різкого) місцевого зростання щільності електричного струму до моменту пробою.

Рідкі діелектрики відрізняються більш високою електричною міцністю, ніж газоподібні. Наявність домішок в рідких діелектриках призводить до зниження їх електричної міцності і викликає труднощі для створення точної теорії пробою цих речовин. Чисті рідкі діелектрики отримати важко. Постійними домішками є вода, гази, тверді частинки. Пробій рідин, що мають газові включення, пояснюється місцевим перегріванням рідини. Вплив води, що не змішується з трансформаторним маслом при нормальній температурі, коли вода тримається в маслі у вигляді окремих капелек, Під впливом електричного поля капельки води (сильно полярної рідини) поляризуються і створюють між електродами ланцюжки з підвищеною провідністю, по яких відбувається електричний пробій.

Електрична міцність чистого масла від температури не залежить в межах до 80 °С. При 80 °С починається кипіння легких масляних фракцій і поява великої кількості кульок пару в рідині, що призводить до зниження електричної міцності. Наявність води знижує електричну міцність масла при низькій і

нормальній температурі. Збільшення при підвищенні температури обумовлене переходом води зі стану емульсії в стан молекулярного розчину. Подальше зниження пояснюється процесами кипіння рідини. Збільшення електричної міцності при низьких t °C пов'язане зі збільшенням в'язкості масла і меншим значенням діелектричної проникності льоду у порівнянні з водою. Тверді забруднення (сажа, обривки волокон) спотворюють електричне поле всередині рідини і також призводять до зниження електричної міцності.

Підготовка масла до іспитів

Мінеральне трансформаторне масло володіє високими ізолюючими властивостями, завдяки чому його широко застосовують у високовольтних, трансформаторах, кабелях високої напруги, прохідних ізоляторах, масляних вимикачах і ін. Електрична міцність трансформаторного масла визначається не тільки властивостями самого масла, але і кількістю і видом домішок, що містяться в ньому, у першу чергу вологи. При експлуатації, кількість вологи в маслі збільшується, що приводить до зниження його електричної міцності. Прискорюють цей процес впливом на нього електричного поля, нагрівання і кисню.

Перед заливанням масла в трансформатори й інші пристрої, а також у процесі експлуатації цих пристроїв потрібно періодично перевіряти електричну міцність масла і, при необхідності, вживати заходів для її відновлення.

Пробу масла для іспиту на пробій з бака чи трансформатора іншого апарата варто брати в чисту і суху банку чи скляну пляшку, що щільно закривається пробкою, що заливається парафіном. Щоб узяти пробу масла з трансформатора, варто відкрити спускний кран у нижній частині бака трансформатора, дати стекти невеликій кількості масла для промивання крана і потім уже підставити заздалегідь підготовлену банку. Для того щоб в масло не попадала волога з повітря, проба береться, по можливості, у суху погоду. Проба масла, доставлена в лабораторію взимку, повинна постояти закупореною 8-12

год., поки масло не прийме кімнатну температуру. Попадання, навіть у незначній кількості, домішок в масло спотворює результати іспиту, тому необхідно забезпечити відсутність забруднень і вологи в розряднику, а також систематично перевіряти стан поверхні його електродів. Перед початком дослідів чистий сухий розрядник, у якому робиться визначення електричної міцності-масла, промивається 2-3 рази випробуваним маслом. При промиванні масло направляють на електроди таким чином, щоб змити з них залишки масла і вугілля від попереднього іспиту. Після промивання посудину заповнюють випробуваним маслом. Лити масло слід обережно, невеликим струменем, направляючи її на стінку посудини, щоб в маслі утворювалося якнайменше повітряних включень. Після заливання маслу дають 10-15 хв. відстоятися.

Улаштування випробної установки

Дослід масла на електричну міцність проводиться на апараті АИМ-80 (рис. 2.1), виконаному у вигляді пульта переносного типу, що містить у собі наступні основні елементи: бак з високовольтним трансформатором, регулятор напруги (варіатор) з моторним приводом, посудина для іспиту, вимірювальний прилад, сигнальні лампи, пускач магнітний, реле максимального струму.

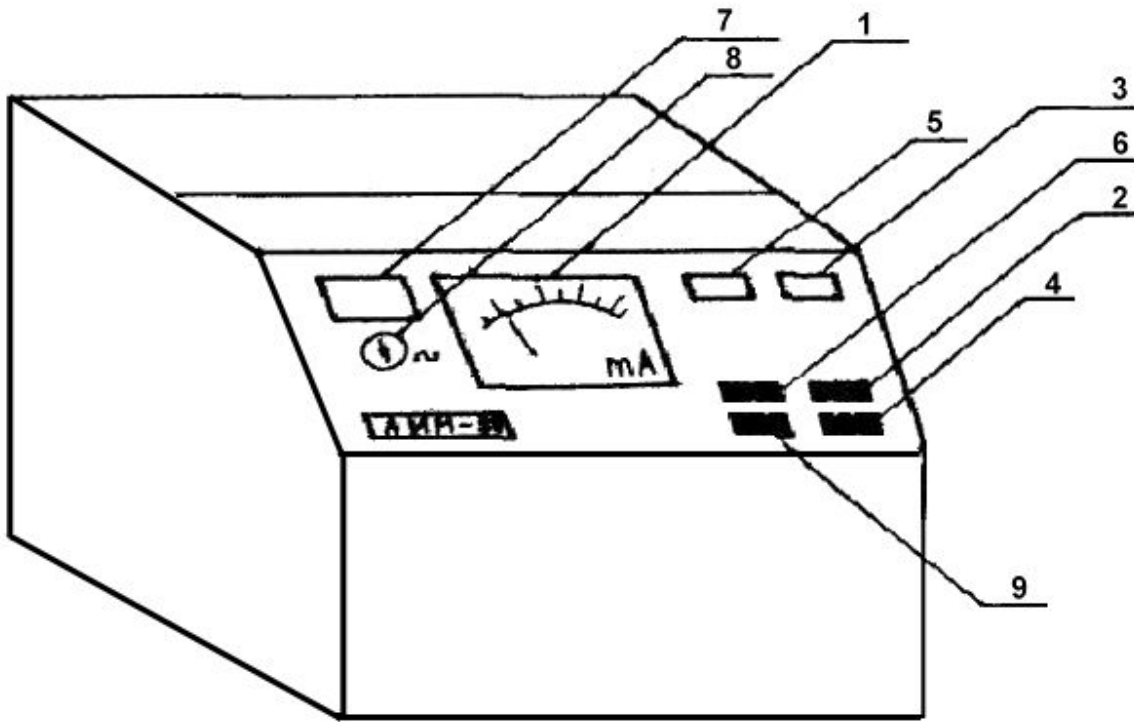


Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд установки АИМ-80

1 - вимірювальний прилад; 2 - кнопка включення досліджуваної напруги; 3 - сигнал червоний - включена досліджувана напруга; 4 - тумблер - вимикач для зупинки електричного двигуна; 5 - сигнал жовтий - готовність схеми апарата до включення випробної напруги; 6 - кнопка включення електродвигуна після пробою випробуваного діелектрика; 7 - сигнал зелений - включення; 8 - вмикач мережі; 9 - тумблер - вимикач автоматичного повернення щітки регулятора напруги в нульове положення після пробою випробуваного діелектрика.

Принципова електрична схема апарата АИМ-80 зображена на рис. 2.2.

Напруга 220 В через вимикач мережі зі спеціальним ключем SA(~), запобіжники F₁, F₂ подається на схему. Під напругою відразу ж виявляються трансформатор живлення сигнальних ламп Т1 і автотрансформатор-варіатор напруги Т2, що має рухливу контактну щітку. Про подачу напруги сигналізує

зелена лампа HL1.

Випробний (головний) трансформатор Т3 одержує живлення від варіатора Т2 через силові контакти КМ1.1, КМ1.2 головні контактори КМ1, котушка якого одержує живлення разом з котушкою проміжного реле КМ2 при замиканні кнопки S2 при наступних умовах: рухлива щітка варіатора знаходиться в нульовому положенні (замкнуте блокування SQ.1), закриті дверцята банки з електродами Е (замкнуті блокування SQ2, SQ3). Через блокування КМ2.1 при включеному тумблері S3 одержує живлення електродвигун М, що переміщає щітку варіатора. При цьому рівномірно підвищується напруга на вторинній обмотці трансформатора Т3 і електродах Е. Про наявність напруги на досліджуваному трансформаторі сигналізує червона лампа HL2.

Значення досліджуваної напруги показує кіловольтметр.

У момент електричного пробую діелектрика спрацьовує максимальне реле КМ3, його блокуванням КМ3.І переривається ланцюг живлення котушок контактора КМ1 і реле КМ2, розмикаються силові контакти КМ1.1; КМ1.2, відключається іспитовий трансформатор Т3, втрачає живлення двигун М. Напруга пробую визначається по приладу, що на якийсь час фіксує показання.

Рисунок 2.2. – Принципова електрична схема апарата АИМ-80

Для повернення щітки варіатора і стрілки вимірювального приладу в нульове положення (у випадку розімкнутих контактів вимикача S4) необхідно натиснути кнопку S5, після чого здійсниться реверс електродвигуна.

При поверненні щітки варіатора в нульове положення замикається блокування SQ4 варіатора в колі котушок KM1; KM2, чим підготовляється схема до роботи. Розмикається блокування SQ5 у колі котушки KM4, контактами KM4.1 відключається електродвигун, замикається блокування SQ6 у колі жовтої сигнальної лампи HL3, що вказує на готовність схеми апарата до наступного іспиту.

Якщо вимикач S4 поставити в положення замкнутих його контактів, після пробою діелектрика повернення щітки варіатора і стрілки вимірювального приладу в нульове положення буде відбуватися автоматично. Блокування варіатора SQ1 відключають трансформатор при підйомі на ньому напруги вище номінального значення мережі, рівного 220 В.

За допомогою вимикача S3 (— —) можна в будь-який момент припинити підвищення напруги і потримати якийсь час випробуваний діелектрик під незмінною напругою.

Перед включенням установки варто перевірити справність захисного заземлення корпусу установки, справність блокувальних контактів, розташованих на кришці.

Для запобігання влучення високої напруги на низьковольтні кола в схемі передбачені конденсатори захисту C1, C2.

У процесі досліду **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**:

переривати підвищення випробної напруги в інтервалі 60...80 кВ вимиканням електродвигуна на час більш ніж 20 с, тому що первинна обмотка трансформатора не розрахована на тривале протікання по ній струму холостому ходу трансформатора при зазначених значеннях напруги;

включати високу напругу при не встановленій в апараті досліджуваної ємності;

працювати на апараті при напрузі вище 80 кВ. При досягненні зазначеного значення необхідно відключити апарат мережним вимикачем; відкривати кришку установки при включеній напрузі.

Порядок виконання роботи

1. Переконавшись, що напруга з установок знята. Виконати правила техніки безпеки.

2. Відкрити верхні дверцята апарата, встановити досліджувану ємність з рідким діелектриком, закрити дверцята. Дослід можна починати не раніш ніж через 10 хв. після заповнення ємності маслом.

3. Вимикач $S4/\rightarrow/$ може знаходитися в кожному із двох положень (див. опис схеми).

4. Подати напругу на схему, включити вимикач $SA/\sim/$. При цьому повинна загорітися зелена лампа.

Після включення необхідно, щоб стрілка вимірювального приладу установилася на нуль, і горів жовтий сигнал. При цьому, можливо, що стрілка вимірювального приладу:

- а) стоїть на нулі і горить жовтий сигнал;
- б) рухається до нуля, якщо вимикач $S4/\rightarrow/$ включений;
- в) стоїть не на нулі, якщо $S4/\rightarrow/$ відключений. У цьому випадку необхідно натиснути вимикач $S5/\rightarrow 0/$.

5. Натиснути вимикач включення випробної напруги $S2/\sim/$ через 10 хв. після заповнення рідким діелектриком досліджуваної ємності. При цьому повинний зайнятися червоний сигнал, згаснути жовтий; напруга на електродах автоматично підвищується до пробою. Показання кіловольтметра в момент, що передує пробую вказує значення пробивної напруги діелектрика.

6. Після повернення варіатора в нульове положення і загорання жовтої лампи необхідно відключити мережний вимикач; відкрити дверцята і з зазору

між електродами і із самих електродів за допомогою чистої сухої скляної трубки обережно видалити часточки сажі.

Дослід на пробіях кожної проби масла зробити шість разів з п'ятихвилинними інтервалами між пробоями. Інтервали необхідні для того, щоб тверді і газоподібні продукти розкладання масла видалилися з простору між електродами. Перший із шести пробояв у розрахунок не приймається, тому що на електродах можуть бути порошини, що впливають на значення напруги пробою.

За пробивну напругу проби масла приймається середнє арифметичне з п'яти наступних значень. Результати іспитів заносяться в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Номер досліджу	1	2	3	4	5	6
Пробивна напруга, кВ	18	17	18	16	14	15

Середня пробивна напруга: **16,3** ...кВ.

7. На підставі результатів дослідів і даних табл.2.2 зробити висновок про можливість використання масла.

Завдання на самостійну підготовку і контрольні питання

1. Фізична сутність електричного пробоя чистих рідких діелектриків.
2. Поясніть залежність електричної міцності трансформаторного масла від вмісту вологи.
3. Правила добору проб масла і проведення його дослідження.
4. Способи регенерації трансформаторного масла.
5. Перепишіть заходи для уповільнення процесу старіння трансформаторного масла.

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ціль роботи - вивчити вплив температури провідника на величину його питомого опору, що характеризує властивості провідникових матеріалів; одержати досліджуваним шляхом значення температурного коефіцієнта питомого опору провідників.

Теоретичні відомості

Температурний коефіцієнт електричного опору (α) — відносна зміна електричного опору ділянки електричного кола або питомого електричного опору матеріалу при зміні температури на 1 К, виражена у K^{-1} . В електроніці використовуються, зокрема, резистори із спеціальних металевих сплавів з низьким значенням α , як манганинових чи константанових сплавів та напівпровідникових компонентів з великими додатніми чи від'ємними значеннями α (термістори). Фізичний зміст температурного коефіцієнта опору виражений рівнянням:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT},$$

де dR — зміна електричного опору R при зміні температури на dT .

Температурна залежність опору для більшості металів близька до лінійної для широкого діапазону температур і описується формулою:

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

де:

R_T — електричний опір при температурі T [Ом];

R_0 — електричний опір при початковій температурі T_0 [Ом];

α — температурний коефіцієнт електричного опору [K^{-1}];

ΔT — зміна температури, що становить $T - T_0$ [К].

Питома провідність і питомий опір провідників. Зв'язок щільності струму J , А/м² і напруженості електричного поля E , В/м у провіднику визначається формулою:

$$J = \gamma \cdot E,$$

де γ , См/м – питома провідність провідникового матеріалу.

Відповідно закону Ома γ не залежить від напруженості електричного поля E при зміні останньої в досить широких межах. Величина $r = 1/\gamma$, обернена питомій провідності, називається питомим опором для провідника, що має опір R , довжину l , з постійним перерізом S , і обчислюється за формулою:

$$\rho = R \cdot S / l.$$

Температурний коефіцієнт питомого опору металів. Число носіїв заряду (концентрація вільних електронів) у металевому провіднику при підвищенні температури залишається практично незмінним. Однак внаслідок посилень коливань вузлів кристалічних ґраток з ростом температури з'являється більше завад на шляху спрямованого руху вільних електронів під дією електричного поля, тобто зменшується середня довжина вільного пробігу електрона l , зменшується рухливість електронів i , як наслідок, зменшується питома провідність металів і зростає питомий опір. Іншими словами, температурний коефіцієнт питомого опору металів ($K-1$) додатний:

$$\alpha_{\rho} = T k_{\rho} = \frac{1}{e} \frac{d\rho}{dt}.$$

При зміні температури у невеликих діапазонах на практиці допустимо використання формули:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot [1 + \alpha_{\rho} \cdot (T_2 - T_1)],$$

де ρ_1 , ρ_2 – питомі опори провідникового матеріалу при температурах T_1 і

T_2 (при цьому $T_1 > T_2$);

α_T – середній температурний коефіцієнт питомого опору матеріалу в діапазоні температур від T_1 до T_2 .

Надпровідники. При зниженні температури питомий опір r металів зменшується. А при досягненні криогенних температур, що наближаються до абсолютного нуля, раптово, різким стрибком падає до надзвичайно малого значення. Це зникнення електричного опору, тобто поява практично нескінченної питомої провідності матеріалу, було названо надпровідністю, а температура, при охолодженні до якої відбувається перехід речовини у надпровідний стан, – температурою надпровідного переходу T_c . Крім ртуті є багато інших матеріалів, і не тільки чистих металів, але й різних сплавів і хімічних сполук, здатних при охолодженні до досить низької температури переходити у надпровідний стан.

Деякі речовини, у тому числі такі найкращі провідникові матеріали, як срібло і мідь, при найбільш низьких, досягнутих у даний час температурах, перевести у надпровідний стан не вдається. Надпровідниками можуть бути не лише сполуки і сплави металів, яким характерна надпровідність, але й сполуки, до складу молекул яких входять винятково атоми елементів, що не є надпровідниками. На рис. 3.1 показано зміну опору при глибокому охолодженні зразків ртуті, яка є типовим надпровідником, і платини, що не належить до надпровідників (по осі абсцис відкладена абсолютна температура в Кельвінах, а по осі ординат – відношення опору зразка при даній температурі R_T до опору R_{273} при температурі $T = 273 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$).

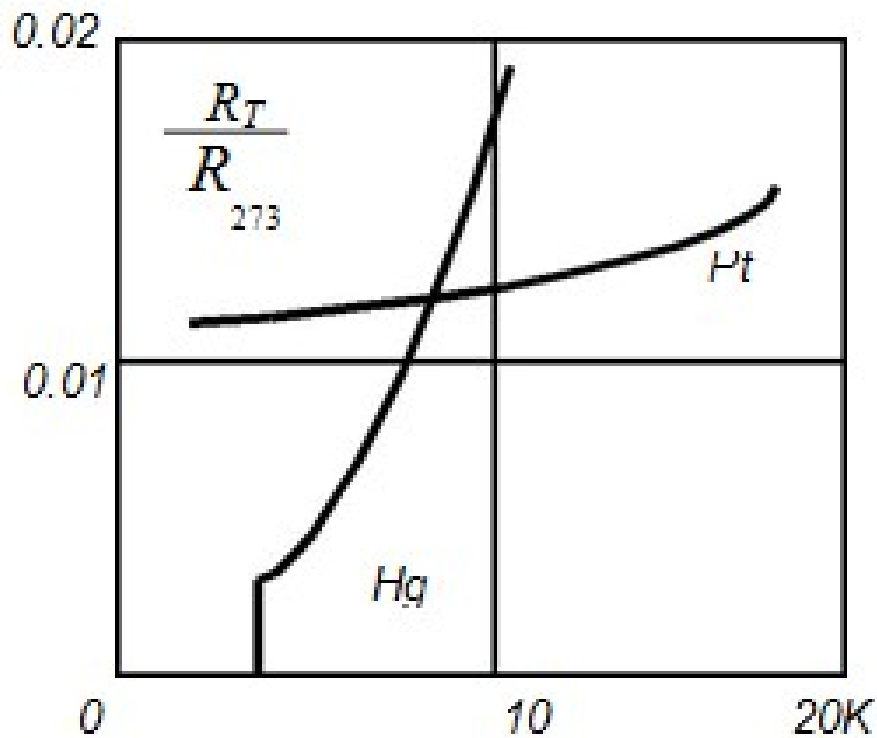


Рисунок 3.1 – Зміна опору зразків ртуті та платини при глибокому охолодженні

Явище надпровідності пов'язане з тим, що електричний струм, один раз наведений у надпровідниковому контурі, буде довго циркулювати по цьому контуру без помітного зменшення. Такий надпровідний контур створює в навколишньому просторі магнітне поле, подібно постійному магнітові, що не вимагає живлення від джерела струму.

Матеріали високої провідності. Вони використовуються для виготовлення обмоток електричних машин, апаратів, приладів і для передачі електричної енергії.

До матеріалів з малим питомим опором висуваються такі вимоги: низьке значення питомого опору та температурного коефіцієнта питомого опору; досить висока механічна міцність; здатність легко оброблятися; здатність добре зварюватися і створювати при цьому надійні сполуки з малим електричним

опором; достатня корозійна стійкість. Найбільш широко застосовуються як провідникові матеріали з високою провідністю мідь і алюміній.

Устаткування і прилади

Установка для проведення лабораторної роботи складається з п'яти дротових опорів (мідь, сталь, ніхром, константан, манганін) нагрівального елемента, що підключається до мережі 220 В, термометра для контролю температури провідників і моста МО-62 для виміру опору випробуваних зразків. Використання в роботі моста МО-62 забезпечує необхідну точність вимірів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з установкою для виміру опорів зразків випробуваних провідникових матеріалів.
2. Виконуючи вказівки викладача, підготувати до роботи міст МО-62.
3. Уключити нагрівальний елемент і при показаннях термометра 100°C відключити елемент від мережі.
4. У процесі остигання провідників виконати вимірювання опорів кожного зі зразків, результати записати в табл. 3.1.
5. Побудувати залежності $R = f(t)$ для п'яти зразків провідникових матеріалів.
6. Користуючись формулою:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_p (t_2 - t_1)]$$

$t_2 = 100^\circ\text{C}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, обчислити значення α_p - температурного коефіцієнта питомого опору провідникових матеріалів, з яких виготовлені випробувані зразки.

Таблиця 3.1

Номер зразка	Матеріал зразка	Температура провідника, $^\circ\text{C}$	Опір, Ом	Коефіцієнт, Град^{-1}
1		120		
		100		
		80		
		60		
		40		
2		120		
		100		
		80		
		60		
		40		
3		120		
		100		
		80		
		60		
		40		

8. Порівняйте отримані результати з довідниковими і зробіть висновки.

Завдання на самостійну підготовку і контрольні питання

1. Вивчіть основні властивості провідникових матеріалів.
2. Дайте визначення питомого опору провідників.
3. Опишіть установку для виміру опору зразків провідникових матеріалів при їхніх різних температурах.
4. Як визначити температурний коефіцієнт питомого опору провідника?
5. Напрямки і прогнози розвитку провідникових матеріалів.

6. Чому метали в газоподібному стані є електроізоляційними матеріалами?

Лабораторна робота №4

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Ціль роботи - вивчити процеси в твердих діелектриках при різних видах пробою, ознайомитися з порядком проведення дослідів твердих діелектриків і визначення їхньої електричної міцності, а також отримати уявлення про значення пробивних напруг найбільш розповсюджених твердих ізоляційних матеріалів.

Теоретичні відомості

У сучасній електротехніці використовується велика кількість найрізноманітніших видів твердих діелектриків. Серед них існують матеріали як природного походження (слюда, мармур, азбест, каніфоль), так і штучні (текстоліт, гетинакс, лакотканини, фарфор, синтетичні смоли, пластмаси). Але, незважаючи на таку різноманітність, усі тверді діелектрики підкоряються загальним законам, які визначають їхню електричну міцність.

Найхарактернішою особливістю твердих діелектриків, яка відрізняє їх від рідких та газоподібних, є втрата ними після пробою електроізолювальних властивостей. Порушення електричної міцності твердих діелектриків може бути наслідком пробою як крізь об'єм, так і по поверхні. Пробій по поверхні звичайно називають поверхневим розрядом, або перекриттям діелектрика. Якщо пробій крізь об'єм, в основному, визначається будовою діелектрика, то розряд по його поверхні залежить не лише від властивостей самого матеріалу, а й від стану його поверхні і навколишнього середовища.

Електрична міцність діелектрика залежить від хімічної будови його

матеріалу.

Крім хімічної будови на величину міцності твердих діелектриків впливає й фізична структура. Матеріали неоднорідної будови мають занижену величину міцності, але, якщо вони просочені електроізоляційними матеріалами, то підвищується їх електрична міцність.

Особливий практичний інтерес викликає явище пробою твердих полярних і неполярних діелектриків в однорідному й неоднорідному полях. Так, електрична міцність неполярного діелектрика в однорідному електричному полі значно вища від його електричної міцності в неоднорідному полі. Зовсім інший результат отримують при випробуванні полярного діелектрика у тих самих полях. Здебільшого при випробуваннях електрична міцність у неоднорідному електричному полі може бути вища, ніж в однорідному. Це явище можна пояснити тим, що у неоднорідному полі електрод «голку» можна встановити на ділянку з ознаками неполярного діелектрика. А на електродах «площина-площина» у поле потрапляють більше ділянок, у тому числі ділянки з ознаками полярного діелектрика. На останніх ділянках і відбувається пробій при нижчих значеннях напруги.

Розрізняють чотири види пробою твердих діелектриків:

- електричний пробій макроскопічних однорідних діелектриків;
- електричний пробій неоднорідних діелектриків;
- тепловий (електротепловий) пробій;
- електрохімічний пробій.

Кожний із зазначених видів пробою може мати місце для того самого матеріалу в залежності від характеру електричного поля (постійного чи змінного, імпульсного, низької чи високої частоти), наявності в діелектрику дефектів, зокрема закритих пор, від умов охолодження, часу впливу напруги.

Електричний пробій макроскопічних однорідних діелектриків. Цей вид пробою характеризується дуже швидким розвитком, він протікає за час 10^{-7} – 10^{-8} с і не обумовлений тепловою енергією, хоча електрична міцність при

електричному пробі до деякої міри залежить від температури.

Електричний пробій за своєю природою є чисто електронним процесом, коли з деяких початкових електронів у твердому тілі створюється електронна лавина. Електрони розсіюють енергію свого руху, накопичену в електричному полі, збуджуючи пружні коливання кристалічних ґраток. Електрони, що досягли певної критичної швидкості, відщеплюють нові електрони, і стаціонарний стан порушується, тобто виникає ударна іонізація електронами у твердому тілі.

Чисто електричний пробій має місце, коли унеможливлений вплив електропровідності та діелектричних втрат, що обумовлюють нагрівання матеріалу, а також відсутня іонізація газових включень. Для однорідного поля і повної однорідності структури матеріалу напруженість поля при електричному пробі може служити мірою електричної міцності речовини. Такі умови вдається спостерігати для монокристалів лужно-галоїдних сполук і деяких органічних полімерів. У цьому випадку Епр досягає сотень мегавольт на метр і більше.

Для однорідних матеріалів спостерігається помітна різниця між значеннями пробивної напруги в однорідному і неоднорідному полях.

Електричний пробій неоднорідних діелектриків. Він характерний для технічних діелектриків, що містять газові включення, і так само, як і електричний пробій однорідного діелектрика, дуже швидко розвивається.

Прийнято вважати, що в однорідному полі електрична міцність скла, порцеляни й інших твердих діелектриків не залежить від товщини зразка. Однак основні роботи з вивчення впливу ступеня однорідності на електричну міцність проводилися лише зі склом при дуже малій товщині зразків – від 0,05 до 0,2 – 0,5 мм, коли число дефектів невелике. Зі збільшенням товщини зразка підсилюється неоднорідність структури, зростає число газових включень і знижується електрична міцність як в однорідному полі, так і в неоднорідному. Іноді на досліді можна спостерігати, що електрична міцність кераміки при

електродах, що створюють зовнішнє неоднорідне поле, буде навіть вища, ніж при електродах, що забезпечують однорідне поле. Електрична міцність твердих діелектриків практично не залежить від температури до деякого її значення. Вище цього значення спостерігається помітне зниження електричної міцності, що говорить про появу механізму теплового пробію.

Електротепловий пробій. Він зводиться до розігріву матеріалу в електричному полі до температури, що відповідає хоча б місцевій втраті ним електроізоляційних властивостей, пов'язаній з надмірним зростанням наскрізної електропровідності або діелектричних втрат. Пробивна напруга при тепловому пробію залежить від ряду факторів: частоти поля, умов охолодження, температури навколишнього середовища та інших. Крім того, напруга теплового пробію залежить від нагрівостійкості матеріалу. Органічні діелектрики внаслідок малої нагрівостійкості, за інших рівних умов, мають більш низькі значення пробивних напруг при тепловому пробію, ніж неорганічні. При розрахунках напруги теплового пробію повинні братися до уваги значення $\tan \delta$ діелектрика і його залежність від температури, а також діелектрична проникність матеріалу.

У колах змінного струму низької частоти знаходять застосування матеріали, що дають різке зростання $\tan \delta$ уже при нагріванні вище 20 – 30 °С; з іншого боку, відомі діелектрики, значення $\tan \delta$ яких мало змінюється в дуже широкому інтервалі температур, аж до 150 – 200 °С (в останньому випадку тепловий пробій зможе розвиватися тільки при досягненні цих температур).

Температура нагрівання ізолятора в електричному полі високої напруги встановлюється тоді, коли тепловиділення виявиться рівним тепловіддачі в навколишнє середовище. У більшості випадків тепловідведення обумовлюється конвекцією повітря. Такі умови роботи підвісних і опорних ізоляторів, керамічних конденсаторів, каркасів котушок індуктивностей.

Тепловідведення за рахунок теплопровідності навколишнього

середовища має місце для кабелів, введів, вмонтованих у стіни. Звичайно при розрахунку ізоляторів вибирають таку робочу напругу, яка відповідає сталій температурі, щоб температура нагрівання не перевищувала деякого заданого значення, небезпечного з погляду нагрівостійкості діелектрика.

Тепловий пробій виникає у тому випадку, коли кількість теплоти, що виділяється в діелектрику за рахунок діелектричних втрат, перевищує кількість теплоти, яка може розсіюватися в даних умовах в навколишнє середовище. В цьому випадку порушується тепла рівновага, а процес набуває лавиноподібного характеру. Явище теплового пробою зводиться до розігрівання матеріалу в електричному полі до температур, відповідних розплавлення та обвуглювання.

Електрична міцність при тепловому пробіє є характеристикою не тільки матеріалу, але і виробу з нього, тоді як електрична міцність при електричному пробіє служить характеристикою самого матеріалу. Пробивна напруга, зумовлена нагрівом діелектрика, залежить від частоти напруги, умов охолодження, температури навколишнього середовища. Крім того, електротеплова пробивна напруга залежить від нагрівостійкості матеріалу. Органічні діелектрики (наприклад, полістирол) мають нижчі значення електротеплових пробивних напруг, ніж неорганічні (кварц, кераміка) внаслідок їх малої нагрівостійкості.

Електрохімічний пробій. Цей вид пробою ізоляційних матеріалів має особливо істотне значення при підвищених температурах і високій вологості повітря. Він спостерігається при постійній і змінній напругах низької частоти, коли в матеріалі розвиваються електролітичні процеси, які обумовлюють незворотне зменшення опору ізоляції.

Таке явище часто називають також старінням діелектрика в електричному полі, оскільки воно веде до поступового зниження електричної міцності. Електрохімічний пробій вимагає для свого розвитку тривалого часу тому, що він пов'язаний з явищами електропровідності, які приводить до повільного

виділення в матеріалі малих кількостей хімічно активних речовин, або з утворенням напівпровідних з'єднань. У кераміці, що містить окисли металів змінної валентності (наприклад, TiO_2), електрохімічний пробій зустрічається значно частіше, ніж у кераміці, що складається з окислів алюмінію, кремнію, магнію, барію.

Загальні положення

На величину електричної міцності твердих діелектриків впливають наступні фактори:

1. Рід діелектрика. Макроскопічні однорідні нейтральні діелектрики (фторопласт, поліетилен) звичайно мають підвищену електричну міцність. Електрична міцність пористих діелектриків (картон, папір) нижче, тому що в порах завжди маються домішки, а в повітряних включеннях може розвиватися іонізація. В неоднорідних діелектриках спостерігається значний різновид одержуваних значень електричної міцності. Тому при визначенні $E_{пр}$ необхідно випробувати велике число зразків того самого матеріалу, щоб визначити мінімальне і середнє значення електричної міцності.

2. Товщина діелектрика в тонких плівках і аркушах значно вище, ніж у товстих для того самого матеріалу, через кращу макроструктуру матеріалу (однорідність, менше число дефектів, велика щільність, незначна пористість).

3. Ступінь неоднорідності поля, що залежить від форми електродів. При збільшенні відстані між електродами ступінь неоднорідності збільшується, що веде до зменшення $E_{пр}$. Поле, близьке до однорідного, виходить за умови $d_2 - d_1 < 6h$, де d_2 і d_1 - діаметри нижнього і верхнього електродів відповідно; h - товщина зразка.

4. Вид досліджуваної напруги (постійна, змінна, імпульсна). Пробивна напруженість при постійній і імпульсній напрузі вище, ніж при змінному.

5. Час прикладання напруги і швидкість його підйому. Передбачено два способи підйому досліджуваної напруги.

Залежність електричної міцності від настільки великого числа різних факторів змушує визначати електричну міцність при строго нормованих умовах досліду (від напруги, швидкість його підйому, площа, форма електродів і відстань між електродами, число зразків, температура і вологість навколишнього середовища). Оскільки реальні умови роботи матеріалу здебільшого відрізняються від умов, у яких проводяться досліди, отримані при досліді дані можуть бути використані при % розрахунку електроізоляційних конструкцій тільки після введення відповідних коефіцієнтів.

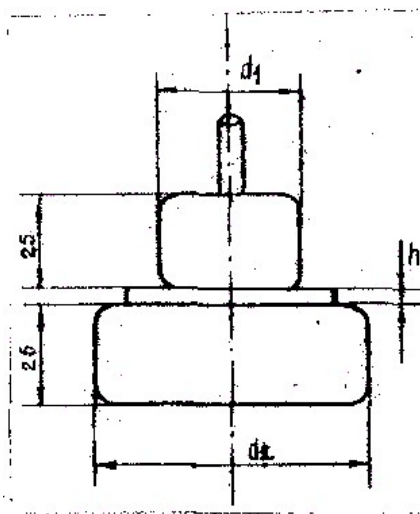


Рисунок 4.1. – Схема досліджуваної установки

Два електроди можуть знаходитися на поверхні діелектрика. У цьому випадку при перекритті відбувається порушення електричної міцності повітря, однак властивості діелектрика (його діелектрична проникність, поверхневий і об'ємний опір, товщина діелектрика) впливають на значення напруженості перекриття, що, як правило, значно нижче напруженості пробою по товщині.

Порядок виконання роботи

1. Виміряти мікрометром товщину кожного зразка не менше чим у трьох місцях і обчислити середнє значення товщини. Для кожного зразка одержати не менш трьох значень пробивної напруги і підрахувати їх середнє арифметичне.

Результати вимірів і розрахунків записати в табл.4.1

Пояснити розходження в електричній міцності діелектриків.

2. Зняти залежність $E_{пр} = f(h)$ на наборах з аркушів просоченого конденсаторного паперу. Поділ аркушів і наступне їхнє складання не дозволяється, тому що між аркушами можуть з'явитися повітряні зазори. На кожному наборі виробляється три пробої. Місця пробою повинні бути зміщені на

величину, зазначену викладачем отримані дані записати в табл.4.2.

Таблиця 4.1.

Найменування діелектрика	Середня товщина, мм.	$U_{пр}$ кВ	$U_{ср}$ кВ	$U_{макс} = \sqrt{2}U_{ср}$ кВ	$E_{пр}$ кВ/мм	$E_{ср}$ кВ/мм
1.						
2.						

Завдання на самостійну роботу і контрольні питання

1. Вивчіть види пробою твердих діелектриків.

2. Основні фактори, що впливають на процес пробою твердих ізоляційних матеріалів.

3. Чому збільшується електрична міцність конденсаторного папера після просочення її трансформаторним маслом?

4. Які вимоги пред'являються до зразків випробуваних діелектриків?

5. Коли в електроізоляційних матеріалах настає тепловий пробій?

6. Коли в електроізоляційних матеріалах настає іонізаційний пробій?

7. Коли в електроізоляційних матеріалах настає електрохімічний пробій?

8. Який вид має залежність пробивної напруги від тривалості впливу напруги?

9. Як електрична міцність залежить від температури?

10. Чому більш товсті шари "електроізоляційних матеріалів мають меншу електричну міцність?"

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ціль роботи - вивчити вплив температури провідника на величину його питомого опору, що характеризує властивості провідникових матеріалів; одержати досліджуваним шляхом значення температурного коефіцієнта питомого опору провідників.

Теоретичні відомості

Провідникові матеріали – це речовини які здатні добре проводити електричний струм, вони володіють підвищеною електропровідністю (10^5 См/м). Висока електропровідність провідникових матеріалів обумовлена наявністю великої кількості вільних електронів. Якщо провідник помістити в електричне поле, то під дією поля електрони набувають прискорення, яке пропорційне напруженості цього поля. Внаслідок цього виникає упорядкований направлений рух електронів в провіднику – електричний струм.

За агрегатним станом провідникові матеріали класифікують на:

- тверді: метали, сплави металів, електровугільні та вугільно-графітні вироби;
- рідкі: електроліти (розчини кислот, солей та лугів), розплави солей та лугів, розплавлені метали;
- газоподібні: іонізований газ (плазма).

За значенням питомого електричного опору металеві провідникові матеріали розділяють на дві групи:

- метали високої провідності у яких $0,05 \cdot 10^{-6}$ Ом (срібло, мідь, золото, алюміній, берилій, магній, натрій);
- та на метали і сплави високого опору $0,3 \cdot 10^{-6}$ Ом (манганін, константан, ніхром, фехраль та ін.).

Окремою групою виділяють надпровідники та кріопровідники.

Надпровідники – це провідникові матеріали, які володіють властивістю переходити у надпровідниковий стан (0) при їх охолодженні до дуже низької (критичної) температури.

До надпровідників за вказаних умов (при відповідних низьких температурах) відносяться: іридій (- 272, 86 0С), алюміній (- 271, 80С), олово (- 269,3 0С), ртуть (- 268,80С), свинець (- 265, 80С) та ін.

Деякі матеріали можуть досягати при досить низьких температурах (-1730Сі нижче) дуже низького значення, яке в сотні та тисячі разів менше ніж при звичайних умовах – це кріопровідники. До кріопровідників відносять берилій, алюміній, мідь, срібло, золото та ін.

Матеріали високої провідності використовують для виготовлення обмоток електричних машин та реле, струмопровідних жил проводів та кабелів, контактів, вставок запобіжників та ін.

Кріопровідники використовують для виготовлення струмоведучих жил проводів та кабелів, які працюють при температурах -173...-2520С.

До основних характеристик, що описують властивості провідникових матеріалів відносяться:

- питома провідність, См/м;
- питомий опір, Ом м;
- температурний коефіцієнт питомого опору ТК, або, К-1;
- питома теплоємність с, Дж/кг К;
- термоелектрорушійна сила, мкВ;
- робота виходу електронів із металу А, еВ;
- границя міцності при розриві р, МПа;
- температурний коефіцієнт лінійного видовження ТКІ К-1;
- відносне видовження при розриві І/І, %.

Устаткування і прилади

Установка для проведення лабораторної роботи складається з п'яти

дротових опорів (мідь, сталь, ніхром, константан, манганін) нагрівального елемента, що підключається до мережі 220 В, термометра для контролю температури провідників і моста МО-62 для виміру опору випробуваних зразків. Використання в роботі моста МО-62 забезпечує необхідну точність вимірів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з установкою для виміру опорів зразків випробуваних провідникових матеріалів.
2. Виконуючи вказівки викладача, підготувати до роботи міст МО-62.
3. Уключити нагрівальний елемент і при показанні термометра 100°C відключити елемент від мережі.
4. У процесі остигання провідників виконати вимірювання опорів кожного зі зразків, результати записати в табл.5.1.
5. Побудувати залежності $R = f(t)$ для п'яти зразків провідникових матеріалів.
6. Користуючись формулою:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_p (t_2 - t_1)]$$

$t_2 = 100^\circ\text{C}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, обчислити значення α_p -температурного коефіцієнта питомого опору провідникових матеріалів, з яких виготовлені випробувані зразки.

Таблиця 5.1.

Номер зразка	Матеріал зразка	Температура провідника, °C	Опір, Ом	Коефіцієнт, Град ⁻¹
1		120	41.14	
		100	40.11	
		80	41.19	
		60	41.27	
		40		
2		120	2.40	
		100	2.31	
		80	2.14	
		60	1.96	
		40		
3		120	38.95	
		100	39.54	
		80	38.97	
		60	38.92	
		40		

8. Порівняйте отримані результати з довідниковими і зробіть висновки.

Завдання на самостійну підготовку і контрольні питання

1. Вивчіть основні властивості провідникових матеріалів.
2. Дайте визначення питомого опору провідників.
3. Опишіть установку для виміру опору зразків провідникових матеріалів при їхніх різних температурах.
4. Як визначити температурний коефіцієнт питомого опору провідника?
5. Напрямки і прогнози розвитку провідникових матеріалів.
6. Чому метали в газоподібному стані є електроізоляційними матеріалами?

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ціль роботи – провести комп’ютерне моделювання і дослідити вплив зміни температури на питомий опір металевих провідників.

Попередня самостійна підготовка до роботи

1. Переглянути список контрольних питань (в кінці методичних вказівок) та знайти в літературі відповіді на них;
2. Уважно прочитати «Послідовність виконання роботи».

Послідовність виконання роботи

1. Активізувати комп’ютерну програму «Лабораторна робота № 6» («Дослідження температурної залежності питомого опору провідникових матеріалів»).
2. Ввімкнути віртуальні «Омметр» та «Вимірювач температури» (рис. 6.1).

Температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника при його нагріванні на 1°C .

Ми вже знаємо, що опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, матеріалу. Виявляється, що опір провідника залежить також і від його температури.

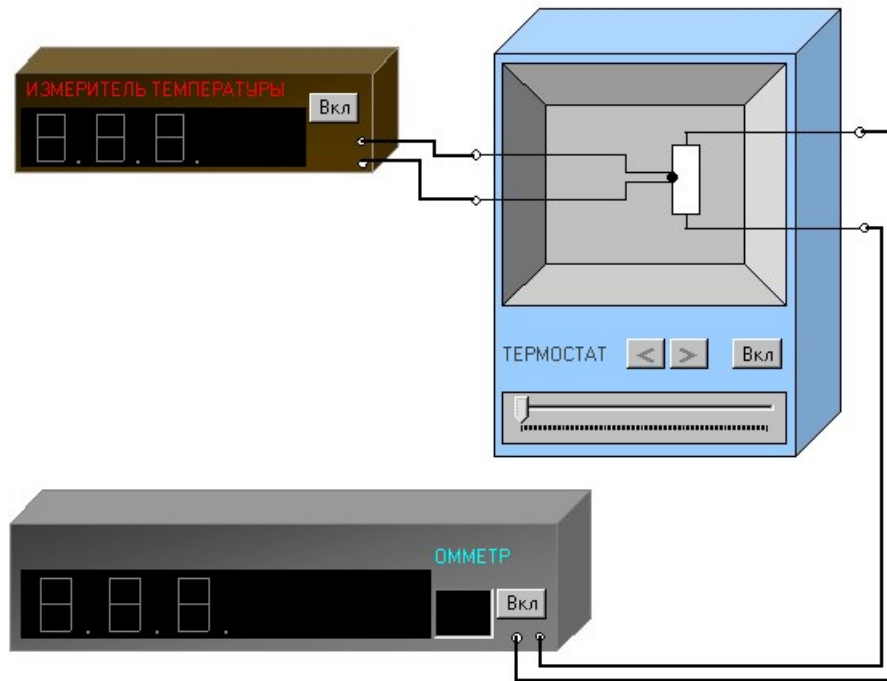


Рисунок 6.1

3. Помістити досліджуваний зразок "Мідь" ("Cu 100%") в термостат. Для цього необхідно "мишкою" активізувати позицію "Cu 100%" в таблиці "Вибір провідника" (рис. 6.2).

4. Ввімкнути "Термостат".

5. Виміряти величину опору мідного

зразка в залежності від температури. Температуру змінювати в інтервалі від 0°C до 100°C через кожні 10°C .

Результати вимірювань занести до таблиці 1.

6. Вимкнути "Термостат".

7. Повторити пп. 3-6 для зразків сплавів з міді та нікелю:

- Cu 20% Ni 80%;
- Cu 15% Ni 85%;
- Cu 40% Ni 60%.

Результати вимірювань занести до таблиці 6.1.

8. Повторити пп. 3-6 для зразка з нікелю "Ni 100%".

Выбор проводника:

N	Состав	Длина, м	Диам., мм
1	Cu 100%	5,1	0,1
2	Cu 20% Ni 80%	7,7	0,12
3	Cu 15% Ni 85%	8,7	0,17
4	Cu 40% Ni 60%	6,2	0,18
5	Ni 100%	2,2	0,4

Рисунок 6.2

Результати вимірювань занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

		t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Cu 100%	R, Ом												
	$\rho \times 10^{-6}$, Ом·м												
Cu 20% Ni 80%	R, Ом												
	$\rho \times 10^{-6}$, Ом·м												
Cu 15% Ni 85%	R, Ом												
	$\rho \times 10^{-6}$, Ом·м												
Cu 40% Ni 60%	R, Ом												
	$\rho \times 10^{-6}$, Ом·м												
Ni 100%	R, Ом												
	$\rho \times 10^{-6}$, Ом·м												

Обробка результатів вимірювання

1. Розрахувати за формулою $\rho = R \frac{S}{l}$, де R – опір провідника [Ом], ρ – питомий опір провідника [Ом·м], l – довжина проводу [м], S – площа поперечного перерізу проводу [м²], питомі опори досліджуваних зразків провідникових матеріалів.

Параметри зразків наведені в таблиці 6.2.

Результати розрахунків занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.2

Зразок провідника	Довжина l, м	Діаметр d, мм
Cu 100%	51	0.1
Cu 20% Ni 80%	7.7	0.12
Cu 85% Ni 15%	8.7	0.17
Cu 60% Ni 40%	6.2	0.18
Ni 100%	2.2	0.4

2. За результатами розрахунків п.1 побудувати в одній системі координат функціональні залежності питомого опору від температури $\rho = f(t^{\circ}\text{C})$ для кожного з досліджуваних провідників.

3. За нахилом побудованих в п.2 залежностей $\rho = f(t^{\circ}\text{C})$ на підставі формули $\alpha_{\rho} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1(t_1 - t_2)}$, де ρ_1 - питомий опір зразка за температури t_1 , ρ_2 - питомий опір зразка за температури t_2 , визначити температурний коефіцієнт питомого опору (ТКПО) α_{ρ} .

4. Порівняти експериментальні дані з довідниковими.

5. Зробити висновки .

Зміст звіту

1. Відповіді на питання домашнього завдання.
2. Порядок виконання лабораторної роботи.
3. Таблиці з вимірними та розрахованими даними.
5. Графіки .
6. Результати розрахунків.
7. Висновки за результатами виконаної роботи.
8. Список використаної літератури.

Контрольні питання

1. Які матеріали називають провідниками?
2. Наведіть класифікацію провідникових матеріалів.
3. Яка природа електропровідності провідників першого роду?
4. Назвіть основні електричні параметри провідників.
5. Що називають питомим електричним опором та питомою електричною провідністю?
6. Дайте визначення температурного коефіцієнту питомого електричного опору.
7. Назвіть провідникові матеріали, які відносять до провідників високого опору.
8. Наведіть формулу, за якою можна визначити опір дроту довжиною l та площею поперечного перерізу S .
9. Як залежить питомий опір металевих провідників від температури та домішок?
10. Наведіть формулу залежності опору проводу від його температури.
11. Назвіть провідникові матеріали та елементи і пристрої електричних кіл, для виготовлення яких використовують дані матеріали.

Лабораторна робота № 7
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ
ПИТОМОГО ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ціль роботи – провести комп'ютерне моделювання та дослідити вплив зміни температури на питомі опори власного та домішкового напівпровідників. Ознайомитись з методикою визначення власної та домішкової концентрацій зарядів в напівпровідниках.

Теоретичні відомості

Електропровідність напівпровідників залежить від напруженості електричного поля. При низьких значеннях напруженості виконується закон Ома і питома провідність не залежить від напруженості поля, а при більш високих напруженостях поля починається інтенсивне зростання питомої провідності за експонентним законом, що приводить до руйнування структури напівпровідника. З ростом температури питома провідність збільшується.

Зростання провідності зумовлено ростом числа носіїв заряду. При подальшому зростанні поля може з'явитися механізм ударної іонізації, що приводить до руйнування структури напівпровідника.

Найбільш важливі технічні застосування напівпровідників засновані на створенні в одному матеріалі контактувальних областей з різними типами електропровідності – (p-n-переходів), з однією електропровідністю, але різної величини (n-n⁺ або p-p⁺), а також контактів метал-напівпровідник, метал-діелектрик-напівпровідник та ін.

Для більшості напівпровідникових приладів використовуються домішкові напівпровідники. Тому в практиці важливе значення мають такі напівпровідникові матеріали, у яких відчутна концентрація власних носіїв заряду з'являється при високій температурі, тобто напівпровідники з досить

широкою забороненою зоною. У робочому інтервалі температур постачальниками вільних носіїв заряду є домішки. Домішками в простих напівпровідниках служать іншорідні атоми. Під домішками в напівпровідникових хімічних сполуках розуміють не тільки включення атомів іншорідних елементів, але й надлишкові за стехіометричним складом атоми тих самих елементів, що входять у хімічну формулу самої сполуки. Крім того, роль домішок відіграють різні дефекти кристалічних ґраток: порожні вузли, атоми або іони в міжвузлах ґратки, дислокації або зрушення, що виникають при пластичній деформації кристалів, мікротріщини та інше. Якщо домішкові атоми знаходяться у вузлах кристалічних ґраток, то вони називаються домішками заміщеними, якщо між вузлами – домішками впровадження.

Донори й акцептори – це домішки, атоми яких створюють дискретні енергетичні рівні в межах забороненої зони напівпровідника. При невеликій концентрації домішок їхні атоми розташовані в ґратках напівпровідника на таких великих відстанях один від одного, що вони не взаємодіють, а тому енергетичні рівні їх майже такі ж, як в окремому вільному атомі. Імовірність безпосереднього переходу електронів з одного домішкового атома до іншого мізерно мала. Однак домішки можуть або поставляти електрони в зону провідності напівпровідника, або приймати їх з рівнів його валентної зони.

Донори. Заповнені при відсутності зовнішніх енергетичних впливів (тепло, світло) домішкові рівні розташовані в забороненій зоні біля «дна» зони провідності. При цьому енергія активації домішкових атомів менша, ніж ширина забороненої зони основного напівпровідника, а тому при нагріванні тіла перехід електронів домішок буде випереджати збудження електронів ґратки. Позитивні заряди, що виникли у віддалених один від одного домішкових атомах (рівні домішок показані з розривами), залишаються локалізованими, тобто не можуть переміщуватись в кристалі і брати участь в електропровідності. Напівпровідник з такою домішкою має концентрацію електронів більшу, ніж концентрація дірок, що з'явилися за рахунок переходу

електронів з валентної зони в зону провідності, і його називають напівпровідником n-типу, а домішки, що поставляють електрони в зону провідності, – донорами.

Акцептори. Інші домішки можуть внести незаповнені рівні, що розташовуються в забороненій зоні основного напівпровідника у верхній частині валентної зони. Теплове порушення буде в першу чергу перекидати електрони з валентної зони на ці вільні домішкові рівні. Через роз'єднаність атомів домішки електрони, які перейшли на домішкові рівні, не будуть брати участь в електричному струмі. Такий напівпровідник буде мати концентрацію дірок більшу, ніж концентрація електронів, що перейшли з валентної зони в зону провідності, і його відносять до р-типу. Домішки, що захоплюють електрони з валентної зони напівпровідника, називаються акцепторами.

У напівпровідниках з атомними ґратками (а також в іонних кристалах при підвищених температурах) рухливість змінюється при зміні температури порівняно слабо (за усталеним законом), а концентрація – дуже сильно (за експонентним законом). Тому графік температурної залежності питомої провідності подібний температурній залежності концентрації носіїв, обумовлених домішками. У зоні виснаження (концентрація постійна) електронних ресурсів домішкових атомів зміна питомої провідності зумовлена температурною залежністю рухливості.

Попередня самостійна підготовка до роботи

1. Переглянути список контрольних питань (в кінці методичних вказівок) та знайти в літературі відповіді на них;
2. Уважно прочитати «Послідовність виконання роботи».

Послідовність виконання роботи

1. Активізувати комп'ютерну програму «Лабораторна робота № 7» («Дослідження температурної залежності питомого опору напівпровідникових матеріалів»).
2. Ввімкнути віртуальні «Омметр» та «Вимірювач температури» (рис. 7.1)

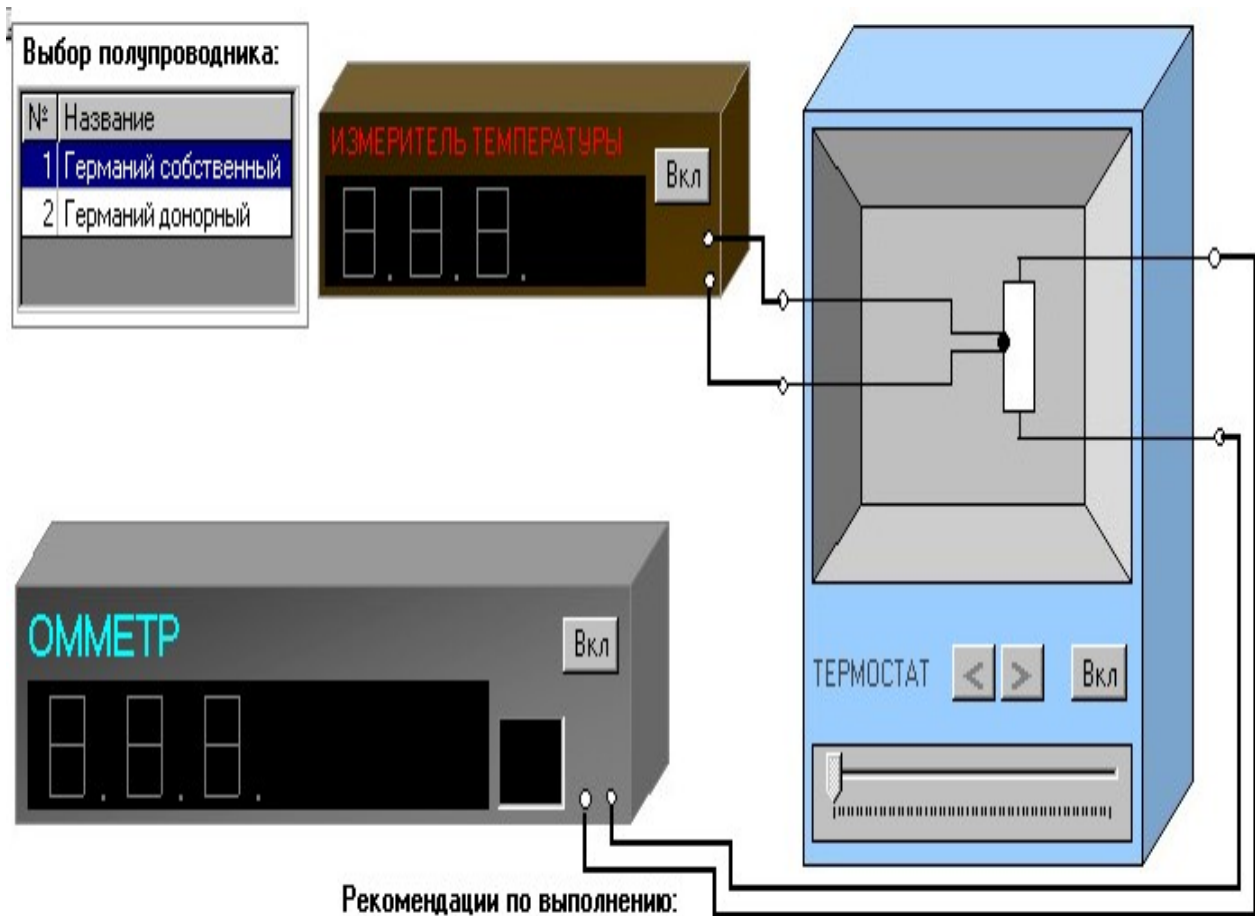


Рисунок 7.1.

3. Помістити досліджуваний зразок *чистого (власного) германію* в термостат. Для цього необхідно "мишкою" активізувати позицію "Германій власний" в таблиці "Вибір напівпровідника".
4. Ввімкнути "Термостат".
5. Виміряти величину опору зразка власного германію в залежності

від температури. Температуру змінювати в інтервалі від 20°C до 80°C через кожні 5°C.

Результати вимірювань занести до таблиці 1.

6. Вимкнути "Термостат".

7. Повторити пп. 3-6 для германієвого зразка з донорною домішкою.

Результати вимірювань занести до таблиці 1.

Обробка результатів вимірювання

6. Розрахувати за формулою $\rho = R \frac{S}{l}$, де R – опір напівпровідника [Ом], ρ – питомий опір напівпровідника [Ом·м], l – довжина зразка [м], S – площа поперечного перерізу прямокутного зразка [м²], питомі опори досліджуваних зразків напівпровідникових матеріалів. Результати розрахунків занести до таблиці 7.1. Параметри зразків наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.1

t, °C	T, K	1/T, K ⁻¹	Власний германій			Домішковий германій		
			R, Ом	ρ , Ом·м	ln ρ	R, Ом	ρ , Ом·м	ln ρ
<i>Розрахунок</i>			<i>Розрахунок</i>			<i>Розрахунок</i>		
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								

Таблиця 7.2

<i>Зразок напівпровідника</i>	<i>Довжина l, м</i>	Розміри поперечного перерізу, мм
Власний германій	10	1,5 x 1,3
Домішковий германій	5	1,2 x 1,4

7. За результатами розрахунків п.1 побудувати в одній системі координат функціональні залежності питомого опору від температури $\rho = f(t^{\circ}\text{C})$ для кожного з досліджуваних напівпровідників.

8. Розрахувати (результати розрахунку занести до табл. 7.1) та побудувати в одній системі координат функціональні залежності $\ln \rho = f(T^{-1})$, де T - абсолютна температура.

9. За допомогою графіка залежності $\ln \rho = f(T^{-1})$ власного германію розрахувати кутовий коефіцієнт β за формулою $\beta = \frac{\ln \rho_2 - \ln \rho_1}{T_2^{-1} - T_1^{-1}}$.

10. Визначити ширину забороненої зони ΔE власного германію $\Delta E = 2k\beta$, де $k = 8,85 \cdot 10^{-5}$ еВ/К – стала Больцмана.

11. Розрахувати концентрацію власних носіїв германію при температурі $T = 300$ К за формулою $n_i = \left[\rho e (\mu_n + \mu_p) \right]^{-1}$, де $\mu_n = 3800$ см²/В·с,

$\mu_p = 1800$ см/В·с - рухомості відповідно електронів та "дірок", e – заряд електрона.

12. Розрахувати концентрацію власних донорів домішкового германію при температурі $T=300$ К за формулою $n_d = (\rho e \mu_n)^{-1}$.

13. Зробити висновки .

Зміст звіту

1. Відповіді на питання домашнього завдання.
2. Порядок виконання лабораторної роботи.
3. Таблиці з вимірними та розрахованими даними.
4. Графіки .
5. Результати розрахунків.
6. Висновки за результатами виконаної роботи.
7. Список використаної літератури.

Контрольні питання

1. Назвіть напівпровідникові матеріали, які використовують при виготовленні елементної бази електронної апаратури.
2. Власні напівпровідники.
3. Наведіть основні фізичні властивості кремнію, германію, арсеніду галію.
4. Домішкові напівпровідники.
5. Акцепторні домішки
6. Донорні домішки.
7. Фізична суть електронної провідності.
8. Фізична суть "діркової" провідності.
9. Чим відрізняється температурна залежність питомого опору власного напівпровідника від домішкового?

Лабораторна робота № 8
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ПОЛЯРИЗАЦІЇ
ТА ВТРАТ В ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛАХ

Ціль роботи – провести комп'ютерне моделювання та дослідити вплив температури на явище поляризації та величину діелектричних втрат в діелектриках. Ознайомитись з методикою визначення їх відносної діелектричної проникності.

Теоретичні відомості

Для будь-якого діелектрика характерним процесом, що виникає при дії на нього електричного поля, є поляризація – обмежений зсув зв'язаних зарядів або орієнтація дипольних молекул.

Про явища, зумовлені поляризацією діелектрика, можна судити за значенням діелектричної проникливості, а також кута діелектричних втрат, якщо поляризація діелектрика супроводжується розсіюванням енергії, що викликає нагрівання діелектрика. У нагріванні технічного діелектрика можуть брати участь нечисленні вільні заряди, які зумовлюють виникнення під впливом електричного поля малого наскрізного струму.

Під впливом електричного поля зв'язані електричні заряди діелектрика зміщуються в напрямку діючих на них сил і тим більше, чим вища напруженість поля. При знятті електричного поля заряди повертаються в початковий стан. У полярних діелектриках, що містять дипольні молекули, вплив електричного поля викликає орієнтацію диполів, при відсутності поля диполі знаходяться в тепловому русі.

Більшість діелектриків характеризується лінійною залежністю

електричного зміщення від напруженості електричного поля, створеного в діелектрику. Особливу групу складають діелектрики, у яких зі зміною напруженості поля електричне зміщення залежить нелінійно. Такі діелектрики називаються сегнетоелектриками. Назва “сегнетоелектрик” пов'язана з тим, що нелінійність поляризації вперше була виявлена в сегнетовій солі.

Поляризація діелектриків залежно від агрегатного стану і структури поділяється на два основних види.

До першого виду відносять поляризацію, що відбувається в діелектрику під впливом електричного поля практично миттєво, пружно, без розсіювання енергії, тобто без виділення тепла. Другий вид поляризації не відбувається миттєво, а наростає й убуває уповільнено і супроводжується розсіюванням енергії в діелектрику, тобто його нагріванням. Такий вид поляризації називають релаксаційною поляризацією.

До першого виду поляризації відносять електронну та іонну, інші механізми належать до релаксаційної поляризації. Особливим механізмом поляризації є резонансна, що спостерігається в діелектриках при світлових частотах, а тому малоістотна для практичної електротехніки.

Ємність конденсатора з діелектриком і накопичений у ньому електричний заряд обумовлюються сумою різних механізмів поляризації. Вони можуть спостерігатися в різних діелектриках, кілька механізмів одночасно може існувати в одному й тому самому матеріалі.

Електронна поляризація являє собою пружне зміщення і деформацію електронних оболонок атомів. Час встановлення електронної поляризації (10-15 с). Електронна поляризація спостерігається в усіх видах діелектриків і не пов'язана з втратою енергії.

Іонна поляризація характерна для твердих тіл з іонною структурою й обумовлена пружним зміщенням зв'язаних іонів. Час встановлення іонної поляризації (10-13 с).

Дипольно-релаксаційна поляризація відрізняється від електронної та

іонної тим, що вона пов'язана з орієнтацією дипольних молекул, що перебувають в хаотичному русі, під дією електричного поля. Дипольна поляризація характерна для полярних газів і рідин. Цей вид поляризації може спостерігатися також і у твердих полярних органічних речовинах, але в цьому випадку поляризація зумовлена вже не поворотом самої молекули, а поворотом наявних у ній радикалів відносно молекули. Прикладом речовини з цим видом поляризації є целюлоза, полярність якої пояснюється наявністю гідроксильних груп ОН.

У кристалах з молекулярними ґратками і слабкими вандерваальсовими зв'язками можлива орієнтація і більш великих часток.

Іонно-релаксаційна поляризація спостерігається в неорганічних речовинах з нещільним упакуванням іонів. У цьому випадку слабо зв'язані іони речовини під дією зовнішнього електричного поля орієнтуються в напрямку поля. З підвищенням температури іонно-релаксаційна поляризація помітно підсилюється.

Електронно-релаксаційна поляризація відрізняється від електронної та іонної і виникає за рахунок збуджених тепловою енергією надлишкових (дефектних) електронів або дірок.

Міграційна поляризація характерна для твердих тіл неоднорідної структури при макроскопічних неоднорідностях і наявності домішок. Ця поляризація виявляється при низьких частотах і пов'язана зі значним розсіюванням електричної енергії. Причинами такої поляризації є провідні і напівпровідні включення в технічних діелектриках, наявність шарів з різною провідністю та інші.

Попередня самостійна підготовка до роботи

1. Переглянути список контрольних питань (в кінці методичних вказівок) та знайти в літературі відповіді на них;
2. Уважно прочитати “Послідовність виконання роботи”

Послідовність виконання роботи

8. Активізувати комп'ютерну програму "Лабораторна робота №5" ("Дослідження явища поляризації та втрат в діелектричних матеріалах").

9. Ввімкнути віртуальні "Міст змінного струму P5079" та "Вимірювач температури" (рис. 1)

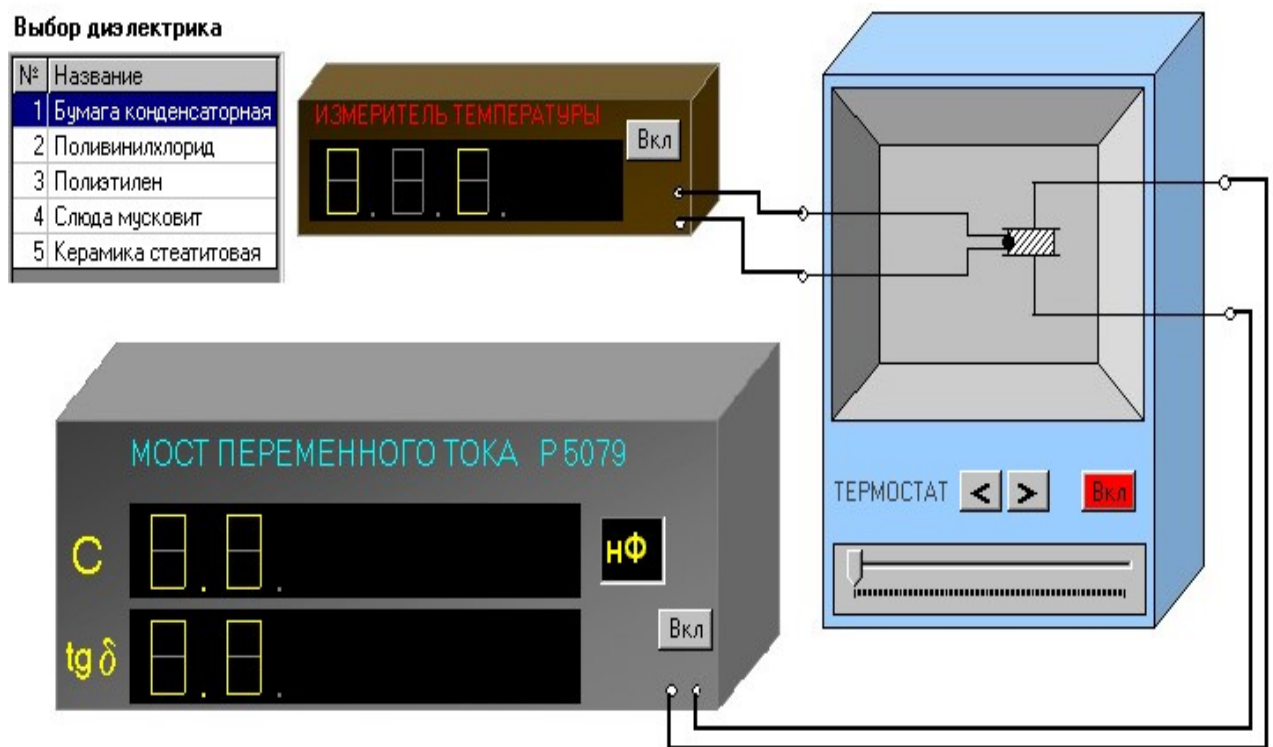


Рисунок 1

10. Помістити площинний конденсатор зі зразком досліджуваного діелектрика в термостат. Для цього необхідно "мишкою" активізувати позицію "Папір конденсаторний" в таблиці "Вибір діелектрика".

11. Ввімкнути "Термостат".

12. Виміряти величини електричної ємності C та тангенса кута

діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ досліджуваного зразка діелектрика в залежності від температури $t^{\circ}\text{C}$. Температуру змінювати в інтервалі від 20°C до 120°C через кожні 10°C .

Результати вимірювань занести до таблиці 1.

13. Вимкнути "Термостат".

14. Повторити пп. 3-6 для зразків інших діелектриків:

- полівінілхлориду;
- поліетилену;
- слюди мусковіт;
- кераміки стеатитової.

Результати вимірювань занести до таблиці 1.

Таблиця 1

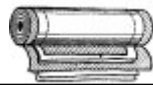
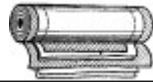
		t , $^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0	00	10	20
р	конденсат	C											
		t											
		ϵ											
полівінілхлорид	ид	C											
		t											
		ϵ											
Поліетилен		C											
		t											
		ϵ											
юда мус		C											
		t											
		ϵ											
ка	с	C											
		t											

	ε											
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Обробка результатів вимірювання

1. За формулами, наведеними в таблиці 8.2, розрахувати відносні діелектричні проникності ϵ для різних зразків досліджуваних діелектричних матеріалів. Результати розрахунків занести до табл. 1. Параметри зразків наведені в табл. 8.2.
2. За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат функціональні залежності ємності C конденсатора з кожним із досліджуваних діелектриків від температури $C = f(t^\circ)$.
3. За результатами розрахунків п.1 побудувати в одній системі координат функціональні залежності відносної діелектричної проникності від температури $\epsilon = f(t^\circ)$.

Таблиця 8.2

Зразок	Площа обкладок конденсатора S , мм ²	Товщина діелектрика d , мкм	Розрахункова формула	Примітка
Папір конденсаторний	12×125	20	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$, де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	Конденсатор рулонного типу 
Полівінілхлорид	20×30	200	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	Конденсатор площинного типу
Поліетилен	10×120	4	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	Конденсатор рулонного типу 
Слюда мусковіт	12×12	50	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} (n - 1)$, де n - кількість	Конденсатор секційного типу

			прошарків діелектрика (n=3)		
Кераміка стеатитова	Зовнішній діаметр D, мм	Внутрішній діаметр d, мм	Довжина L, мм	$C = \frac{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon L}{\ln \frac{D}{d}}$	Конденсатор циліндричний й 
	4,2	4	30		

4. За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат функціональні залежності тангенса кута діелектричних втрат в досліджуваних діелектриках від температури $\text{tg } \delta = f(t^{\circ})$.

5. Зробити висновки .

Зміст звіту

1. Відповіді на питання домашнього завдання.
2. Порядок виконання лабораторної роботи.
3. Таблиці з вимірними та розрахованими даними.
4. Графіки .
5. Результати розрахунків.
6. Висновки за результатами виконаної роботи.
7. Список використаної літератури.

Контрольні питання

1. Назвіть діелектричні матеріали, які використовують при виготовленні елементної бази електронної апаратури.
2. Поляризація діелектриків.
3. Види поляризації.
4. Діелектрична проникність.
5. Втрати в діелектриках.
6. Тангенс кута діелектричних втрат.
7. Конденсатори.

Варіант 1

1. Діелектричними називають матеріали, основною властивістю яких...

- а) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;
- б) є здатність до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;
- в) є відсутність здатності до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;
- г) є відсутність здатності до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля.

2. Провідниковими називають матеріали, основною електричною властивістю яких...

- а) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;
- б) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ магнітопровідність;
- в) є слабо виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- г) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність.

3. Електроізоляційними матеріалами зветься...

- а) діелектрики, які використовують в технічних пристроях для запобігання витоку електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги (кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та апаратів від провідникових, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі);
- б) матеріали, основною властивістю яких є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;
- в) матеріали, основною властивістю яких є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- г) провідники, які використовують в технічних пристроях для запобігання витоку електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги

(кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та апаратів від діелектричних, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі).

4. Пробій діелектрика – ...

- а) повна втрата ним електроізоляційних властивостей;
- б) часткова втрата ним електроізоляційних властивостей;
- в) набуття втрата ним електроізоляційних властивостей.

5. Головне квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта та її віддаленість від ядра (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- в) визначає рівень енергії та віддаленість від ядра (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона).

6. l – побічне (орбітальне) квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) характеризує момент кількості руху електронів відносно центру орбіти (орбітальний момент імпульсу (механічний момент)), l приймає значення цілих чисел від 0 до $n-1$;
- в) визначає положення площини орбіти електронів у просторі (квантує проекцію вектора механічного моменту на заданий напрям зовнішнього магнітного поля). Це число має всі значення цілих чисел додатних і від'ємних, але l не може бути менше за $-l$ і більше за l .

7. m – магнітне квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) характеризує момент кількості руху електронів відносно центру орбіти (орбітальний момент імпульсу (механічний момент)), l приймає значення цілих чисел від 0 до $n-1$;
- в) визначає положення площини орбіти електронів у просторі (квантує проекцію вектора механічного моменту на заданий напрям зовнішнього магнітного поля). Це число має всі значення цілих чисел додатних і від'ємних, але $l \geq 0$ в межах числа l .

8. Бозонами називають - ...

- а) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями;
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) електрони, протони і нейтрони й інші частинки.

9. Ферміонами називають - ...

- а) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями;
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) Фотони ($S = 0$).

10. Довжина диполя - ...

- а) відстань між електричними центрами тяжіння зарядів;
- б) сума електричних зарядів;
- в) відстань між магнітними центрами тяжіння зарядів;
- г) відстань між двома електронами.

11. Питомий електричний опір (ρ) визначається за формулою:

а) $\rho = \frac{R}{l}$

б) $\rho = \frac{S}{l}$,

в) $\rho = RSl$,

г) $\rho = \frac{RS}{l}$,

д) $\rho = \frac{R^2 S}{l}$.

12. Ємність плоского конденсатора визначається за формулою:

а) $C = \frac{E^2 E_0 S}{d}$;

б) $C = EE_0 Sd$;

в) $C = \frac{E^2 E_0^2 S}{d}$;

г) $C = \frac{EE_0 S}{d}$;

д) $C = \frac{E^2 E_0^2 S^2}{d}$.

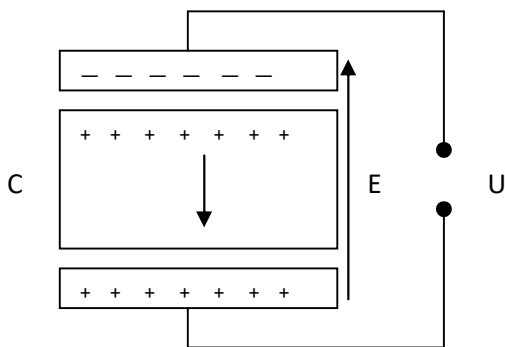


Рис. Діелектрик в електричному полі

13. Заряд будь-якого конденсатора

визначають:

а) $Q=C/U$

де C – ємність конденсатора;

U – прикладена напруга.

б) $Q=C \cdot U$

де C – ємність конденсатора;

U – прикладена напруга.

в) $Q=U/C$, де C – ємність конденсатора; U – прикладена напруга.

14. Електронна поляризація - ...

а) це пружне зміщення електронних оболонок і деформація атомів ($t_E=10^{-15}$ с);

б) деформація пружно зв'язаних іонів кристалічних структур (наприклад, скло) – ($t_i=10^{-13}$ с);

в) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів;

г) обумовлена наявністю електронів і дірок.

15. Полярними називають молекули у яких ...

а) центри додатніх і від'ємних зарядів співпадають;

б) центри додатніх і від'ємних зарядів не співпадають (характеризується дипольним моментом).

16. Дипольний момент молекули μ визначається за формулою:

а) $\mu = l \cdot e$;

б) $\mu = l / e$;

в) $\mu = l^2 \cdot e$;

г) $\mu = l \cdot e^2$.

17. Чи можуть неполярні молекули, під дією зовнішнього електричного поля, стати полярними?

а) так; б) ні.

18. Закон постійності границь кутів формулюються так:

а) при виділені твердої речовини із розчину найчастіше отримуються неправильні кристали, їх форма спотворена в результаті неправильного росту в умовах кристалізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються сталими.

б) при виділені твердої речовини із розчину найчастіше отримуються неправильні кристали, їх форма спотворена в результаті неправильного росту в умовах кристалізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються різними.

в) при виділені твердої речовини із розчину найчастіше отримуються правильні кристали, їх форма спотворена в результаті правильного росту в умовах іонізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються різними.

19. Деякі речовини, близькі по своїй хімічній природі, хоч і різні за складом утворюють кристал однакової форми, характеризуються однаковими константами їх просторових ґраток. Такі речовини називаються

а) поліморфними;

б) ізоморфними;

в) аморфними.

20. Поліус молекули – це..

а) електричний центр тяжіння;

б) магнітний центр тяжіння;

в) ядро;

г) електрон.

Варіант 2

1. Деякі речовини, близькі по своїй хімічній природі, хоч і різні за складом утворюють кристал однакової форми, характеризуються однаковими константами їх просторових ґраток. Такі речовини називаються

- а) поліморфними;
- б) ізоморфними;
- в) аморфними.

2. Додатньо зарядженими частинами у будь-якій молекулі є...

- а) електрони;
- б) ядра;
- в) іони.

3. Іонна поляризація – це ...

- а) деформація пружно зв'язаних іонів кристалічних структур (наприклад, скло) – ($t_i=10^{-13}$ с);
- б) пружне зміщення електронних оболонок і деформація атомів ($t_E=10^{-15}$ с);
- в) характерна для сегнетоелектриків (матеріали, з доменною структурою, що має електричний момент при відсутності електричного поля).

4. Якщо ковалентний зв'язок встановлений між однаковими елементами, то загальні електрони знаходяться на однакових відстанях від ядер обох атомів, такий зв'язок називається:

- а) іонним;
- б) полярним;
- в) неполярним.

5. Ємність плоского конденсатора визначається за формулою:

а) $C = \epsilon E \epsilon_0 S d$;

б) $C = \frac{E^2 \epsilon_0 S}{d}$;

в) $C = \frac{\epsilon E \epsilon_0 S}{d}$;

г) $C = \frac{E^2 \epsilon_0^2 S}{d}$;

д) $C = \frac{E^2 \epsilon_0^2 S^2}{d}$.

6. Сегнетоелектрики – це...

а) характеризуються спонтанною, електронною, іонною, електронно іонна релаксаційною поляризацією;

б) характеризуються малою щільністю за рахунок великі відстані між молекулами. Тому діелектрична проникливість усіх газів незначна і близька до 1;

в) діелектрики з електронною і іонною поляризаціями (кристалічні речовини з щільною упаковкою іонів (кам'яна сіль, слюда).

7. Додатні іони утворюються шляхом...

а) відщеплення від атомів електронів;

б) приєднання електронів до атомів;

в) відщеплення від атомів протонів.

8. Поляризація – це...

а) основний для діелектрика процес, що виникає при дії на нього електричної напруги, пов'язаний із обмеженим зміщенням зв'язаних зарядів чи орієнтацією дипольних молекул;

б) основний для діелектрика процес, пов'язаний із обмеженим зміщенням

зв'язаних зарядів чи орієнтацією дипольних молекул;

в) основний для діелектрика процес, пов'язаний із обмеженим зміщенням зв'язаних зарядів чи орієнтацією іонів.

9. Для розрахунку питомого об'ємного опору (Ом·м) користуються формулою:

а) $\rho = R \frac{\pi d^2}{4h}$;

б) $\rho = R \frac{\pi d}{4h}$;

в) $\rho = R \frac{\pi d^2}{4h^3}$;

г) $\rho = R \frac{\pi d^2}{2h^3}$;

д) $\rho = R \frac{\pi d^2}{2h}$.

10. Електронна поляризація - це ...

а) пружне зміщення електронних оболонок і деформація атомів ($t_E = 10^{-15}$ с).

б) деформація пружно зв'язаних іонів кристалічних структур (наприклад, скло) – ($t_i = 10^{-13}$ с).

в) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів.

д) обумовлена наявністю електронів і дірок.

11. Чи будуть впливати на розподілення заряду всередині молекули заряди пластин, якщо неполярну молекулу помістити між пластинами конденсатора ?

а) ні;

б) так;

в) не можна сказати однозначно.

12. Полюс молекули – це..

- а) ядро;
- б) магнітний центр тяжіння;
- в) електричний центр тяжіння;
- г) електрон.

13. Ферміонами називають - ...

- а) фотони ($S = 0$);
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями.

14. Дипольно-релаксаційна поляризація – ...

- а) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів;
- б) обумовлена наявністю електронів і дірок;
- в) обумовлена наявністю домішок в діелектрику (неоднорідний діелектрик);
- г) характерна для сегнетоелектриків (матеріали, з доменною структурою, що має електричний момент при відсутності електричного поля. Характерна петля гістерезисну.

15. Електронно-релаксаційні поляризація – ...

- а) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів;
- б) обумовлена наявністю електронів і дірок;
- в) обумовлена наявністю домішок в діелектрику (неоднорідний діелектрик);
- г) характерна для сегнетоелектриків (матеріали, з доменною структурою, що має електричний момент при відсутності електричного поля. Характерна петля гістерезисну.

16. Тверді речовини в структурі яких немає кристалів називаються...

- а) ізоморфними;
- б) аморфними;
- в) кристалічними.

17. Діелектричними називають матеріали, основною властивістю яких...

- а) є відсутність здатності до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля.
- б) є здатність до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;
- в) є відсутність здатності до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;
- г) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;

18. Провідниковими називають матеріали, основною електричною властивістю яких...

- а) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- б) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ магнітопровідність;
- в) є слабо виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- г) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля.

19. Електроізоляційними матеріалами зветься...

- а) діелектрики, які використовують в технічних пристроях для запобігання витоку електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги (кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та

апаратів від провідникових, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі);

б) матеріали, основною властивістю яких є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;

в) матеріали, основною властивістю яких є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;

г) провідники, які використовують в технічних пристроях для запобігання витoku електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги (кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та апаратів від діелектричних, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі).

20. Дипольний момент молекули μ визначається за формулою:

а) $\mu = l / e$;

б) $\mu = l \cdot e$;

в) $\mu = l^2 \cdot e$;

г) $\mu = l \cdot e^2$.

Варіант 3

1. Квант енергії розраховується за виразом:

а) $\varepsilon = h \cdot \nu$;

б) $\varepsilon = 2 \cdot h \cdot \nu$

в) $\varepsilon = 4 \cdot h \cdot \nu$

г) $\varepsilon = \nu \cdot h \cdot \nu$.

2. Системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями і називаються

а) ферміонами;

б) бозонами;

в) карбонами;

г) формонами.

3. В будь-якому стаціонарному стані, що характеризується сукупністю чотирьох квантових чисел n , l , m , s , не може перебувати більше одного електрона. Це принцип...

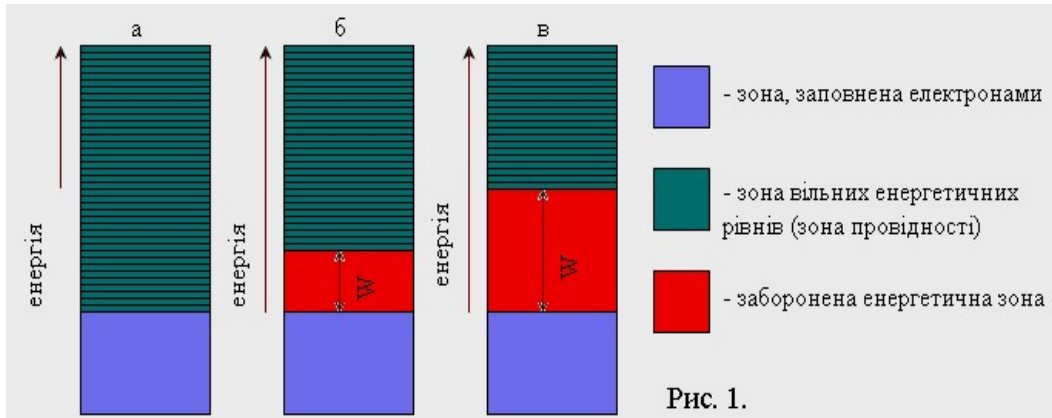
а) Бора;

б) Паулі;

в) Томсона;

г) Резерфорда.

4. Який розподіл рівнів характерний для провідників:



- а) а;
- б) б;
- в) в.
- г) б, в.

5. Якщо в молекулі електричні центри додатніх і від'ємних зарядів збігаються, то молекула називається...

- а) полярною;
- б) іонізаційною;
- в) неполярною або нейтральною.

6. Іонізація газів буває:

- а) ударна;
- б) термічна;
- в) іонна;
- г) іонізації в газах не буває.

7. Діелектричними втратами – називають...

- а) енергію, що розсіюється за одиницю часу в діелектрику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика;
- б) енергію, що розсіюється за одиницю часу в провідника при дії на нього електричного поля і викликає охолодження провідника;
- в) енергію, що накопичується за одиницю часу в провіднику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання провідника;
- г) енергію, що розсіюється за одиницю часу в металі.

8. Деякі речовини, що близькі по своїй хімічній природі, хоч і різні за складом та утворюють кристал однакової форми, характеризуються однаковими константами їх просторових ґраток, називаються...

- а) поліморфними;
- б) ізоморфними (тобто мають однакову форму);
- в) аморфними;
- г) однаковими.

9. Серед твердих речовин зустрічаються такі, в структурі яких немає кристалів (смола, клей та інші речовини). Вони називаються

- а) поліморфними;
- б) ізоморфними (тобто мають однакову форму);
- в) аморфними;
- г) однаковими.

10. Для розрахунку питомого об'ємного опору (Ом·м) користуються формулою:

а) $\rho = \frac{RS}{h^2}$;

б) $\rho = RS$;

в) $\rho = \frac{R^2S}{h}$;

$$\text{г) } \rho = \frac{RS}{h}.$$

11. Заряд конденсатора розраховується за формулою:

- а) $Q = C/U$
- б) $Q = C+U$
- в) $Q = C-U$
- г) $Q = C \cdot U$

12. Яка поляризація обумовлена наявністю домішок в діелектрику або в неоднорідному діелектрику?

- а) Міграційна;
- б) Електронно-релаксаційна поляризація;
- в) Іонно-релаксаційна поляризація;
- г) Дипольно-релаксаційна поляризація.

13. Як називається зв'язок, який здійснюється між протилежно зарядженими іонами і утворюється в результаті електростатичного тяжіння іонів один до одного?

- а) молекулярний;
- б) металевий;
- в) іонний;
- г) ковалентний.

14. Як називаються молекули у яких центри додатніх і від'ємних зарядів співпадають?

- а) полярні;
- б) неполярні;

- в) іони;
- г) коваленти.

15. Втрати енергії в діелектрику спостерігаються...

- а) тільки при змінній напрузі;
- б) тільки при постійній напрузі;
- в) як при змінній так і при постійній напрузі, оскільки в матеріалі утворюється наскрізний струм, обумовлений провідністю.
- г) втрати енергії в діелектрику взагал не виникають.

16. Ковалентний зв'язок – це зв'язок...

- а) між атомами, який досягається за рахунок пар електронів, що стають загальними для кількох електронів;
- б) який здійснюється між протилежно зарядженими іонами і утворюється в результаті електростатичного притягання іонів один до одного;
- в) який приводить до утворення твердих кристалічних тіл;
- г) який існує між молекулами з ковалентними внутрішньо молекулярними зв'язками.

17. Пробій діелектрика – ...

- а) повна втрата ним електроізоляційних властивостей;
- б) часткова втрата ним електроізоляційних властивостей;
- в) набуття втрата ним електроізоляційних властивостей.

18. Головне квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта та її віддаленість від

ядра (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
в) визначає рівень енергії та віддаленість від ядра (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона).

19. l – побічне (орбітальне) квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) характеризує момент кількості руху електронів відносно центру орбіти (орбітальний момент імпульсу (механічний момент)), l приймає значення цілих чисел від 0 до $n-1$;
- в) визначає положення площини орбіти електронів у просторі (квантує проекцію вектора механічного моменту на заданий напрям зовнішнього магнітного поля). Це число має всі значення цілих чисел додатних і від'ємних, але $l \geq 0$ в межах числа l .

20. m – магнітне квантове число - ...

- а) визначає рівень енергії, якому відповідає дана орбіта (квантує енергію електрона в атомі і визначає розміри орбіти електрона);
- б) характеризує момент кількості руху електронів відносно центру орбіти (орбітальний момент імпульсу (механічний момент)), l приймає значення цілих чисел від 0 до $n-1$;
- в) визначає положення площини орбіти електронів у просторі (квантує проекцію вектора механічного моменту на заданий напрям зовнішнього магнітного поля). Це число має всі значення цілих чисел додатних і від'ємних, але $m \in [-l, l]$ в межах числа l .

Варіант 4

1. Бозонами називають - ...

- а) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями;
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) електрони, протони і нейтрони й інші частинки.

2. Ферміонами називають - ...

- а) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями;
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) Фотони ($S = 0$).

3. Довжина диполя - ...

- а) відстань між електричними центрами тяжіння зарядів;
- б) сума електричних зарядів;
- в) відстань між магнітними центрами тяжіння зарядів;
- г) відстань між двома електронами.

4. Питомий електричний опір (ρ) визначається за формулою:

а) $\rho = \frac{R}{l}$

б) $\rho = \frac{S}{l}$,

в) $\rho = RSl$,

г) $\rho = \frac{RS}{l}$,

д) $\rho = \frac{R^2 S}{l}$.

5. Ємність плоского конденсатора визначається за формулою:

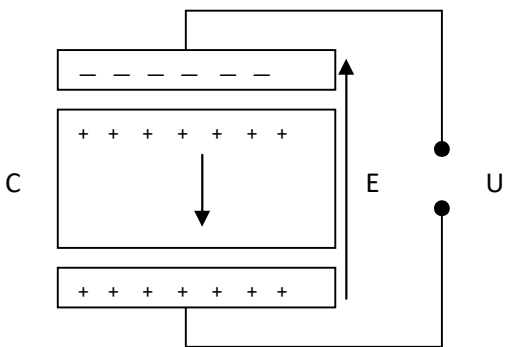
а) $C = \frac{E^2 E_0 S}{d}$;

б) $C = EE_0 Sd$;

в) $C = \frac{E^2 E_0^2 S}{d}$;

г) $C = \frac{EE_0 S}{d}$;

д) $C = \frac{E^2 E_0^2 S^2}{d}$.



Діелектрик в електричному полі

6. Заряд будь-якого конденсатора визначають:

а) $Q = C/U$

де C – ємність конденсатора;
 U – прикладена напруга.

б) $Q = C \cdot U$

де C – ємність конденсатора;
 U – прикладена напруга.

в) $Q = U/C$

де C – ємність конденсатора; U – прикладена напруга.

7. Електронна поляризація - ...

- а) це пружне зміщення електронних оболонок і деформація атомів ($t_E=10^{-15}$ с);
- б) деформація пружно зв'язаних іонів кристалічних структур (наприклад, скло) – ($t_i=10^{-13}$ с);
- в) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів;
- г) обумовлена наявністю електронів і дірок.

8. Полярними називають молекули у яких ...

- а) центри додатніх і від'ємних зарядів співпадають;
- б) центри додатніх і від'ємних зарядів не співпадають (характеризується дипольним моментом).

9. Дипольний момент молекули μ визначається за формулою:

- а) $\mu = l \cdot e$;
- б) $\mu = l / e$;
- в) $\mu = l^2 \cdot e$;
- г) $\mu = l \cdot e^2$.

10. Чи можуть неполярні молекули, під дією зовнішнього електричного поля, стати полярними?

- а) так;
- б) ні.

11. Закон постійності границь кутів формулюються так:

- а) при виділенні твердої речовини із розчину найчастіше отримуються неправильні кристали, їх форма спотворена в результаті неправильного росту в

умовах кристалізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються сталими.

б) при виділені твердої речовини із розчину найчастіше отримуються неправильні кристали, їх форма спотворена в результаті неправильного росту в умовах кристалізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються різними.

в) при виділені твердої речовини із розчину найчастіше отримуються правильні кристали, їх форма спотворена в результаті правильного росту в умовах іонізації, однак як би нерівномірно не відбувалось утворення кристалу і не спотворювалась його форма кути, під якими сходяться грані кристала завжди залишаються різними.

12. Деякі речовини, близькі по своїй хімічній природі, хоч і різні за складом утворюють кристал однакової форми, характеризуються однаковими константами їх просторових ґраток. Такі речовини називаються

- а) поліморфними;
- б) ізоморфними;
- в) аморфними.

13. Ферміонами називають - ...

- а) фотони ($S = 0$);
- б) системи однакових частинок із нульовими, або цілочисловими спінами описуються лише симетричними хвильовими функціями;
- в) системи однакових частинок із напівцілими спінами описуються лише антисиметричними хвильовими функціями.

14. Дипольно-релаксаційна поляризація – ...

- а) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною

упаковкою іонів;

б) обумовлена наявністю електронів і дірок;

в) обумовлена наявністю домішок в діелектрику (неоднорідний діелектрик);

г) характерна для сегнетоелектриків (матеріали, з доменною структурою, що має електричний момент при відсутності електричного поля. Характерна петля гістерезису.

15. Електронно-релаксаційні поляризація – ...

а) характерна для матеріалів з кристалічною структурою з нещільною упаковкою іонів;

б) обумовлена наявністю електронів і дірок;

в) обумовлена наявністю домішок в діелектрику (неоднорідний діелектрик);

г) характерна для сегнетоелектриків (матеріали, з доменною структурою, що має електричний момент при відсутності електричного поля. Характерна петля гістерезису.

16. Тверді речовини в структурі яких немає кристалів називаються...

а) ізоморфними;

б) аморфними;

в) кристалічними.

17. Діелектричними називають матеріали, основною властивістю яких...

а) є відсутність здатності до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля.

б) є здатність до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;

в) є відсутність здатності до поляризації і в яких не можливе існування електростатичного поля;

г) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного

поля;

18. Провідниковими називають матеріали, основною електричною властивістю яких...

- а) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- б) є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ магнітопровідність;
- в) є слабо виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- г) є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля.

19. Електроізоляційними матеріалами зуться...

- а) діелектрики, які використовують в технічних пристроях для запобігання витоку електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги (кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та апаратів від провідникових, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі);
- б) матеріали, основною властивістю яких є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля;
- в) матеріали, основною властивістю яких є сильно виражена порівняно з другими ЕТМ електропровідність;
- г) провідники, які використовують в технічних пристроях для запобігання витоку електричних зарядів, тобто вони повинні розділяти електричні ланцюги (кола) одне від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів та апаратів від діелектричних, але не струмоведучих частин (від корпусу, від землі).

20. Дипольний момент молекули μ визначається за формулою:

- а) $\mu = l / e$;

б) $\mu = l \cdot e$;

в) $\mu = l^2 \cdot e$;

г) $\mu = l \cdot e^2$.

Варіант 5

1. Нагрівостійкість –

а) це здатність електроізоляційних матеріалів без шкоди для них короткочасно чи довгостроково витримувати дію високої напруги.

б) це здатність ізоляції працювати без погіршення експлуатаційної надійності при низьких температурах.

в) це перехід тепла в навколишнє середовище.

г) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріалів під дією випромінювання.

2. Вологопроникливість - ...

а) це здатність електроізоляційних матеріалів без шкоди для них короткочасно чи довгостроково витримувати дію високої напруги.

б) це здатність електроізоляційних матеріалів пропускати крізь себе пари води.

в) це перехід тепла в навколишнє середовище.

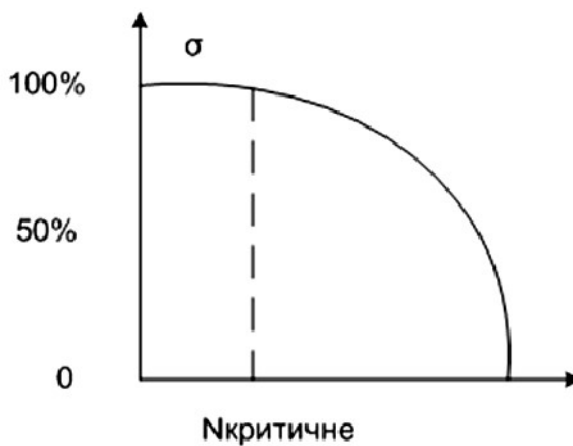
г) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріалів під дією випромінювання.

3. Захисні властивості різних матеріалів зручно характеризувати шаром...

- а) трикратного ослаблення.
- б) десятикратного ослаблення.
- в) стократного ослаблення.
- г) двократного ослаблення.

3. На даному рисунку зображена залежність...

- а) зміни електричних властивостей діелектриків від вологопроникливості.
- б) зміни механічних властивостей діелектриків від вологопроникливості.
- в) зміни електричних властивостей діелектриків від інтенсивності опромінення.
- г) зміни механічних властивостей діелектриків від інтенсивності опромінення.



5. Визначити постійну часу саморозряду конденсатора, ізоляція якого виконана з полістиролу, ϵ – відносна діелектрична проникність матеріалу: ϵ_0 – електрична постійна $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ρ_v – питомий об'ємний опір діелектрика: 10^{15}

Ом·м:

- а) 46020 с.
- б) 230,10 с.
- в) 23010 с.

г) 23049 с.

д) 11505 с.

6. Коефіцієнт запасу ел. міцності розраховується за формулою:

а) $K_3 = U_{\text{пр}} / U_{\text{роб}}$;

б) $K_3 = U_{\text{роб}} / U_{\text{пр}}$;

в) $K_3 = U_{\text{пр}} + U_{\text{роб}}$;

г) $K_3 = U_{\text{макс}} / U_{\text{пр}}$;

д) $K_3 = U_{\text{пр}} / U_{\text{макс}}$.

7. Фактори впливу на напругу пробою при тепловому пробойі:

а) чистота поля.

б) умови охолодження.

в) температура навколишнього середовища.

г) жоден з цих факторів не впливає.

д) кут діелектричних втрат ($\text{tg } \delta$).

8. Феритами називають - ...

а) кристалічні речовини, у яких магнітні моменти атомів орієнтовані в протилежних напрямках з перебільшенням одного з них;

б) аморфні речовини, у яких магнітні моменти атомів орієнтовані в одному напрямку;

в) речовини, у яких магнітні моменти атомів нейтральні;

г) кристалічні і аморфні речовини, у яких магнітні моменти атомів орієнтовані в одному напрямку.

9. Час релаксації..

а) час за який впорядкованість зорієнтованих полем диполів після зняття поля збільшується.

б) час за який впорядкованість зорієнтованих полем диполів після зняття поля збільшується за рахунок наявності електронного руху в $e2,7$ рази від початкового значення.

в) час за який впорядкованість зорієнтованих полем диполів після зняття поля збільшується за рахунок наявності теплового руху в $e2,7$ рази від початкового значення.

г) час за який впорядкованість зорієнтованих полем диполів після зняття поля зменшується за рахунок наявності теплового руху в $e2,7$ рази від початкового значення.

10. Найважливішою динамічною характеристикою феромагнітного матеріалу є повна або амплітудна магнітна проникність, яка визначається таким чином:

а) $\mu=(1/\mu_0)\cdot(B_m/H_m)$,

б) $\mu=(1/\mu_0)+(B_m/H_m)$,

в) а) $\mu=(\mu_0)\cdot(B_m/H_m)$,

г) $\mu=(1/\mu_0)^2\cdot(B_m/H_m)$,

д) $\mu=(1/\mu_0)/(B_m/H_m)$.

11. Іонізаційні втрати – це...

а) втрати, які проявляються в полярних електричних полях при напруженностях, що не перевищують значення, яке відповідає початку поляризації даного газу;

б) втрати, які проявляються в однорідних електричних полях при напруженностях, що не перевищують значення, яке відповідає початку іонізації даного газу;

в) втрати, які проявляються в будь-яких електричних полях при напруженностях, що набагато менше значення, яке відповідає початку іонізації

даного газу;

г) втрати, які проявляються в неоднорідних електричних полях при напруженностях, що перевищують значення, яке відповідає початку іонізації даного газу.

12. Ефективний коефіцієнт ослаблення випромінювання в матеріалі обчислюються за формулою:

а) $\mu = k \cdot \lambda^2 \cdot z^2 \cdot p$;

б) $\mu = k \cdot \lambda^3 / z^3 \cdot p$;

в) $\mu = k \cdot \lambda^2 / z^3 \cdot p$;

г) $\mu = k \cdot \lambda^3 \cdot z^3 \cdot p$.

13. Радіаційна стійкість –...

а) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріала під дією випромінювання;

б) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріала під дією температури;

в) це здатність збереження електричних властивостей матеріала під дією випромінювання;

г) це здатність збереження механічних властивостей матеріала під дією випромінювання.

14. ТКОР матеріалу β дорівнює...

а) утроєному температурному коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) α того ж матеріалу.

б) удвоєному температурному коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) α того ж матеріалу.

в) половині температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) α того ж

матеріалу.

г) третині температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) α того ж матеріалу.

д) температурному коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) α того ж матеріалу.

15. Діелектричні втрати в аморфних речовинах іонної структури (неорганічне скло) пов'язані з ...

а) однорідністю і відсутністю електропровідності.

б) поляризацією і наявністю електропровідності.

в) поляризацією.

г) однорідністю.

16. Найменше значення ТКЛР всіх відомих ЕТМ має...

а) кварцове скло (плавлений кварц);

б) молібден;

в) вольфрам;

г) гетинакс.

17. Тепловий пробій – ...

а) є наслідком збільшення активного опору діелектрика під впливом нагрівання в електричному колі, що призводить до росту активного струму і подальшого збільшення нагрівання діелектрика до його термічного руйнування .

б) є наслідком зменшення активного опору діелектрика під впливом нагрівання в електричному колі, що призводить до росту активного струму і подальшого збільшення нагрівання діелектрика до його термічного руйнування .

в) є наслідком зменшення активного опору діелектрика під впливом нагрівання в електричному колі, що призводить до зменшення активного струму і подальшого зменшення нагрівання діелектрика до його термічного

відновлення.

г) є наслідком збільшення реактивного опору діелектрика під впливом нагрівання в електричному колі, що призводить до росту активного струму і подальшого збільшення нагрівання діелектрика до його термічного відновлення.

18. Кутом діелектричних втрат (δ) - називається...

а) кут, який доповнює до 180° кут зсуву фаз φ між струмом і напругою в ємкісному ланцюзі.

б) кут, який доповнює до 180° кут зсуву фаз φ між струмом і напругою в індуктивному ланцюзі.

в) кут, який доповнює до 90° кут зсуву фаз φ між струмом і напругою в ємкісному ланцюзі.

г) кут, який доповнює до 90° кут зсуву фаз φ між струмом і напругою в індуктивному ланцюзі.

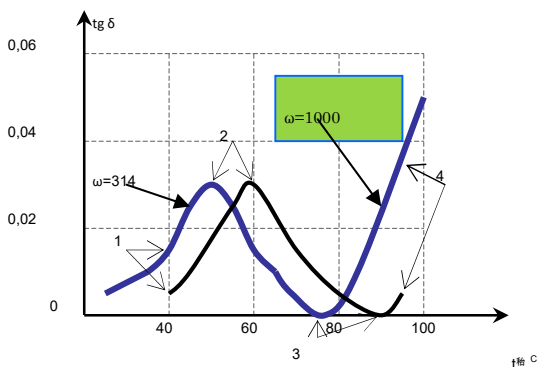
19. Якою цифрою на малюнку позначена ситуація, яка характеризує «подальший ріст $\text{tg } \delta$ з підвищенням t пояснюється ростом електропровідності (за рахунок діелектричних втрат наскрізної електропровідності)»?

а) 1;

б) 2;

в) 3;

г) 4.



20. Матеріали, які легко перемагнічуються та використовуються для роботи в змінних магнітних полях називаються...

- а) магнітотвердими;
- б) магнітом'якими;
- в) парамагнетиками;
- г) діамагнетиками.

Варіант 6

1. Постійна часу саморозряду конденсатора визначається по формулі:

- а) $\tau = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \rho_V$;
- б) $\tau = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 / \rho_V$;
- в) $\tau = \varepsilon_0 \cdot \rho_V$;
- г) $\tau = \varepsilon / \varepsilon_0 \cdot \rho_V$.

2. До класу нагрівостійкості γ відносяться...

- а) волокнисті матеріали, якщо вони працюють в готовій ізоляції просоченій лаками, тобто захищені від безпосереднього контакту з киснем;
- б) волокнисті матеріали на основі целюлози і шовку (тканина, картон), якщо вони не просочені рідким електроізоляційним матеріалом;

- в) пластичні маси з органічним наповнювачем, ізоляція емалевих проводів;
- г) матеріали, для яких характерний великий вміст неорганічних компонентів (азбестові).

3. Діелектричні втрати, обумовлені поляризацією особливо чітко спостерігається у речовинах, що мають...

- а) релаксаційну поляризацію: в діелектриках дипольної структури і в діелектриках іонної структури з нещільним упакуванням іонів;
- б) змінну електропровідність (об'ємну чи поверхневу) та зростають з температурою по експоненціальному закону;
- в) напруженості, які перевищують значення, яке відповідає початку іонізації даного газу.
- г) похідні слюди → міканіти, мікалекси і т.п.

4. Діелектричними втратами – називають...

- а) енергію, що протікає за одиницю часу в провіднику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика.
- б) енергію, що накопичується за одиницю часу в діелектрику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика.
- в) енергію, що розсіюється за одиницю часу в діелектрику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика.
- г) енергію, що формується за одиницю часу в провіднику при дії на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика.

5. Матеріали, стійкі до випромінювання повинні характеризуватись двома властивостями:

- а) здатністю поглинати енергію без надмірної іонізації та здатністю у більшій мірі утворювати подвійні зв'язки, ніж розрив ланцюгів.

- б) здатністю віддавати енергію без надмірної іонізації та здатністю у більшій мірі розривати подвійні зв'язки, ніж утворення ланцюгів.
- в) здатністю віддавати енергію з іонізації та здатністю у більшій мірі розривати подвійні зв'язки, ніж утворення ланцюгів.
- г) здатністю віддавати енергію без надмірної іонізації та здатністю у меншій мірі розривати подвійні зв'язки, ніж утворення ланцюгів.

6. Біологічний еквівалент рентгена – ...

- а) доза того чи іншого іонізуючого випромінювання, яка створює в організації такий же тепловий ефект, як і доза р для рентгенівських випромінювань.
- б) доза того чи іншого іонізуючого випромінювання, яка створює в організації такий же біологічний ефект, як і доза р для рентгенівських і гамма випромінювань.
- в) доза того чи іншого іонізуючого випромінювання, яка створює в організації такий же іонізуючий ефект.
- г) доза того чи іншого іонізуючого випромінювання, яка створює в організації такий же фізичний ефект, як і доза р для гамма випромінювань.

7. Енергія випромінювання, попадаючи на поверхню матеріалу, зменшується із проникненням в глибину за законом:

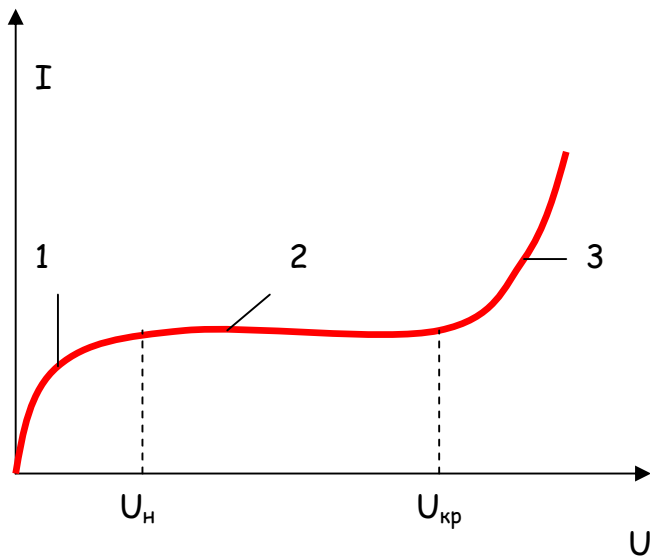
- а) $P_x = P_0 \exp(-\mu/x)$;
- б) $P_x = P_0 \exp(-\mu)$;
- в) $P_x = P_0 \exp(x)$;
- г) $P_x = P_0 \exp(-\mu x)$.

8. Поява самостійної електропровідності при виникненні ударної іонізації (не виконується закон Ома), характеризується ділянкою

- а) 1;
- б) 2;

в) 3;

г) 1 і 2.



9. Холодостійкість – це ...

а) це здатність електроізоляційних матеріалів без шкоди для них короткочасно чи довгостроково витримувати дію високої напруги.

б) це здатність ізоляції працювати без погіршення експлуатаційної надійності при низьких температурах.

в) це перехід тепла в навколишнє середовище.

г) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріалів під дією випромінювання.

10. До феромагнетиків належить група речовин, через особливості в побудові їх кристалічної решітки, некомпенсований момент атомів у деякому об'ємі речовини орієнтований в одному напрямку. Ці об'єми спонтанної намагніченості називають...

а) доменами;

б) диполями;

в) молекулами;

г) іонами.

11. Механічна міцність матеріалів залежить :

- а) від напрямку прикладання навантаження;
- б) площі поперечного перерізу деталі матеріалу;
- в) від температури;
- г) тривалості дії навантаження;
- д) від жодного з перелічених варіантів не залежить.

12. Для характеристики магнітних матеріалів використовується поняття тангенса кута магнітних втрат, який визначається за формулою:

- а) $\operatorname{tg}\delta_m = U_R + U_L$;
- б) $\operatorname{tg}\delta_m = U_R - U_L$;
- в) $\operatorname{tg}\delta_m = U_R / U_L$;
- г) $\operatorname{tg}\delta_m = U_L / U_R$;
- д) $\operatorname{tg}\delta_m = U_C / U_L$.

13. Твердість – ...

- а) це здатність це здатність електроізоляційних матеріалів пропускати крізь себе пари води;
- б) це здатність електроізоляційних матеріалів, без шкоди для них, короткочасно чи довгостроково витримувати дію високої напруги;
- в) це здатність збереження електричних і механічних властивостей матеріала під дією випромінювання;
- г) це здатність поверхневого шару матеріалу протистояти деформації від стискаючого зусилля предмета.

14. Визначити постійну часу саморозряду конденсатора, ізоляція якого виконана з поліпропілену, $\varepsilon = 2,1$ відносна діелектрична проникність матеріалу:

ϵ_0 – електрична постійна $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ρ_V – питомий об'ємний опір діелектрика:

10^{15} Ом·м:

- а) 17325 с.
- б) 173,25 с.
- в) свій варіант с.
- г) 34500 с.
- д) 344409 с.

15. Матеріали, які мають великий добуток ВН, мають велику коерцитивну силу називаються ...

- а) магнітотвердими;
- б) магнітом'якими;
- в) парамагнетиками;
- г) діамагнетиками.

16. Резонансні втрати обумовлені...

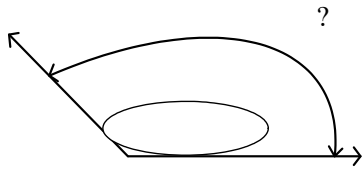
- а) дипольно-релаксаційною поляризацією, що залежать від температури.
- б) дипольною поляризацією, що залежать від температури.
- в) поляризацією, яка проявляється в деяких рідинах при визначеній частоті і виражається в інтенсивному поглинанні енергії електричного поля.
- г) поляризацією, яка проявляється в деяких газах при строго визначеній частоті і виражається в інтенсивному поглинанні енергії електричного поля.

17. Який вид діелектричних втрат характеризується наступною властивістю «мало змінюються з температурою в області спонтанної поляризації і різко падають при t° точки Кюрі, коли певні властивості діелектрика втрачаються»?

- а) діелектричні втрати в діелектриках молекулярної структури ;
- б) діелектричні втрати твердих речовин неоднорідної структури;

- в) діелектричні втрати в сегнетоелектрика;
- г) діелектричні втрати твердих речовин іонної структури.

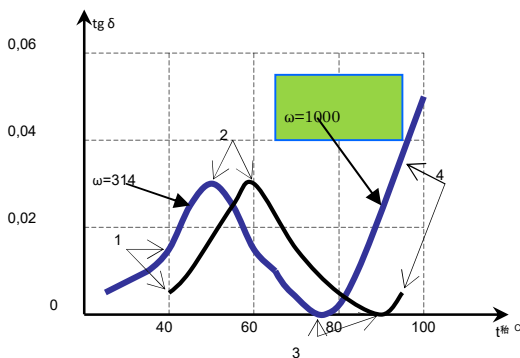
18. Це вигляд краплини на якій поверхні?



- а) змочуваний;
- б) не змочуваний;
- в) не достатньо даних для відповіді.

19. Якою цифрою на малюнку позначена ситуація, яка характеризує «в'язкість речовини велика, молекули не встигають зорієнтуватися при змінні поля і дипольно-релаксаційна поляризація зникає - $\text{tg } \delta$ »?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



20. З якою метою в склад органічної ізоляції вводять фунгіциди?

- а) збільшенням радіостійкості.

- б) збільшенням нагрівостійкості.
- в) збільшенням цвілестійкості.
- г) збільшенням опору.

Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Тема 1. Вступ. Основні терміни і визначення дисципліни. Історичний розвиток ЕТМ. Класифікація електротехнічних матеріалів. Вплив зовнішнього середовища на ЕТМ. Параметри ЕТМ.	5

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
2.	Тема 2. Будова речовини. Теорія Бора. Поняття про квантову механіку. Чотири квантових числа. Принцип Паулі. Види зв'язку. Ковалентний зв'язок . Полярні та неполярні молекули. Явище поляризації. Іонний зв'язок. Металевий зв'язок. Молекулярний зв'язок. Будова твердої речовини.	5
3.	Тема 3. Поляризація діелектриків. Діелектрик в електричному полі. Електрична провідність і опір. Поляризація діелектриків і діелектрична проникність. Класифікація діелектриків за видом поляризації. Діелектрична проникність газів. Діелектрична проникність рідких діелектриків. Діелектрична проникність твердих діелектриків.	10
4.	Тема 4. Електропровідність діелектриків. Основні поняття про електропровідність діелектриків. Електропровідність газів. Електропровідність рідин. Електропровідність твердих тіл. Поверхнева електропровідність твердих діелектриків.	10
5.	Тема 5. Діелектричні втрати. Основні поняття діелектричних втрат. Визначення активної потужності діелектричних втрат. Види діелектричних втрат в електроізоляційних матеріалах. Діелектричні втрати в газах. Діелектричні втрати в рідких діелектриках. Діелектричні втрати в твердих діелектриках.	8
6.	Тема 6. Пробій діелектрика. Загальна характеристика явища пробією. Вольт-амперна характеристика ізоляції. Електрична міцність діелектрика. Пробій газів. Пробій рідких діелектриків. Пробій твердих діелектриків (макроскопічне однорідних	8

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	діелектриків; неоднорідних діелектриків). Тепловий пробій твердих діелектриків. Електрохімічний пробій твердих діелектриків.	
7.	Тема 7. Фізико-хімічні і механічні властивості діелектриків. Властивості діелектриків, пов'язані з вологістю. Механічні властивості діелектриків. Теплові властивості діелектриків. Хімічні властивості діелектриків. Дія на матеріали випромінювання високої енергії.	8
8.	Тема 8. Нелінійні діелектрики. Характеристики нелінійних діелектриків. Види нелінійних діелектриків. Сегнетоелектрики . П'єзоелектрики. Піроелектрики. Електрети (термоелектрети, фото електрети, електро електрети, магнето електрети, псевдоелектрети).	8
9.	Тема 9. Провідникові матеріали. Класифікація провідників. Електропровідність металів. Властивості провідників. Питома провідність і питомий опір провідників. Температурний коефіцієнт питомого опору. Теплопровідність металів. Термоелектрорушійна сила. Температурний коефіцієнт лінійного розширення провідників. Механічні властивості провідників. Матеріали високої провідності (мідь, алюміній, залізо, біметал, натрій). Надпровідники. Кріопровідники. Метали- провідники. Сплави-провідники. Припої. Неметалеві провідники.	8
10.	Тема 10. Напівпровідникові матеріали . Основні	10

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	<p>характеристики напівпровідників і їх класифікація. Електропровідність напівпровідників. Власні напівпровідники. Домішкові напівпровідники (донори і акцептори; домішки заміщення). Вплив зовнішніх факторів (теплової енергії, деформації, світлі, сильних електричних полів) на електропровідність напівпровідників. Елементи з властивостями напівпровідників. Напівпровідникові хімічні з'єднання.</p>	
	<p>Тема 11. Магнітні матеріали. Загальні відомості про них. Їх класифікація. Основні характеристики. Магніто-м'які матеріали. Петля гістерезису. Магнітна проникність. Магнітні втрати. Магнітострикція. Магнітні матеріали спеціалізованого призначення. Магніто-тверді матеріали.</p>	10
<i>Разом годин за семестр</i>		<i>90</i>

Література

1. Корицкий Ю.В. Электротехнические материалы. – Изд. 3-е перераб. – М.: Энергия, 1976.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1977.
3. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов А.С. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. - Киев: Наукова думка, 1987.
4. Корицкий Ю.В. Справочник по электротехническим материалам. В 3-х т. – Л.: Энергия, 1986-1988.
5. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. И.П.Жеребцов. Основы электроники. Л-д, Энергоатомиздат. – ЛО. – 1990 г.
7. Рубаненко О.О.: Електротехнічні матеріали. Методичні рекомендації з організації самостійної роботи для студентів галузі знань 14 «Електрична інженерія», спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка», першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (денної та заочної форми навчання) – Вінниця, видавничий центр ВНАУ: 2017 р. - 47 с.
8. Бовсуновський А.П. *Електротехнічні матеріали*: Корот. довідник – К.: НУХТ, 2012. – 36 с.
9. Бовсуновський А.П. Електротехнічні системи електроспоживання: Конспект лекції з дисципліни «Електротехнічні матеріали» для студ. усіх спец. ден. і заоч. форм навч. – К. НУХТ, 2007. – 103 с.
10. Електротехнічні матеріали. Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання контрольної роботи для студентів спеціальності 6.090.600 «Електротехнічні системи електроспоживання» напряму 0906 «Електротехніка» денної та заочної форм навчання.- К.: УДУХТ, 2001 (№5852).

Рубаненко О.О., Явдик В.В.

«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ»

Навчально-методичний посібник для
проведення лабораторних робіт та організації самостійної роботи
студентів з навчальної дисципліни «Електротехнічні матеріали»
за спеціальністю

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Видання здійснюється в авторській редакції

Підписано до друку

Наклад 100 прим. Зам. №