



# ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Перший (бакалаврський)</i>   |
| Галузь знань                                | <i>14 Електрична інженерія</i>  |
| Спеціальність                               | <i>141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>   |
| Освітня програма                            | <i>Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії</i>   |
| Статус дисципліни                           | <i>Нормативна</i>   |
| Форма навчання                              | <i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>  |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>1 курс, 2 семестр</i>  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>3 кредити/ECTS 90 годин (лекцій – 36, лабораторних занять – 18, самостійна робота - 36)</i>  |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Залік/модульна контрольна робота</i>   |
| Розклад занять                              | <i>Лекційні заняття – 1 раз на тиждень; лабораторні заняття – 1 раз на два тижні</i>  |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лекції, лабораторні роботи: <i>канд. техн. наук, доцент, Кириленко К.В. 0675085575, katakyr20@gmail.com</i><br>Лабораторні роботи: <i>асист. Мельник Олександр Анатолійович 0686237435, oa.melnyk@kpi.ua</i><br><i>асист. Коваленко Ірина Яківна 0979399673</i> |
| Розміщення курсу                            | <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyNzQwMzE0NzI3">https://classroom.google.com/c/MTUyNzQwMzE0NzI3</a>   |

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Програма навчальної дисципліни «Електротехнічні матеріали» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів: галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів наступних компетентностей:

*K07. Здатність працювати в команді.*

*K13. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.*

*K15. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.*

*K16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.*

**Програмні результати навчання:**

*PRO7. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.*

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Дисципліна "Електротехнічні матеріали" відноситься до професійно-орієнтованих дисциплін, що є обов'язковими для бакалавратів електромеханічного напрямку підготовки. Вона забезпечує сприйняття таких подальших дисциплін, як "Основи метрології та електричних вимірювань", "Електричні машини", "Електричні мережі та системи", "Релейний захист і автоматизація енергосистем", "Електрична частина станцій та підстанцій", «Електропровід» та інших.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна містить 5 розділів.

**Розділ 1. Вступ.** Місце і роль дисципліни в підготовці бакалаврів-електротехніків. Визначення електротехнічних термінів. Загальні відомості про будову речовини, електротехнічні матеріали і їх класифікацію за різними критеріями..

**Розділ 2. Діелектрики.** В цьому розділі розглядаються поляризація і електропровідність діелектриків, діелектричні втрати, пробій діелектриків, фізико-хімічні, механічні і радіаційні властивості діелектриків та основні діелектричні матеріали.

**Розділ 3. Провідникові матеріали.** Класифікація і основні властивості провідникових матеріалів. Провідникові матеріали різного електротехнічного призначення.

**Розділ 4 Напівпровідникові матеріали.** Цей розділ включає загальну характеристику і розгляд основних властивостей напівпровідників, а також інформацію про основні напівпровідникові матеріали.

**Розділ 5. Магнітні матеріали.** Основні відомості про магнітні властивості матеріалів. Процеси в магнітних матеріалах. Намагнічування ферромагнетиків. Магнітом'які і магнітотверді магнітні матеріали..

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Електротехнічні матеріали: Курс лекцій. Частина 1. Діелектричні матеріали. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Електричні станції», «Електричні системи і мережі», «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси», «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії», «Електричні машини і апарати», «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність», «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», уклад.: В. М. Кириленко, К.В. Кириленко. В.М. Головка – Київ : КПІ ім Ігоря Сікорського, 2021. – 224 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45608>
2. Колесов С.М., Колесов І.С. Електроматеріалознавство: підручник. – К.: «Видавництво Дельта», 2008. – 516 с.
3. Конструкційні та функціональні матеріали / Бабак В.П., Байса Д.Ф., Різак В.М., Філоненко С.Ф. У двох частинах. – К.: Техніка. – Ч.1, 2003. – 344 с.; ч.2, 2004. – 368 с.
4. Фізичне матеріалознавство: Навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко. - К.: НТУУ «КПІ», 2007. – Ч. 2: Діелектрики. - 392 с.
5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнічні матеріали» для студентів усіх форм навчання та студентів-іноземців за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Укладачі: Будько М.О., Кириленко В.М., Кириленко К.В., К.: ФЕА НТУУ «КПІ», 2016. – 93 с.

### **ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА**

1. Колесов С.М., Колесов І.С. Електроматеріалознавство (Електротехнічні матеріали). Підручник. – К.: "Дельта", 2008 р. 516 с.
2. Електротехнічні матеріали: навч. посібн. / А.С. Головченко, Д.В. Ципленков, А.А.Колб, А.В. Ніколенко; Мін-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» - Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 184 с.
3. ДСТУ 2843–94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 2815-94 "Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни і визначення".
5. ДСТУ 2725–94. Матеріали магнітні. Терміни та визначення.

#### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

##### Лекційні заняття

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)   |
|-------|--|
| 1     | <p><b>Загальні відомості про електротехнічні матеріали.</b></p> <p><b>Предмет і зміст курсу.</b> Поняття про електротехнічні матеріали. Значення сучасних електротехнічних матеріалів. Класифікація матеріалів в зв'язку з їх властивостями і областями використання. Поняття про провідникові, напівпровідникові, діелектричні та магнітні матеріали. Розвиток виробництва матеріалів в Україні і за кордоном. Економічні показники використання різних матеріалів. Охорона праці і техніка безпеки при виробництві електротехнічних матеріалів. Охорона природи і навколишнього середовища від забруднення відходами виробництва матеріалів. Огляд державних стандартів.</p> <p><b>Література:</b> 1, с. 6-9; 6, с. 5-12</p>   |
| 2,3   | <p><b>Основні відомості про будову речовини.</b></p> <p><b>Електротехнічні терміни і визначення,</b> які необхідні при вивченні дисципліни. Зв'язок між класифікацією електротехнічних матеріалів і агрегатним станом речовини. Основні відомості про будову атомів, молекул та речовини. Види хімічних зв'язків у молекулах та в конденсованій речовині. Полярні та неполярні хімічні зв'язки. Зв'язок між класифікацією електротехнічних матеріалів і хімічним зв'язком у речовині. Кристалічна і аморфна будова речовини. Типи кристалічних решіток, дефекти кристалічних решіток, їх класифікація і роль в властивостях речовини.</p> <p><b>Поняття про зонну теорію твердого тіла.</b> Утворення енергетичних зон при конденсації речовини. Класифікація електротехнічних матеріалів у світлі зонної теорії.</p> <p><b>Література:</b> 1, с. 10-27, 2, с. 4-16; 3, с. 3-10;</p> |
| 4,5   | <p><b>Поляризація і електропровідність діелектриків, діелектричні втрати</b></p> <p><b>Електричні явища в діелектриках.</b> Будова діелектриків. Електричні заряди в діелектриках і їх взаємодія з електричним полем.</p> <p><b>Природа поляризації речовини.</b> Діелектрична проникність. Її залежність від частоти, температури і других зовнішніх факторів. Методи вимірювання діелектричної проникності. Поляризація газоподібних, твердих і рідких діелектриків. Лінійні і нелінійні діелектрики. Сегнетоелектрики, п'єзоелектрики і піроелектрики.</p> <p><b>Електропровідність.</b> Питома провідність. Питома об'ємна провідність. Електропровідність газів, її природа і залежність від напруженості електричного поля. Електропровідність рідин. Електропровідність твердих діелектриків. Вплив домішок.</p>  |

|      |   |
|------|---|
|      | <p><i>Роль вологості. Залежність від температури. Поверхнева провідність. Методи вимірювання питомого об'ємного і поверхневого опору.</i></p> <p><i><b>Діелектричні втрати.</b> Повні і питомі втрати. Схема заміщення діелектричних втрат (діелектриків з втратами). Природа і види діелектричних втрат Залежність від частоти і температури, агрегатного стану речовини і діелектричних параметрів. Методи визначення тангенса кута діелектричних втрат.</i></p> <p><i><b>Література:</b> 1, с. 28-79, 2, с. 17-33, с. 49-66; 3, с. 108-121;</i></p>  |
| 6-8  | <p><b>Пробій діелектриків.</b></p> <p><i>Визначення і основні характеристики пробою. Пробивна напруга і електрична міцність.</i></p> <p><i><b>Пробій газів в однорідному і неоднорідному електричному полях.</b> Пробій при постійній і змінній напрузі низької і високої частоти Пробій при імпульсах. Залежність пробивної напруги від тиску і величини іскрового проміжку. Вплив вологості і температури на пробивну напругу газів. Газу з підвищеною електричною міцністю.</i></p> <p><i><b>Пробій рідких діелектриків</b> і механізм цього явища. Вплив домішок на характер залежностей пробивної напруги рідини від температури., тривалості напруги, форми поля.</i></p> <p><i><b>Пробій твердих діелектриків.</b> Закономірності теплового і електричного пробою. Основи теорії теплового пробою. Електричний пробій. Залежність електричної міцності твердих діелектриків від форми поля, роду струму, частоти струму, тривалості дії напруги, товщини діелектрика. Електрохімічний пробій. Пробій неоднорідного діелектрика. Іонізаційний пробій. <b>Пробій по поверхні твердого діелектрика.</b> Експериментальні дані про поверхневий пробій. Методи визначення електричної міцності діелектриків.</i></p> <p><i>Література: 1, с. 79-140; 2, с. 66-84; с. 144-154;</i></p>           |
| 9,10 | <p><b>Механічні властивості діелектриків:</b> густина, міцність при різних видах механічного навантаження, твердість, опір розколюванню, стійкість до надриву, ударна в'язкість, вібростійкість, гнучкість та ін. Загальна інформація про методи визначення механічних властивостей.</p> <p><b>Фізико-хімічні властивості діелектриків:</b> хімоустійкість, вологостійкість (гігроскопічність), водостійкість, водопоглинання, водопроникність та ін. і загальна інформація про методи їх визначення.</p> <p><b>Теплові властивості діелектриків:</b> теплопровідність, теплоємність, температурні коефіцієнти розширення, температури плавлення і розм'якшення; в'язкість, теплове старіння діелектриків, нагрівоустійкість за механічними і електричними властивостями, стійкість до термоударів, холодостійкість та ін.</p> <p><b>Вплив радіоактивних випромінювань на діелектрики.</b> Класифікація іонізуючих випромінювань. Зникаючі і пост-ефекти при дії радіації. Критичні дози поглинутої енергії при опромінюванні.</p> <p><b>Зміна властивостей діелектриків внаслідок дії навколишнього середовища:</b> світлоустійкість, атмосферостійкість і тропікоустійкість. Дія біологічних факторів на діелектрики.</p> <p><i>Література: 1, с. 141-172; 2, с. 84-104; 3, с. 154-165;</i></p> |

|       |   |
|-------|---|
| 11,12 | <p><b>Газоподібні діелектричні матеріали.</b> Використання газоподібних діелектриків в електротехніці та енергетиці.</p> <p><b>Рідкі діелектрики.</b> Трансформаторна, конденсаторна і кабельна олива, касторова олива, синтетичні рідкі діелектрики. Використання рідких діелектриків в електротехніці та енергетиці.</p> <p><b>Природні смоли,</b> висихаючі рослинні оливи, бітуми, воскоподібні діелектрики. <b>Полімери:</b> поліетилен, поліпропилен, полістирол, політетрафторетилен, полівінілхлорид, поліефіри, поліметилметакрилат, поліаміди, поліуретани, полііміди, фенол-формальдегідні смоли, епоксидні смоли, фторорганічні полімери, кремнійорганічні полімери, ефіри целюлози та ін. Органічні плівки. Використання полімерних діелектриків в електротехніці та енергетиці.</p> <p><b>Пластмаси.</b> Шаруваті і фольговані пластики. Еластомери. Компаунди. Електроізоляційні лаки, емалі і клеї. Волокнисті матеріали: органічні і неорганічні, просочені і непросочені. Використання пластмас в електротехніці та енергетиці.</p> <p><b>Монокристалічні діелектрики</b> і матеріали на їх основі для електротехнічного використання. Неорганічні тонкі і товсті плівки.</p> <p><b>Скло,</b> його класифікація. Оксидне скло: кварцове, лужне, безлужне. Використання скла.</p> <p><b>Електротехнічна кераміка:</b> електротехнічна порцеляна, конденсаторна кераміка та ін. Використання керамічних діелектриків в електротехніці та енергетиці.</p> <p><b>Література:</b> 1, с. 173-224; 2, с. 104-217; 3, с. 108-272</p> <p><a href="https://classroom.google.com/c/MTUyNzQwMzE0NzI3">https://classroom.google.com/c/MTUyNzQwMzE0NzI3</a></p> |
| 13,14 | <p><b>Провідникові матеріали різного електротехнічного призначення.</b></p> <p>Загальна характеристика провідникових матеріалів, питомий опір металів і сплавів. Залежність електричних властивостей металів від зовнішніх факторів. Класифікація провідникових матеріалів.</p> <p>Провідникова мідь її властивості і застосування. Провідникові бронзи і латуні. Алюміній, його властивості і застосування. Провідникові сплави на алюмінієвій основі.</p> <p>Срібло, золото, платина, паладій. Натрій.</p> <p>Надпровідники і кріопровідники. Використання матеріалів високої провідності в проводах і кабелях.</p> <p><b>Загальні вимоги і класифікація провідникових сплавів за застосуванням.</b> Сплави високого електроопору. Термопарні матеріали. Сплави для технічних резисторів. Жаростійкі сплави. Тугоплавкі метали і сплави. Сплави різного призначення. Контактні матеріали. Залізо, біметали. Припої і флюси. Неметалічні провідники.</p> <p><b>Література:</b> 2, с.230-247; 3, с.11-30</p>  |
| 15,16 | <p><b>Загальна характеристика напівпровідникових матеріалів.</b></p> <p>Загальні відомості і класифікація. Основні параметри, які характеризують властивості напівпровідникових матеріалів (тип провідності, ширина забороненої зони, рухливість носіїв зарядів і др.), залежність параметрів від температури матеріалу, частоти струму.</p> <p><b>P-n – перехід в напівпровідниках.</b> Контактні явища на границі напівпровідник-метал. Використання напівпровідникових матеріалів для діодів, тріодів, терморезисторів, фоторезисторів, тензорезисторів, варисторів, датчиків Холла, для термоелементів</p>  |

|       |   |
|-------|---|
|       | <p>та інші технічні використання. Інтегральні схеми. Переваги напівпровідникових приладів.</p> <p><b>Напівпровідникові матеріали.</b></p> <p>Германій і кремній. Матеріали системи <math>A^{IV}B^{IV}</math>; <math>A^{III}B^{VI}</math>, <math>A^{II}B^{VI}</math>; Багатофазні напівпровідникові матеріали. Оксидні напівпровідники, карбід кремнію. Загальний огляд технології одержання і переробки напівпровідникових матеріалів.</p> <p><b>Література:</b> 2, с.265-310, 3, с.48-107</p>  |
| 17,18 | <p><b>Загальна характеристика магнітних матеріалів.</b></p> <p>Призначення і класифікація магнітних матеріалів. Намагнічування магнітних матеріалів. Основні характеристики в статичних полях. Статична і реверсивна магнітні проникності. Динамічна петля гістерезису. Динамічна, амплітудна і комплексна магнітні проникності. Магнітні втрати, їх розрахунок і шляхи зменшення цих втрат. Точки Кюрі магнітних матеріалів. Вплив хімічного складу, структури, механічної обробки і термообробки на магнітні властивості матеріалів.</p> <p><b>Магнітом'які матеріали в електротехніці.</b></p> <p>Магнітом'які матеріали для магнітопроводів. Характеристики петлі гістерезису. Низькочастотні магнітом'які матеріали з високою індукцією насичення, технічне залізо, електролітичне залізо, карбонільне залізо, електротехнічна сталь, пермендюр. Низькочастотні магнітом'які матеріали з високою магнітною проникністю (пермалой, альсифер). Високочастотні магнітом'які матеріали: магнітодіелектрики і магнітом'які ферити. Особливості використання магнітом'яких матеріалів в електрообладнанні.</p> <p><b>Магнітотверді матеріали для постійних магнітів і магнітної пам'яті.</b></p> <p>Характеристики петлі гістерезису. Питома магнітна енергія. Стабільність постійних магнітів. Сталі, закалені на мартенсит. Нековкі (ливарні) магнітотверді матеріали на основі системи залізо-алюміній. Пластичні деформовані (ковкі) магнітотверді сплави. Сплави на основі рідкісних земель. Спеціальні феромагнетики. Магніострикційні метали і сплави. Матеріали для магнітного запису інформації. Термомагнітні матеріали. Магнітні матеріали з прямокутною петлею гістерезису. Магнітні плівки. Інші магнітні матеріали. Старіння магнітних матеріалів.</p> <p><b>Література:</b> 2, с.310-346, 3, с.273-327,</p> |

*Лабораторні роботи*

| № | Короткий зміст лабораторної роботи  |
|---|---|
| 1 | <p><b>Дослідження електропровідності твердих діелектриків.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити вплив складу і структури матеріалу та факторів навколишнього середовища на значення питомих об'ємного – <math>\rho_v</math> та поверхневого – <math>\rho_s</math> опорів твердих діелектриків.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <p>1. Визначити <math>\rho_v</math> і <math>\rho_s</math> сухих твердих діелектриків при кімнатній температурі (об'єкти досліджень визначає викладач) і оцінити вплив складу і макроструктури на електропровідність полярних і неполярних однорідних, волокнистих та композиційних діелектриків.</p> <p>2. Визначити <math>\rho_v</math> і <math>\rho_s</math> зволжених твердих діелектриків при кімнатній температурі і оцінити вплив вологи на електропровідність полярних і неполярних однорідних,</p> |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>волокнистих та композиційних діелектриків, порівнявши отримані результати з результатами п.1.</p> <p>3. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</p> <p><b>Література</b> [5], с. 7-12.</p>  |
| 2 | <p><b>Дослідження поляризації твердих діелектриків.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити вплив складу й структури матеріалу та зовнішніх умов на поляризацію твердих діелектриків.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначити геометричні параметри зразків діелектричних матеріалів різного складу та структури, які підлягають дослідженню.</li> <li>2. З допомогою мостових чи резонансних приладів виміряти їхні ємності.</li> <li>3. Розрахувати відносну діелектричну проникність досліджених діелектриків та класифікувати їх за механізмами поляризації з врахуванням складу і структури.</li> <li>4. Експериментально дослідити вплив температури на ємність конденсаторів з різними діелектричними матеріалами.</li> <li>5. Зобразити графічно температурні залежності ємності, розрахувати температурні коефіцієнти ємності графічним методом і пояснити температурну залежність ємності конденсаторів.</li> <li>6. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</li> </ol> <p><b>Література</b> [5], с. 12-18.</p> |
| 3 | <p><b>Дослідження діелектричних втрат у твердих діелектриках.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – вивчення механізмів діелектричних втрат та закономірностей впливу зовнішніх факторів на діелектричні втрати твердих діелектриків.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виміряти мостовим методом залежність ємності та <math>\text{tg}\delta</math> від температури для ряду конденсаторів і зразків діелектричних матеріалів за вказівкою викладача.</li> <li>2. Побудувати температурні залежності ємності, <math>\text{tg}\delta</math> та фактору втрат (добутку ємності і <math>\text{tg}\delta</math>).</li> <li>3. Визначити механізми діелектричних втрат в досліджених матеріалах шляхом порівняння отриманих температурних залежностей <math>\text{tg}\delta</math> з теоретичними.</li> <li>4. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань.</li> </ol> <p><b>Література</b> [5], с. 18-22.</p>  |
| 4 | <p><b>Дослідження електричної міцності діелектриків.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити загальні закономірності пробою газоподібних, рідких та твердих (за вказівкою викладача) діелектриків.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ознайомитися з інструкцією з техніки безпеки при високовольтних випробуваннях і отримати допуск до виконання роботи.</li> </ol>   |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>2. Дослідити залежність пробивної напруги повітря від тиску в однорідному електричному полі.</p> <p>3. Побудувати графіки залежності пробивної напруги та електричної міцності повітря від тиску та пояснити їх.</p> <p>4. Визначити у неоднорідному електричному полі значення пробивної напруги повітряного проміжку при різних відстанях між електродами.</p> <p>5. Побудувати та пояснити залежність пробивної напруги та електричної міцності від відстані між електродами.</p> <p>6. Визначити електричну міцність трансформаторного масла. Оцінити вплив домішок та зволоження на електричну міцність масла.</p> <p>7. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</p> <p><b>Література</b> [5], с. 22-29.</p>  |
| 5 | Колоквіум по діелектричних матеріалах  |
| 6 | <p><b>Дослідження електропровідності напівпровідників.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити вплив температури на електропровідність напівпровідників.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <p>1. Виміряти температурну залежність опору напівпровідникових елементів електронної техніки (або за вказівкою викладача питомого опору напівпровідникових матеріалів, методика визначення якого наведена у додатку) в діапазоні температур від кімнатної до 100 °С.</p> <p>2. Побудувати температурну залежність опору напівпровідникових елементів (питомого опору напівпровідників) у лінійному масштабі.</p> <p>3. Визначити значення <math>TKR</math> (<math>TKp</math>) напівпровідникових матеріалів (елементів) при температурі 60 °С графічним методом.</p> <p>4. Побудувати температурну залежність опору напівпровідникових елементів (або питомого опору напівпровідникових матеріалів) у напівлога–рифмічному масштабі <math>I_{gr} = f(1/T)</math></p> <p>5. Визначити значення ширини забороненої зони напівпровідників.</p> <p>6. Обчислити теоретичні значення <math>TKR</math> (<math>TKp</math>) напівпровідників (елементів) при температурі 60 °С.</p> <p>7. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</p> <p><b>Література</b> [5], с. 29-36</p> |
| 7 | <p><b>Дослідження властивостей провідникових матеріалів.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити вплив температури на електропровідність провідникових матеріалів з високою питомою провідністю та високим питомим опором; визначити питому термоЕРС провідникових термопар.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p>  |



|   |   |
|---|---|
|   | <p>1. Виміряти залежності опору провідникових матеріалів від температури і побудувати графіки цих залежностей. Розрахувати температурний коефіцієнт опору ТКР для матеріалів, що досліджувалися.</p> <p>2. Паралельно з п.1 зняти залежності термоЕРС термопар від температури і побудувати відповідні графіки. Визначити питому термоЕРС для досліджених термопар.</p> <p>3. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</p> <p><b>Література</b> [5], с. 36-40.</p>  |
| 8 | <p><b>Дослідження властивостей феромагнітних матеріалів.</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – навчитися визначати основні характеристики феромагнітних матеріалів.</p> <p><b>Завдання на роботу</b></p> <p>1. Розмагнітити зразок матеріалу, що досліджується, з допомогою котушки з низькочастотним неоднорідним магнітним полем.</p> <p>2. Зняти основну криву намагнічування феромагнетика (за вибором викладача) з допомогою пермеаметра Кепсея.</p> <p>3. Побудувати основну криву намагнічування. Визначити початкову <math>\mu_n</math> та максимальну <math>\mu_{max}</math> відносні магнітні проникності. Розрахувати та побудувати залежність відносної магнітної проникності <math>\mu</math> від напруженості магнітного поля <math>H</math>.</p> <p>4. Виміряти статичну залежність магнітної індукції <math>B</math> від напруженості магнітного поля <math>H</math> для побудови граничної петлі гістерезису. Побудувати граничну петлю гістерезису та визначити індукцію насичення <math>B_s</math>, залишкову індукцію <math>B_r</math> і коерцитивну силу <math>H_c</math>. Визначити, до якого типу відноситься феромагнетик.</p> <p>5. Підготувати звіт з роботи з врахуванням мети роботи, основних і додаткових завдань, наведених у методичних вказівках з конкретних розділів роботи.</p> <p><b>Література</b> [5], с. 40-47.</p> |
| 9 | Колоквіум по напівпровідниках, провідниках та магнетиках  |

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

| № з/п | Вид самостійної роботи   | Кількість годин СРС |
|-------|--|---------------------|
| 1     | Підготовка до аудиторних занять, вивчення лекційного матеріалу   | 18                  |
| 2     | Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, побудова графіків, написання висновків | 7                   |
| 3     | Підготовка до колоквіумів  | 4                   |
| 3     | Підготовка до модульної контрольної роботи   | 4                   |
| 4     | Підготовка до заліку   | 3                   |

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому

числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;

- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі [classroom.google](https://classroom.google) здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.
- правила захисту індивідуальних завдань: захист модульної контрольної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки МКР. Написання МКР є обов'язковим для допуску до заліку;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання ДКР та несвоєчасний захист лабораторних робіт.
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачають нарахування штрафних балів. Перескладання захисту лабораторних робіт та результатів МКР не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Електротехнічні матеріали»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

- Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття на лекціях та під час захисту лабораторних робіт, ДКР, тести
- Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу і оцінюється в балах.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| Кількість балів | Оцінка   |
|-----------------|----------|
| 100-95          | Відмінно |

|   |              |
|---|--------------|
| 94-85   | Дуже добре   |
| 84-75   | Добре        |
| 74-65   | Задовільно   |
| 64-60   | Достатньо    |
| Менше 60                                      | Незадовільно |
| Не виконані умови допуску                     | Не допущено  |
| Порушення принципів академічної доброчесності | Усунений     |

**Рейтинг студентів з дисципліни** складається з балів за виконання таких робіт:

- виконання і захист 7 лабораторних робіт,
- написання домашньої контрольної роботи,
- робота над лекційним матеріалом, опитування під час лекції
- семестровий контроль - залік.

#### **Система рейтингових (вагових) балів та критеріїв оцінювання**

1. **Виконання лабораторної роботи** (підготовка до виконання лабораторної роботи, проведення експериментів, оформлення звіту і захист лабораторної роботи).

**Ваговий бал – 10.**

Максимальна кількість рейтингових балів при виконанні перерахованих умов: **10x7=70.**

#### **Критерії оцінювання:**

- своєчасне і повне виконання лабораторної роботи і задовільна підготовка до виконання наступної (повністю оформлений звіт з виконаної роботи, задовільне оформлення розрахунково-графічної частини, повний аналіз результатів і змістовні висновки за результатами роботи, підготовлений протокол звіту до наступної роботи, студент ознайомився з метою, задачами і методикою виконання наступної роботи) **10**
- повне, але несвоєчасне виконання **8**
- попередня робота виконана, підготовлено звіт, дано повний аналіз результатів роботи і зроблено змістовні висновки за ними, але розрахунково-графічна частина виконана незадовільно, підготовка до виконання наступної лабораторної роботи задовільна **7**
- попередня робота виконана, підготовлено звіт, але розрахунково-графічна частина незадовільна, відсутні аналіз і висновки, підготовка до виконання наступної лабораторної роботи задовільна **6**
- звіт з однієї попередньої роботи не підготовлений, підготовка до виконання наступної лабораторної роботи задовільна **5**

#### **2. Модульна контрольна робота:**

#### **Критерії оцінювання:**

**Ваговий бал - 20**

- повне самостійне виконання **20**
  - повне, але не цілком самостійне виконання **16**
  - неповне виконання (відсутні чи неповні аналіз та узагальнення результатів) **10...14**
3. **Систематична робота над лекційним матеріалом** **10**
  4. **Залік** (в залежності від рівня підготовки) **до 40**

6. **Штрафні бали:**

- **2** штрафних бали - незадовільна підготовка до виконання лабораторної роботи (відсутній протокол звіту, студент не ознайомився з метою, задачами і методикою виконання роботи).
- **4** штрафних бали - не оформлені вчасно звіти з двох попередніх робіт
- **2** штрафних бали за пропуск лабораторної роботи без поважної причини

Розмір шкали рейтингу  $R=100$  балів.

Розмір стартової шкали  $R_c=60$  балів.

Розмір залікової шкали  $R_e=100$  балів.

**Умови позитивної проміжної атестації**

Для отримання «зараховано» з **першої проміжної атестації** (8 тиждень) студент матиме не менш ніж **17 балів** (на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів можна отримати 28 балів).

Для отримання «зараховано» з **другої проміжної атестації** (14 тиждень) студент матиме не менш ніж **40 балів** (на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів можна отримати 65 балів).

**Семестровий контроль: залік**

**Умови допуску до заліку:** виконання і захист всіх лабораторних робіт, домашньої контрольної роботи, а також стартовий рейтинг **60** і більше балів. Студенти, які отримали стартову оцінку **F** – до заліку не допускаються і повинні підвищити свій рейтинг.

Критерії оцінювання залікової контрольної роботи:

- вичерпні відповіді на всі основні, а також на додаткові питання, чітке визначення всіх понять; величин – **40 балів**;
- в деяких відповідях мають місце певні неточності – **30 балів**;
- допускаються окремі помилки, але їх можливо виправити за допомогою викладача, має місце знання основних понять і величин, розуміння суті процесів в електротехнічних матеріалах і принципів їх використання – **20 балів**;
- припускаються суттєві помилки, неповне розуміння основних понять і суті процесів в електротехнічних матеріалах і принципів їх використання – **менше 10 балів**.
- Для отримання студентом відповідної семестрової оцінки "автоматом" його рейтинг з дисципліни має бути не менше **60** балів.

**9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

**Перелік питань, які виносяться на залік.**

1. Зв'язок між видами хімічних зв'язків у молекулах і конденсованій речовині і властивостями електротехнічних матеріалів. Основні положення зонної теорії твердих тіл і класифікація електротехнічних матеріалів в рамках цієї теорії

2. Поляризація діелектриків. Основні фізичні і технічні параметри, які характеризують поляризацію. Основні види та механізми поляризації, їхні особливості. Класифікація діелектриків за видами поляризації.

3. Залежність діелектричної проникності діелектриків з різною структурою від температури та частоти. Діелектрична проникність сумішей двох або більшого числа діелектриків, які не утворюють один з одним хімічні сполуки. Особливості спонтанної поляризації та її залежність від температури та частоти.

4. Електропровідність твердих діелектриків. Вплив зовнішніх факторів на об'ємний та поверхневий питомі опори, методи їх вимірювання. Електропровідність газів, несамостійна та самостійна провідність газів, струм насичення в газах. Електропровідність рідин.

5. Діелектричні втрати, механізми діелектричних втрат, повні і питомі втрати, кут діелектричних втрат. Схеми заміщення діелектрика з втратами, векторні діаграми і вирази для  $tg\delta$  для них та можливості застосування схем заміщення. Види діелектричних втрат в залежності від структури і властивостей діелектриків. Вплив зовнішніх факторів на діелектричні втрати.

6. Загальна характеристика явища пробоя діелектриків. Види пробоя. Фізика електричного пробоя в однорідному полі. Залежність електричної міцності газів від тиску і відстані між електродами. Закон Пашена. Вплив електронегативності газів на їхню електричну міцність.

7. Теорія теплового пробоя діелектриків. Вплив характеристик діелектрика і зовнішніх факторів на пробивну напругу при теплового пробоя. Аналіз особливостей теплового пробоя.

8. Часткові розряди в діелектриках і характеристики їхньої інтенсивності. Особливості і закономірності іонізаційного пробоя.

9. Практичне значення теплопровідності, термостійкості, стійкості до термоудару та температурного коефіцієнту розширення електроізоляційних матеріалів. Класи нагрівостійкості електричної ізоляції, температурний індекс і профіль нагрівостійкості ізоляційних матеріалів.

10. Характеристика електроізоляційних властивостей повітря та інших газоподібних діелектриків.

11. Природні та синтетичні рідинні електроізоляційні матеріали, їхні властивості, особливості та основні області застосування.

12. Властивості та області застосування слюд (мусковіту та флогопіту). Основні групи матеріалів на основі слюд, їхні властивості та області застосування.

13. Електроізоляційне скло і матеріали на його основі. Найважливіші типи керамічних електроізоляційних матеріалів та області їхнього застосування.

14. Класифікація і області застосування полімерних діелектриків і пластмас. Основні полімерні діелектричні матеріали, їхні властивості і застосування. Еластомери, їхні властивості і застосування.

15. Волокнисті електроізоляційні матеріали, їхні властивості і застосування. Смоли, лаки, емалі і компаунди, їхні властивості і застосування.

16. Загальна характеристика провідникових матеріалів і їх застосування. Основні властивості провідникових матеріалів. Провідникові матеріали високої провідності: властивості і застосування. Провідникові матеріали високого опору: властивості і застосування. Термопарні матеріали: властивості і застосування. Припої і провідникові матеріали для електричних контактів: властивості і застосування.

17. Загальна характеристика і класифікація напівпровідників. Вплив зовнішніх факторів на електропровідність напівпровідників. Фото- і термоелектричні явища в напівпровідниках і їхні застосування. P-n перехід в напівпровідниках, його властивості і застосування.

18. Магнітні властивості речовини і загальна класифікація магнітних матеріалів. Магнітом'які матеріали, їхні властивості і застосування. Магнітотверді матеріали, їхні властивості і застосування.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри відновлюваних джерел енергії, канд. техн. наук Кириленко К.В.

**Ухвалено** кафедрою ВДЕ (протокол №14 від 24.05.2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 20.06.2024)