

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

методичні рекомендації для виконання практичних робіт здобувачами за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв
2024

УДК 621.3.035

E50

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 11.11.2024, протокол № 3.

Укладачі:

Віталій Мардзявко – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Олексій Садовий – канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Андрій Ставинський – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ХІД ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	5
2. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	7
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Провідникові матеріали. Види провідників.....	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. Аналіз властивостей провідників в залежності від ступеня провідності.....	12
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. Загальні відомості про напівпровідники.....	15
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. Поляризація діелектриків та діелектрична проникність.....	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Електропровідність діелектриків.....	21
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. Діелектричні втрати в діелектриках.....	24
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. Пробій діелектриків.....	27
ПРАКТИЧНА РОБОТА №8. Фізико-механічні та хімічні властивості електротехнічних матеріалів.....	30
ПРАКТИЧНА РОБОТА №9. Використання діелектриків в конденсаторах.....	34
ПРАКТИЧНА РОБОТА №10. Магнітні властивості матеріалів.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТКИ.....	43

ВСТУП

Практичні роботи, запропоновані в цих методичних рекомендаціях, спрямовані на формування теоретичних знань та практичних навичок у вивченні електротехнічних матеріалів, їх фізико-хімічних властивостей, електричних, магнітних і діелектричних характеристик. Ці знання є основою для розуміння роботи електротехнічних пристроїв та систем, їх ефективного проектування та експлуатації.

Курс охоплює широкий спектр тем, починаючи з аналізу провідникових матеріалів і закінчуючи вивченням магнітних властивостей матеріалів. Кожна тема розглядає важливі аспекти властивостей матеріалів, їх практичне застосування та вплив різних чинників на ефективність роботи електротехнічних елементів.

Методичні рекомендації допоможуть студентам:

- закріпити знання з теми кожної практичної роботи;
- навчитися проводити аналіз властивостей матеріалів;
- освоїти сучасні методи експериментального дослідження;
- отримати навички вибору матеріалів залежно від їхніх властивостей і умов експлуатації.

Практичні роботи побудовані таким чином, щоб забезпечити поетапне вивчення різних аспектів електротехнічних матеріалів: від провідників та напівпровідників до діелектриків і магнітних матеріалів. Особлива увага приділяється таким важливим явищам, як поляризація, електропровідність, діелектричні втрати, пробій і магнітна проникність.

Ці методичні рекомендації допоможуть студентам сформувати системний підхід до розуміння властивостей матеріалів і навчитися застосовувати їх на практиці у сфері електротехніки.

1. ХІД ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАВДАННЯ

1. Ознайомлення з теоретичним матеріалом.

Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основними поняттями, що вивчаються на відповідній лекції, а також з літературою та матеріалами, які є доступними в межах курсу. Рекомендується перечитати підручники, статті та ресурси, що стосуються теми завдання. Вивчити основні властивості цих матеріалів та їх застосування. Переглянути діаграми, таблиці та схеми, що ілюструють відповідні процеси та параметрів.

2. Ознайомитися зі змістом завдання. Першим етапом виконання завдання є ознайомлення з змістом завдання, підібрати потрібну літературу, визначити усі параметри виконання завдання.

3. Виконання теоретичного завдання. Студент самостійно виконує пошук і аналіз, та дає повні відповіді, на відповідні з темою, питання та при необхідності отримує допомогу викладача.

При виконанні завдання, студент самостійно повинен виконати пошук і аналіз наукової інформації, що стосується теми завдання. Якщо дозволяє час, шукайте наукові статті або технічні звіти, в яких розглядаються новітні магнітні матеріали, особливо для використання в енергетичних технологіях або високоточній електроніці. Використовуйте наукові бази даних (Google Scholar, Scopus, IEEE Xplore) для пошуку актуальних досліджень.

4. Завдання на творчість. У частині творчих завдань важливо не лише вивчити поточні тенденції, але й спробувати оцінити потенціал нових технологій. Рекомендується звернути увагу на новітні розробки.

5. Додаткові питання для глибшого розуміння. На основі виконаного завдання підготуйте відповіді на контрольні питання. Це допоможе закріпити отримані знання та ефективно підготуватися до екзамену або тестування.

6. Написання звіту. Після того, як зібрано всю необхідну інформацію, підготуйте короткий звіт. У ньому потрібно відобразити ключові етапи виконання завдання, результати аналізу.

Звіт має бути структурованим: титульний лист, основна частина (теоретичне завдання, завдання на творчість, додаткові питання), висновки. Звіт по роботі, який вміщує всі фактичні дані (схеми, таблиці, графіки) та аналіз результатів дослідження. Звід оформлюється відповідно до вимог.

2. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з дисципліни «Електротехнічні матеріали» для підготовки до практичних занять здобувачами за першим(бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Практична робота пишеться кожним студентом власноруч (одним коляром пасти) та починається з номеру практичної роботи та її найменування. Листи заповнюються лише з однієї сторони.

2. Робота оформлюється на листах А4: полем ліворуч – 2,5 см; полем праворуч – 1 см; полем внизу/верху – 2 см.

3. Кожна сторінка повинна бути пронумерована та підписана відповідним шифром (див. додаток 1.)

3. Звіт з практичної роботи повинен мати: титульний лист, теоретичну частину, практичну та творчу частину, розрахункову частину, відповіді на контрольні питання, висновки.

4. Титульний аркуш є першою сторінкою практичної роботи і містить основні дані про звіт роботи та її автора. Титульний аркуш заповнюється за строго визначеною формою (див. додаток 2) та повинна містити:

- найменування вищого навчального закладу, факультету та кафедри;
- назву практичної роботи;
- допуски до виконання та захисту;
- відведену графу для оцінки студента;
- прізвище, ім'я автора;
- шифр групи в якій навчається автор;
- науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я викладача;
- рік виконання.

Слід пам'ятати, що титульний лист не підлягає нумерації, однак включається до загальної нумерації сторінок практичної роботи.

5. Основна частина практичної роботи повинна виконуватися з урахуванням загальних вимоги до оформлення звіту та оформлюватися у рамці з відповідним шифром (див. додаток 1).

6. Захист практичної роботи відбувається у наступні послідовності:

1) оформлення звіту практичної роботи (титульний лист та теоретична частина), після чого студент отримує допуск до виконання роботи;

2) виконання або розрахунок завдання практичної роботи, після перевірки якої студент готується та відповідає письмово на контрольні питання. Отримується можливість до захисту практичної роботи;

3) захист практичної роботи відбувається усно, за питаннями по темі практичної роботи та відповідного лекційного матеріалу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: Провідникові матеріали. Види провідників.

Мета роботи: закріпити теоретичні знання про види провідників, фізичні процеси в них та їх класифікацію, а також сформувати навички аналізу властивостей провідникових матеріалів для їх практичного застосування.

1. Теоретичне завдання

1.1. Перелічіть основні види провідників (метали, напівпровідники, електроліти, гази, плазма) та наведіть приклади кожного типу.

1.2. Опишіть, які фізичні процеси відбуваються в провідниках під час проходження електричного струму (наприклад, рух електронів у металах, йонів у рідинах).

1.3. Коротко опишіть класифікацію провідникових матеріалів за такими критеріями:

- Хімічний склад (чисті метали, сплави, композиційні матеріали);
- Електричні властивості (питомий опір, провідність);
- Температурні характеристики (залежність провідності від температури).

2. Практичне завдання

2.1. Складіть таблицю, у якій порівняйте різні види провідників за такими параметрами:

- Тип провідності (електронна, йонна тощо);
- Основний матеріал або речовина;
- Галузь застосування.

*Приклади заповнення таблиці:

Метали: Мідь, електронна провідність, використання в електромережах.

Напівпровідники: Кремній, електронно-діркова провідність, у виробництві мікросхем.

2.2. На основі отриманих знань розв'яжіть задачу:

Задача: У провіднику з міді завдовжки 1 м і поперечним перерізом 1 мм² протікає струм 10 А. Визначте:

а) опір провідника;

б) потужність, яка виділяється у вигляді тепла, якщо провідник підключений до джерела напруги 5 В.

Дано:

Питомий опір міді: $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Формули:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

$$P = I^2 R,$$

2.3. Оберіть чотири провідникові матеріали (наприклад, алюміній та ніхром). Складіть порівняльну характеристику їх властивостей у вигляді таблиці:

- Питомий опір;
- Теплопровідність;
- Температурний коефіцієнт опору;
- Застосування.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Розробіть презентацію або постер, у якому зобразить класифікацію провідників, зазначивши основні властивості кожного класу.

3.2. Дослідіть сучасні тенденції у використанні провідникових матеріалів (наприклад, провідники зі сплавів або наноматеріали).

3.3 Як зміна складу сплаву може вплинути на його провідність та механічні властивості? Наведіть приклади сплавів, що використовуються в електричних проводах.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке провідниковий матеріал і які його основні властивості?
2. Які основні типи провідників використовуються в електротехніці?
3. Наведіть приклади металевих і неметалевих провідників.
4. Які фактори впливають на електропровідність провідників?
5. Чому мідь і алюміній є найпоширенішими провідниками?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: Аналіз властивостей провідників в залежності від ступеня провідності.

Мета роботи: закріпити теоретичні знання про властивості провідникових матеріалів залежно від їх ступеня провідності, вивчити відмінності між матеріалами високої та посередньої провідності, а також метали і сплави з високим опором.

1. Теоретичне завдання

1.1. Перелічіть приклади матеріалів високої провідності (мідь, срібло, золото) та посередньої провідності (алюміній, латунь).

1.2. Опишіть ключові фактори, що впливають на ступінь провідності матеріалу (питомий опір, кристалічна структура, домішки, температура).

1.3. Наведіть приклади металів і сплавів із високим опором (ніхром, константан, манганін). Опишіть, як такі матеріали використовуються у нагрівальних елементах, резисторах, датчиках температури.

2. Практичне завдання

2.1. Порівняйте мідь і алюміній за такими параметрами:

- питомий опір;
- щільність;
- теплопровідність;
- галузь використання.

Результати подайте у вигляді таблиці.

2.2. Розрахуйте, яка частина тепла виділиться у провіднику з міді порівняно з алюмінієвим провідником тієї ж довжини і перерізу за однакової сили струму $I = 15 \text{ A}$.

Дано: $\rho_{\text{мідь}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$, $\rho_{\text{алюм}} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$

2.3. Нагрівальний елемент виготовлений із ніхромовою довжиною 5 мі поперечним перерізом $0,5 \text{ мм}^2$. Визначте опір елемента.

Дано: $\rho_{\text{ніхром}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$

Формула:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

2.2. Обґрунтуйте, чому ніхром є більш ефективним матеріалом для нагрівальних елементів порівняно зі звичайними металами, враховуючи його стійкість до окислення та високий опір.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Підготуйте інфографіку або презентацію, у якій порівняйте основні властивості матеріалів із високою та посередньою провідністю, а також сплавів із високим опором. Включіть реальні приклади їх застосування у техніці та промисловості.

3.2. Проведіть дослідження про сучасні наноматеріали з високою провідністю або опором. Опишіть їхні переваги та перспективи використання.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Як вимірюється ступінь провідності матеріалів?
2. Що таке питомий опір і як він впливає на властивості провідників?
3. Чим відрізняються ідеальні провідники від реальних?
4. Який вплив має температура на провідність металів?
5. Наведіть приклади використання провідників з різними ступенями провідності.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: Загальні відомості про напівпровідники.

Мета роботи: закріпити знання про основні властивості напівпровідників, вивчити принципи електропровідності, вплив зовнішніх факторів, а також зрозуміти фізику електронно-діркового переходу.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення напівпровідника. Наведіть приклади матеріалів (кремній, германій, арсенід галію). Опишіть основні відмінності між провідниками, напівпровідниками та діелектриками.

1.2. Опишіть механізми електропровідності в напівпровідниках (власна і домішкова провідність). Поясніть вплив домішок на провідність (донорні та акцепторні домішки).

1.3. Опишіть вплив температури, світла та електричного поля на провідність напівпровідників. Поясніть, що таке фотопровідність і термопровідність.

1.4. Опишіть, що таке p-n перехід. Наведіть його основні характеристики.

1.5. Поясніть процес рекомбінації електронів і дірок у зоні переходу.

2. Практичне завдання

2.1. Складіть таблицю порівняння властивостей кремнію та германію за такими параметрами:

- Ширина забороненої зони;
- Температурний коефіцієнт провідності;
- Галузі застосування.

Поясніть, чому кремній частіше використовується у сучасній електроніці.

2.2. У напівпровіднику концентрація електронів

$n_e = 1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, а концентрація дірок $n_h = 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Визначте тип напівпровідника та поясніть, які домішки до нього введені.

2.3. У зразку напівпровідника було збільшено концентрацію донорних домішок. Опишіть, як це вплине на його провідність і температуру активації.

2.4. Проведіть дослідження (або змодельуйте ситуацію):

1) Як зміниться провідність напівпровідника кремнію при нагріванні з 20°C до 100°C .

2) Опишіть вплив опромінення світлом на фотодіод.

3) Побудуйте графік залежності провідності від температури або інтенсивності світла.

2.5. Зобразіть схематично р-п перехід і позначте області: р-зону, n-зону, зону виснаження.

2.6. На основі характеристик напівпровідникового діода визначте його основні параметри (напруга пробою, пряме та зворотне зміщення).

Дані:

- пряма напруга: $U_f = 0,7 \text{ В}$;
- зворотна напруга: $U_r = 10 \text{ В}$;
- струм при прямій напрузі: $I_f = 20 \text{ мА}$.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Розробіть презентацію, у якій схематично покажіть процеси, що відбуваються в р-п переході під прямою та зворотною напругою. Додайте графік вольт-амперної характеристики.

3.2. Дослідіть використання р-п переходів у сонячних батареях. Опишіть принцип роботи та переваги таких систем.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке напівпровідники і чим вони відрізняються від провідників?
2. Які основні типи напівпровідників існують?
3. Як змінюється провідність напівпровідників при зміні температури?
4. Які домішки додають до напівпровідників для створення р- і n-типів провідності?
5. Де використовуються напівпровідникові матеріали?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Тема: Поляризація діелектриків та діелектрична проникність.

Мета роботи: закріпити знання про явище поляризації в діелектриках, ознайомитися з основними видами поляризації, класифікацією діелектриків і впливом поляризації на діелектричну проникність матеріалів.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення поляризації діелектрика.

1.2. Опишіть фізичний процес, який відбувається в матеріалі під впливом зовнішнього електричного поля.

1.3. Опишіть основні види поляризації діелектриків:

- Електронна;
- Йонна;
- Орієнтаційна (дипольна);
- Комплексна.

Наведіть приклади матеріалів, у яких домінує кожен із цих видів поляризації.

1.4. Розгляньте класифікацію діелектриків залежно від домінуючого виду поляризації. Опишіть характеристики діелектриків з переважною електронною, йонною та орієнтаційною поляризацією.

1.5. Опишіть поняття діелектричної проникності (ϵ) та її фізичне значення. Розгляньте фактори, що впливають на діелектричну проникність:

- Тип матеріалу (газ, рідина, тверде тіло);
- Температура;
- Частота зовнішнього електричного поля.

2. Практичне завдання

2.1. Наведіть приклад досліду, який демонструє поляризацію діелектрика (наприклад, вплив електричного поля на рідкий діелектрик).

2.2. Побудуйте графік залежності величини поляризації P від напруженості електричного поля E .

2.3. Складіть таблицю, у якій вкажіть вид поляризації, механізм її виникнення та галузь застосування матеріалів із цим видом поляризації. Проаналізуйте, як залежить час встановлення рівноважного стану поляризації від виду поляризації.

2.4. Оберіть три матеріали (наприклад, кварц, вода, кераміка) та визначте, який вид поляризації у них переважає. Поясніть, чому. Наведіть приклади використання цих матеріалів у техніці чи промисловості.

2.5. Розрахуйте величину діелектричної проникності газу, якщо відомо, що у зовнішньому полі з напруженістю $E = 1000 \text{ В/м}$ величина поляризації $P = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$.

Формула:

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 \cdot E},$$

де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

2.6. Проведіть порівняльний аналіз діелектричної проникності води, кварцу та поліетилену. Побудуйте графік залежності ε_r від частоти зовнішнього поля.

2.7. Опишіть, як зміниться діелектрична проникність газу при підвищенні температури та чому.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Розробіть схематичну презентацію, яка відображає механізм поляризації діелектриків різних типів (електронної, йонної, орієнтаційної). Включіть графіки залежності поляризації від напруженості електричного поля та температури.

3.2. Дослідіть застосування діелектричних матеріалів у сучасній електроніці (наприклад, у конденсаторах, ізоляторах, сенсорах). Підготуйте звіт про перспективи використання інноваційних діелектриків.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке поляризація діелектриків?
2. Як визначається діелектрична проникність матеріалів?
3. Які види поляризації діелектриків існують?
4. Як частота електричного поля впливає на поляризацію діелектриків?
5. У яких галузях використовуються діелектрики з високою діелектричною проникністю?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема: Електропровідність діелектриків.

Мета роботи: розвинути розуміння механізмів електропровідності в діелектриках різних агрегатних станів (гази, рідини, тверді тіла), вивчити їх основні характеристики та чинники, що впливають на електропровідність.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення електропровідності діелектриків. Поясніть, чому діелектрики мають низьку електропровідність у порівнянні з провідниками. Опишіть механізми виникнення провідності у діелектриках (власна і домішкова провідність).

1.2. Опишіть механізм електропровідності газів. Поясніть, як іонізація газу впливає на його провідність. Наведіть приклади природних явищ, пов'язаних із провідністю газів (грозові розряди, коронний розряд).

1.3. Поясніть основний механізм провідності рідин (іонна провідність).

1.4. Охарактеризуйте вплив домішок та температури на провідність рідин.

1.5. Наведіть приклади рідин з високою провідністю (електроліти) та низькою провідністю (діелектричні рідини).

1.6. Опишіть процеси, що зумовлюють електропровідність у твердих діелектриках (власна, домішкова та поверхнева провідність).

1.7. Поясніть, як структура матеріалу впливає на його провідність. Поясніть поняття поверхневої провідності. Охарактеризуйте фактори, що впливають на поверхневу провідність (вологість, забруднення, механічні пошкодження).

2. Практичне завдання

2.1. Розрахуйте струм, що протікає через діелектричну пластину з параметрами:

Товщина $d = 1$ мм;

Площа $S = 10$ см²;

Електрична провідність $\sigma = 10^{-12}$ См/м;

Напруга $U = 100$ В.

Формула:

$$I = \sigma \cdot E \cdot S,$$

де $E = \frac{U}{d}.$

2.2. Розрахуйте, як зміниться провідність газу при збільшенні температури вдвічі, якщо середня кількість іонів зростає в 3 рази.

2.4. Побудуйте графік залежності провідності газу від напруженості електричного поля.

2.5. Визначте зміну провідності твердого діелектрика при підвищенні температури з 20°C до 100°C, якщо початкова провідність $\sigma_0 = 10^{-12}$ См/м, а температурний коефіцієнт $\alpha = 0,02$ К⁻¹.

Формула:

$$\sigma = \sigma_0 e^{\alpha(T-T_0)},$$

2.6. Оцініть, як вплине додавання домішок на провідність кераміки, використовуючи концепцію акцепторних і донорних домішок.

2.7. Проведіть експериментальне моделювання (або розрахунок) впливу вологості на поверхневу провідність діелектрика.

2.8. Побудуйте графік залежності поверхневої провідності від вологості середовища.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Створіть презентацію, що демонструє механізми провідності у діелектриках (гази, рідини, тверді тіла). Включіть приклади використання діелектричних матеріалів у техніці.

3.2. Дослідіть проблему пробою діелектриків у реальних умовах (наприклад, в електроізоляції кабелів). Запропонуйте методи зменшення ризиків пробою.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке електропровідність діелектриків?
2. Як впливає структура діелектриків на їхню провідність?
3. Які фактори спричиняють підвищення провідності діелектриків?
4. Чим відрізняється електропровідність діелектриків від провідників і напівпровідників?
5. Де використовуються діелектрики з низькою електропровідністю?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

Тема: Діелектричні втрати в діелектриках.

Мета роботи: вивчити природу діелектричних втрат у різних матеріалах, розглянути їхні види та залежність від фізичних параметрів, а також оцінити вплив втрат на експлуатаційні характеристики діелектриків.

1. Теоретичне завдання

1.1. Поясніть поняття діелектричних втрат. Опишіть фізичні механізми, що призводять до втрат енергії в діелектриках (поляризаційні процеси, провідність).

1.2. Визначте коефіцієнт втрат ($\tan \delta$) і поясніть його значення.

1.3. Наведіть класифікацію видів діелектричних втрат:

- Втрати через провідність;
- Втрати через поляризацію;
- Втрати через релаксаційні процеси;
- Втрати через йонізацію.

Опишіть чинники, які впливають на кожен вид втрат (частота, температура, структура матеріалу).

1.4. Поясніть, чому діелектричні втрати в газах зазвичай малі. Опишіть механізми виникнення втрат у газах при підвищенні частоти та напруженості поля. Наведіть приклади газів, які використовуються як ізоляційні матеріали.

1.5. Опишіть основні причини діелектричних втрат у рідких діелектриках (поляризація молекул, домішки, йонізація).

1.6. Поясніть, як впливає вологість на втрати в рідких діелектриках.

1.7. Поясніть, як структура твердих діелектриків (аморфна чи кристалічна) впливає на діелектричні втрати. Наведіть приклади матеріалів з низькими втратами та матеріалів із підвищеними втратами.

2. Практичне завдання

2.1. Розрахуйте значення діелектричних втрат для матеріалу, якщо:

-Коефіцієнт втрат $\tan \delta = 0,02$;

-Частота сигналу $f = 50 \text{ Гц}$;

-Ємність $C = 10 \text{ мФ}$;

-Напруга $U = 220 \text{ В}$.

Формула для потужності втрат:

$$P = \omega C U^2 \tan \delta,$$

де $\omega = 2\pi f$.

2.2. Складіть таблицю, що порівнює види діелектричних втрат за основними характеристиками (механізм, матеріали, частотний діапазон).

2.3. Проаналізуйте, як зміна частоти зовнішнього поля впливає на поляризаційні втрати в рідкому діелектрику.

2.4. Побудуйте графік залежності коефіцієнта втрат $\tan \delta$ у газах від напруженості поля при різних температурах.

2.5. Проведіть розрахунок потужності втрат у газі з ємністю $C = 5 \text{ пФ}$, якщо $\tan \delta = 0,001$, частота $f = 1 \text{ МГц}$, а напруга $U = 103 \text{ В}$.

2.6. Виконайте експериментальну оцінку втрат у рідкому діелектрику з різним вмістом домішок (змодельуйте ситуацію або розгляньте уявні дані).

2.7. Побудуйте графік залежності потужності втрат від температури для рідкого діелектрика.

2.8. Виконайте розрахунок потужності втрат для твердого діелектрика, якщо: $\tan \delta = 0,005$; $f = 10 \text{ кГц}$; $C = 50 \text{ нФ}$; $U = 100 \text{ В}$.

2.9. Побудуйте графік залежності коефіцієнта втрат $\tan \delta$ від частоти для керамічного ізолятора.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Підготуйте презентацію про види діелектричних втрат у реальних матеріалах. Розгляньте їхні приклади використання у високовольтній техніці.

3.2. Розробіть рекомендації щодо зниження діелектричних втрат у твердих, рідких і газоподібних діелектриках (наприклад, через контроль домішок, зміну температурного режиму, підбір матеріалів).

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке діелектричні втрати?
2. Як вони пов'язані з електричним полем і частотою?
3. Які фактори впливають на рівень діелектричних втрат?
4. Як діелектричні втрати впливають на роботу електротехнічного обладнання?
5. Які матеріали використовуються для зменшення діелектричних втрат?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

Тема: Пробій діелектриків.

Мета роботи: засвоїти основні поняття про пробій діелектриків, дослідити механізми пробою у газоподібних, рідких і твердих діелектриках, а також вивчити залежність характеристик пробою від зовнішніх факторів.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення пробою діелектриків. Розгляньте різницю між електричним, тепловим і механічним пробоем.

1.2. Опишіть, як впливає напруженість електричного поля на процес пробою. Опишіть механізми пробою газів (електронний удар, йонізація зіткненням, лавинний пробій).

1.3. Поясніть вплив тиску, температури та виду газу на пробивну напругу. Наведіть приклади технічних застосувань газових діелектриків.

1.4. Опишіть основні механізми пробою в рідких діелектриках (електронний, йонний, тепловий). Поясніть, як домішки, вологість та температура впливають на пробій рідини.

1.5. Розгляньте застосування рідких діелектриків у техніці (трансформаторні масла, охолоджуючі рідини). Розгляньте основні механізми електричного пробою твердих діелектриків (електронний, лавинний, термічний).

1.6. Поясніть, як товщина, структура і дефекти матеріалу впливають на пробій. Наведіть приклади матеріалів, які використовуються для ізоляції у високовольтних пристроях.

2. Практичне завдання

2.1. Проведіть розрахунок критичної напруженості електричного поля для діелектрика, якщо товщина ізоляції $d=0,5\text{мм}$, а пробивна напруга $U_{\text{проб}}=2\text{кВ}$.

Формула:

$$E_{кр} = \frac{U_{проб}}{d},$$

2.1.1. Побудуйте графік залежності пробивної напруги від товщини діелектрика.

2.2. Виконайте розрахунок пробивної напруги для газу, якщо: напруженість пробою $E_{кр}=30$ кВ/см; відстань між електродами $d=1$ см.

Формула:

$$U_{проб} = E_{кр} \cdot d,$$

2.2.1. Побудуйте графік залежності пробивної напруги від тиску для повітря при температурі 20°C.

2.2.2. Складіть таблицю, що порівнює пробивну напругу для різних газів (повітря, азот, гелій).

2.3. Проведіть розрахунок пробивної напруги для рідкого діелектрика, якщо його пробивна напруженість $E_{кр} = 15$ кВ/мм, а товщина шару $d = 2$ мм.

Формула: ($U_{проб}$).

2.3.1. Побудуйте графік залежності пробивної напруги від температури в межах 10°C до 80°C (моделюйте дані).

2.3.2. Визначте, як додавання 1% домішок змінює пробивну напругу, змоделюйте уявні дані та побудуйте графік.

2.4. Проведіть розрахунок напруженості пробою для твердого діелектрика, якщо пробивна напруга $U_{проб} = 10$ кВ, а товщина шару $d = 1$ мм. Формула ($E_{кр}$).

2.4.1. Побудуйте графік залежності напруженості пробою від товщини для керамічного діелектрика.

2.4.2. Проаналізуйте, як вологість та дефекти поверхні впливають на електричний пробій (наведіть приклади).

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Створіть презентацію на тему «Пробій діелектриків: види, механізми та технічні застосування».

3.2. Розробіть рекомендації щодо запобігання пробою в ізоляційних матеріалах, що використовуються у високовольтних мережах.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке пробій діелектриків і за яких умов він виникає?
2. Які види пробою існують?
3. Як електричне поле впливає на механізм пробою?
4. Які фактори визначають електричну міцність діелектриків?
5. Як запобігти пробою діелектриків у практичному застосуванні?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Тема: Фізико-механічні та хімічні властивості електротехнічних матеріалів.

Мета роботи: вивчити фізико-механічні, теплові, хімічні та радіаційні властивості електротехнічних матеріалів, оцінити їхню стійкість до зовнішніх впливів і дослідити вплив різних факторів на їхню поведінку в умовах експлуатації.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення фізико-механічних і хімічних властивостей електротехнічних матеріалів. Перерахуйте основні властивості електротехнічних матеріалів (міцність, вологопоглинання, термічна стабільність, хімічна стійкість тощо). Поясніть взаємозв'язок між властивостями матеріалів і їхнім застосуванням в електротехнічних пристроях.

1.2. Розкажіть, що таке вологостійкість і чому вона важлива для електроізоляційних матеріалів. Охарактеризуйте вплив вологості на електричні, механічні та хімічні властивості матеріалів. Наведіть методи підвищення вологостійкості електроізоляційних матеріалів.

1.3. Поясніть значення теплових властивостей (теплопровідність, теплоємність, температурна стабільність) для діелектриків. Охарактеризуйте явища, які виникають у матеріалах при впливі високих температур. Розгляньте способи поліпшення теплових властивостей діелектриків.

1.4. Охарактеризуйте механічні властивості електротехнічних матеріалів (міцність, еластичність, твердість). Поясніть, як механічні властивості впливають на вибір матеріалу для конкретних умов експлуатації. Розгляньте методи випробування матеріалів на міцність і твердість.

1.5. Поясніть, як випромінювання високої енергії (гамма-випромінювання, рентгенівське випромінювання) впливає на властивості діелектриків.

Охарактеризуйте зміни, які виникають у структурі матеріалів під впливом випромінювання. Наведіть приклади матеріалів, стійких до радіаційного впливу.

2. Практичне завдання

2.1. Наведіть приклади матеріалів з різними фізико-механічними властивостями та опишіть їх застосування (наприклад, епоксидна смола, слюда, фторопласт).

2.1.1. Створіть таблицю, яка порівнює основні властивості трьох популярних діелектриків.

2.2. Проведіть експериментальні розрахунки зміни діелектричної проникності матеріалу (полімерних діелектриків), якщо його вологопоглинання становить 2% за масою.

Формула:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + k \cdot W),$$

де ε_0 - діелектрична проникність матеріалу без вологи; W - вологопоглинання (у частках від 1, тобто 2% = 0,02); k - коефіцієнт впливу вологи на діелектричну проникність (визначається експериментально, наприклад, $k = 10$ для деяких полімерів).

2.2.1. Побудуйте графік залежності електричної міцності матеріалу від вмісту вологи.

2.2.2. Розробіть рекомендації щодо використання вологостійких матеріалів у техніці.

2.3. Розрахуйте температуру нагрівання матеріалу при тривалому протіканні струму, якщо питомий опір $\rho = 109 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, густина струму $j = 0,01 \text{ А/мм}^2$, а коефіцієнт тепловіддачі $h = 0,5 \text{ Вт/}(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Формула:

$$T = \frac{\rho \cdot j^2}{h},$$

де T - температура нагрівання (виражається відносно температури навколишнього середовища); ρ - питомий опір матеріалу, Ом·м; j - густина струму, А/м²; h - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К).

2.3.1. Побудуйте графік залежності теплопровідності від температури для діелектрика (змоделюйте дані).

2.3.2. Наведіть приклади діелектриків із високою температурною стабільністю та поясніть їх застосування.

2.4. Розрахуйте механічне навантаження, яке витримує ізоляційний шар із матеріалу з межею міцності $\sigma_m = 100$ МПа, якщо площа перерізу $A = 10$ мм².

$$F = \sigma_m \cdot A,$$

де F - максимальне механічне навантаження, Н; σ_m - межа міцності матеріалу, Па (1 МПа = 10⁶ Па); A - площа перерізу, м² (10 мм² = 10 · 10⁻⁶ м²).

2.4.1. Побудуйте графік залежності твердості матеріалу від температури для полімерних діелектриків.

2.4.2. Наведіть приклади матеріалів із високою механічною міцністю та їхнє застосування в електротехніці.

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Створіть презентацію на тему: «Властивості електротехнічних матеріалів і їхня роль у розвитку сучасної техніки».

3.2. Розробіть технічні рекомендації щодо вибору матеріалів для роботи в умовах високих температур, вологості, агресивного середовища та радіації.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Які фізико-механічні властивості важливі для електротехнічних матеріалів?

2. Як хімічна стійкість впливає на довговічність матеріалів?

3. Чому важливі теплові характеристики матеріалів для їх використання в електротехніці?

4. Як оцінюють зносостійкість електротехнічних матеріалів?

5. Наведіть приклади матеріалів з оптимальними фізико-механічними властивостями.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №9

Тема: Використання діелектриків в конденсаторах.

Мета роботи: вивчити основи використання діелектриків у конденсаторах, їхні параметри, позначення та конструкції, а також навчитися аналізувати характеристики конденсаторів постійної ємності та визначати їх застосування в електротехнічних пристроях.

1. Теоретичне завдання

1.1. Дайте визначення конденсатору та поясніть його призначення. Розгляньте роль діелектрика в роботі конденсатора. Поясніть, як діелектрична проникність впливає на ємність конденсатора.

1.2. Поясніть, що таке номінальна ємність, робоча напруга і тангенс кута втрат конденсатора. Розгляньте вплив температури та частоти на параметри конденсаторів. Наведіть приклади матеріалів діелектриків із високою стабільністю параметрів.

1.3. Ознайомтеся з системою умовних позначень конденсаторів (тип, номінальна ємність, робоча напруга). Поясніть, як розпізнати параметри конденсатора за його позначенням.

1.4. Описати основні принципи маркування конденсаторів. Розгляньте, які параметри (ємність, напруга, допуски) вказуються на корпусі конденсатора. Наведіть приклади маркування для конденсаторів постійної ємності.

1.5. Поясніть, які існують типи конструкцій конденсаторів постійної ємності (керамічні, плівкові, електролітичні). Розгляньте переваги та недоліки кожної конструкції. Наведіть приклади застосування конденсаторів різних типів.

1.6. Опишіть основні характеристики конденсаторів постійної ємності. Розгляньте вплив частоти, температури та механічних впливів на стабільність

параметрів. Наведіть приклади використання таких конденсаторів у різних галузях техніки (електроніка, енергетика).

2. Практичне завдання

2.1. Розрахуйте ємність плоского конденсатора. Оберіть тип конденсатора та його характеристики, за вказаними даними виконати розрахунок.

Формула:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d},$$

де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - електрична стала; $\varepsilon_r = 4$ - відносна діелектрична проникність; A - площа пластин; d - відстань між пластинами.

2.2. Проведіть розрахунок енергії, що накопичується в конденсаторі при напрузі $U = 50$ В і ємності $C = 100$ мкФ.

Формула:

$$W = \frac{1}{2} C U^2,$$

2.2.1. Побудуйте графік залежності енергії W від напруги U для конденсатора з ємністю 100 мкФ.

2.3. Створіть таблицю, що порівнює основні характеристики керамічних, плівкових і електролітичних конденсаторів (діапазон ємності, напруги, стабільність параметрів).

2.3.1. Побудуйте графік залежності ємності від робочої напруги для плівкових конденсаторів.

2.4. Проведіть розрахунок струму через конденсатор у змінному колі, якщо: $C = 1$ мкФ, $U = 220$ В, $f = 50$ Гц.

Формула для струму:

$$I = U \cdot 2\pi f C,$$

2.4.1. Побудуйте графік залежності струму через конденсатор від частоти для різних ємностей ($1\ \mu\text{F}$, $10\ \mu\text{F}$, $100\ \mu\text{F}$).

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Розробіть рекомендації щодо вибору конденсаторів для використання в електронних схемах (імпульсні кола, стабілізатори напруги, фільтри).

3.2. Проведіть аналіз найбільш перспективних матеріалів для діелектриків у високовольтних конденсаторах. У вашому дослідженні вкажіть:

- властивості матеріалів (теплові, хімічні, діелектричні);
- їхній вплив на технічні характеристики конденсаторів;
- можливості використання в сучасних технологіях (енергозбереження, альтернативна енергетика).

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Яка роль діелектриків у роботі конденсаторів?
2. Як діелектрична проникність впливає на ємність конденсаторів?

3. Які матеріали найчастіше використовуються як діелектрики у конденсаторах?
4. Як змінюється робота конденсаторів залежно від типу діелектрика?
5. Які галузі застосування конденсаторів з різними діелектриками?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №10

Тема: Магнітні властивості матеріалів.

Мета роботи: ознайомити з основними характеристиками магнітного поля (індукція, напруженість, магнітний потік) в провіднику.

1. Теоретичне завдання

1.1. Розкажіть про класифікацію матеріалів за магнітними властивостями (діамагнетики, парамагнетики, феромагнетики). Опишіть основні характеристики феромагнітних матеріалів (петля гістерезису, коерцитивна сила, залишкова намагніченість). Розгляньте області застосування феромагнітних матеріалів.

1.2. Поясніть, як механічні деформації (розтяг, стиснення) впливають на магнітні властивості металів. Розгляньте явище магнітострикції та його значення для електротехніки. Наведіть приклади матеріалів, у яких магнітні властивості суттєво змінюються під впливом деформації.

1.3. Поясніть, які втрати енергії виникають у феромагнетиках (на гістерезис, струми Фуко, вихрові втрати). Розгляньте методи зменшення втрат у феромагнетиках (легування, зменшення товщини пластин магнітопроводу). Опишіть залежність втрат енергії від частоти зміни магнітного поля.

2. Практичне завдання

2.1. Побудуйте модель петлі гістерезису для феромагнітного матеріалу, задавши значення:

-Коерцитивна сила $H_c = 200$ А/м;

-Магнітна індукція насичення $B_s = 1,5$ Тл.

2.1.1. Розробіть таблицю, яка порівнює магнітні властивості діамагнетиків, парамагнетиків і феромагнетиків.

2.2. Побудуйте графік залежності магнітної проникності μ від величини деформації для сталі, моделюючи лінійне зниження проникності на 10% при деформації $\varepsilon = 1\%$. Проаналізуйте, як впливає магнітострикція на роботу трансформаторів.

Розрахуйте зміну магнітної індукції, якщо проникність матеріалу зменшилась на 5%.

2.3. Розрахуйте втрати на гістерезис у магнітопроводі з об'ємом $V=0,01 \text{ м}^3$, якщо:

- енергія втрат на один цикл $W_1 = 5 \text{ Дж}$;
- частота зміни магнітного поля $f=50 \text{ Гц}$;

Формула:

$$P = W_1 \cdot f ,$$

2.3.1. Побудуйте графік залежності втрат енергії від частоти магнітного поля. Дослідіть, як змінюється ефективність трансформатора при зменшенні втрат у магнітопроводі (змоделюйте дані).

3. Завдання для творчого опрацювання

3.1. Проведіть порівняльний аналіз магнітних властивостей трьох поширених феромагнітних матеріалів (наприклад, пермалою, електротехнічної сталі, фериту) за такими параметрами:

- магнітна проникність;
- втрати на гістерезис;
- максимальна індукція насичення.

3.2. Запропонуйте новий матеріал для магнітопроводів трансформаторів, оптимізований для мінімізації втрат енергії. Вкажіть його можливий склад, характеристики та області застосування.

4. Вказівки щодо оформлення звіту

4.1. Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з основним теоретичним матеріалом, що вивчається на відповідній лекції.

4.2. Ознайомитися та проаналізувати завдання практичної роботи.

4.3. Підготуйте звіт, де ви повинні виконати:

- письмові розрахунки та пояснення до кожного пункту завдання;
- технічні звіти, де буде визначено застосування кожного заходу;
- презентація результатів у вигляді звіту з поясненнями.

4.4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.

4.5. Зробити висновок про виконану роботу.

5. Контрольні питання

1. Що таке магнітна проникність матеріалів?
2. Які види магнітних матеріалів існують?
3. Як магнітні властивості залежать від структури матеріалу?
4. Які матеріали використовуються для виготовлення магнітопроводів?
5. Чим відрізняються феромагнітні, діамагнітні та парамагнітні матеріали?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна

1. Конструкційні матеріали і технології : навчальний посібник / Р. В. Будяк, Е. К. Посвятенко, Л. В. Швець, Г. А. Жученко. Вінниця : ФОП Т. П. Барановська, 2020. 240 с. URL: <http://repository.vsau.org/getfile.php/25442.pdf>.

2. Електротехнічні матеріали. Частина 1. Діелектричні матеріали : курс лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Кириленко, К. В. Кириленко. В. М. Головка. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 224 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8d0ebb78-3e8f-4e4a-98ef-dfb18ff2573d/content>.

3. Щерба А. А., Поворознюк Н. І. Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси. Вступ до спеціальності : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 497 с.

4. Трегуб М. І., Рубець А. М., Хахула В. С. Електротехнічні матеріали : навчальний посібник. Біла Церква : БНАУ, 2020. 60 с. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/5501/3/elektrotehniczni%20materialy.pdf>.

5. Паржницький О. В., Аушева С. В., Шулепіна Г. Ю. Електроматеріалознавство : навч. посібн. для здобувач. проф. освіти. Київ : Грамота, 2023. 224 с. URL: https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/posibnyky-prof-tech/Elektromaterialoznavstvo_27_01_2023_compressed.pdf.

Допоміжна

1. Stability of self-consistent states of flow in a short-circuited diode in a mode with a through passage of particles / V. Mardziavko та ін. *IEEE fifth international conference on information and telecommunication technologies and radio electronics*, м. Kyiv, 2 груд. 2021 р. Kyiv, 2021. С. 275–278.

2. Основи слюсарної справи : навч. посібник / А. Ф. Попов, Т. В. Пахар, О. В. Паржницький, Г. Ю. Шулепіна. Чернівці : Букрек, 2020. 224 с. URL: <https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnyky-profosvita/slusarna-sprava-Popov.pdf>.

Електронні ресурси

1. ДСТУ 2183-93. Картон електроізоляційний. Методи визначення електричної міцності і стійкості до впливу випробної напруги (ГОСТ 12268.2-93). Чинний від 1993-02-17. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1993. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93688.

2. ДСТУ 2267-93. Вироби електротехнічні. Терміни та визначення. Чинний від 1993-11-12. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1993. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60389.

3. ДСТУ ІЕС 60216-1:2015. Матеріали електроізоляційні. Характеристики нагрівостійкості. Частина 1. Методики проведення випробування на старіння й оцінювання результатів (ІЕС 60216-1:2001, IDT). Чинний від 2016-09-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.

4. Електроматеріали. Пасивні елементи засобів радіозв'язку та захисту інформації : навч. посібник / С. В. Толюпа та ін. Київ : ДУТ, 2015. 193 с. URL: https://duikt.edu.ua/uploads/l_1243_86357886.pdf.

5. ПУЕ Правила улаштування електроустановок. Київ, 2015. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758.

ДОДАТКИ

Додаток 1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ЗВІТ

до практичної роботи з дисципліни
“Електротехнічні матеріали”
на тему: “Розробка світлотехнічної відомості”

Допуск до виконання _____

Допуск до захисту _____

Захист _____

Виконав студент групи: Ен 1/1 _____
(підпис)

Олексій ХАРІТОНОВ
(імя, прізвище)

Керівник: _____
(підпис)

Віталій МАРДЗЯВКО
(імя, прізвище)

2024

					141. Ен 2/1.01.ПР01.Ел.тех.мат.	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Мардзявко** Віталій Анатолійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,8.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.