

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Методичні вказівки
з виконання самостійної роботи студента

для здобувачів 1 курсу
освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»,
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «бакалавр»

УДК 620.9

Укладач: Юрченко О.Ю., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

**М 37 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :
методичні вказівки з виконання самостійної роботи студента
/ укл.: О.Ю. Юрченко. - Суми, 2025. – 26 с.**

У методичних вказівках представлено матеріали для виконання самостійної роботи студента з електротехнічних матеріалів.

Рецензенти:

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри «Технічного сервісу» СНАУ;
Василенко О.О., к.т.н., доцент кафедри «Охорони праці та фізики» СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ від 28 січня 2025 р.

© Сумський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ	4
ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ	6
Загальні питання	6
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ”	19
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ”	22
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ”	23
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ "МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ"	23
ВИБІР ВАРІАНТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ	24
ДОВІДНИКОВІ ДАНІ	25

*ПЕРШ НІЖ ПРИСТУПИТИ ДО
ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ВДУМЛИВО ПРОЧИТАЙТЕ ЗАГА-
ЛЬНІ ВКАЗІВКИ З ЇЇ ВИКОНАННЯ І ДОТРИМУЙТЕСЯ ЇХ*

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольні роботи - результат роботи студента над курсом. Відповіді на запитання повинні бути повними, чіткими, обґрунтованими. Вимоги до оформлення контрольних робіт такі.

1. На обкладці зошита для контрольної роботи вказують прізвище, ім'я та по-батькові студента, спеціальність, шифр групи і номер варіанта.

2. Переписуйте повністю зміст завдання з методичних вказівок в звіт з контрольної роботи.

3. Розв'язання задач супроводжуйте коротким, але достатньо повним **поясненням**, це особливо необхідно, коли при розв'язуванні задач нехтують рядом параметрів, враховуючи їхню малість.

4. **Визначення процесів, фізичних величин, умовні позначення та одиниці фізичних величин мають відповідати державним стандартам.**

5. Графічну побудову, яка показує кількісні зміни будь-якого параметра, виконують на міліметровці або на папері в клітинку з обов'язковим додержанням стандартів. **Пам'ятайте, по осях відкладається масштаб в круглих цифрах, а не отримані чи розраховані значення.** Якщо величина незначно змінюється, маючи великі значення, то відкласти масштаб бажано не від нуля. Наприклад, якщо виміряний опір напівпровідника змінюється від температури в межах від 20,32 до 24,54 кОм, то масштаб по осі 0у можна відкласти від 20 до 25 кОм. **Виміряне значення величин не фіксується на осях.**

6. Температурний коефіцієнт діелектричної проникності, питомого об'ємного опору тощо визначають методом графічного диференціювання не менш як у 6-8 точках по осі температур. При цьому обов'язково вказують, якій температурі відповідає дане значення температурного коефіцієнта.

7. Категорично забороняється використовувати не загальноприйняті скорочення.

8. Відповіді на теоретичні питання повинні **починатися з визначення понять, явищ, матеріалів, характеристик, параметрів**, про які йде мова в завданні. Потрібно висвітлювати тільки ті властивості, про які говорилося у завданні, і в тому ключі, який мається на увазі у завданні. Якщо шукаєте в інтернеті матеріал за ключовими словами, то не зловживайте копіпастом з інтернету, бо там багато неякісних і некоректних статей. Звіряйтеся з конспектом лекцій. **Редагуйте копіпаст, особливо перекладений з російської мови. Уникайте "вінегрету", інформація про дану властивість, закономірність і т.п. повинна бути відредагована і зібрана до купи, про іншу властивість чи закономірність повинно бути компактно написано в іншому місці і т.д..** Складіть план відповіді на початку роботи, а після закінчення, перевірте, щоб відповідь була продумана і структурована.

9. **Не користуйтеся шкільною звичкою відповідати що-небудь чи підставляти що-небудь куди-небудь. Спочатку постарайтеся уявити собі, з чим ви маєте справу, як виглядає явище, процес, об'єкт, що розглядається вами, розбийте подумки його на**

стадії, вузли, деталі, зрозумійте, як вони взаємодіють, потім встановіть, які параметри і яку саме сторону явища, процесу, об'єкта вони відображають, як на них впливають зовнішні фактори, чому так і не інакше, подумайте над фізикою процесів, над характером та закономірностями зв'язків між параметрами і т.д. і т.п. Розберіться, про що вас питають, а потім відповідайте.

10. Під час опису окремо взятого або групи електротехнічних матеріалів обов'язково наводьте цифрові дані (параметри, характеристики), що характеризують їх, а також інформацію про застосування матеріалу і його властивості, що використовуються при цьому застосуванні.

11. **Якщо** при розв'язанні задач або при відповіді на контрольні запитання **виникли труднощі, необхідно звернутися за консультацією до викладача**, виклавши при цьому свої міркування про розв'язання задачі або відповіді на поставлене запитання. **Але, запам'ятайте, запитання до викладача повинні бути конкретними**, з них повинно бути ясним, що не зрозуміло студенту, що він не знає, як зробити, де знайти відповідь чи підказку.

12. Відповідайте **на всі поставлені в завданні питання**. На поставлені, а не на ті, на які вам вдалося знайти відповідь в інтернеті. **Ще раз – спочатку розберіться, а потім відповідайте на поставлені питання. Тільки так можна стати фахівцем в будь-якій справі. Чим раніше до вас дійде, що вчитеся ви не для того, щоб здати залік чи екзамен, а для того, щоб почувати себе в ринковій економіці, як риба у воді, тим краще для вас. Навчання у ВНЗ формує ваш мозок, дає йому можливості розв'язувати задачі в будь-якій області, незалежно від профілю навчання. В тім числі, в бізнесі. Пам'ятайте, що знаєш, за плечами не носити!**

13. При формулюванні відповідей:

- Виконуйте **всі необхідні побудови** (графіки, дотичні та трикутники на дотичних при розрахунку ТКf і т.п.).

- При розрахунках слідкуйте за розмірностями, переводьте всі розмірності в СІ, **особливо не забувайте переводити всі лінійні розміри в м.**

- Проставляйте на графіках розмірності величин, які відкладалися **по 0x (це ті величини, які змінюються нами, або від яких потрібно будувати залежність) і по 0y (ті, що відображають реакцію матеріалу або розмірності тих величин, будувати залежність яких пропонується).**

- **Підставляйте у формули всі необхідні величини**, щоб можна було перевірити правильність виконання і розуміння вами того, що ви робите, хоч нижче в цих вказівках ця стадія пропущена. Але ж це тільки вказівки, а не повністю виконані завдання. **Проставляйте при відповіді в кінці розрахунків розмірності обчислених величин.** Обов'язково.

14. **ЩЕ РАЗ: НЕ ЗВЕРТАЙТЕСЯ ДО ІНТЕРНЕТУ, НЕ ПОЗНАЙОМИВШИСЬ З КОНСПЕКТОМ ЛЕКЦІЙ!** Якщо в конспекті недостатньо матеріалу або якесь питання висвітлене поверхово, тоді, керуючись конспектом, звертайтеся до інших підручників (може в тому ж таки інтернеті), і тільки потім до Вікіпедії, рефератів, контрольних робіт, викладених в інтернет. Але перевіряйте: те, що ви знайшли в інтернеті відповідає конспекту, підручникам, чи ні, бо в інтернеті **ДУЖЕ БАГАТО НЕПРАВИЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ** (її можна зустріти і в підручниках, навчальних посібниках, але значно, значно менше).

ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

Загальні питання

1. Загальна характеристика сфер застосування електротехнічних матеріалів.
2. Дайте коротку характеристику будови атомів. Назвіть головні види молекулярних зв'язків і зв'язків атомів і молекул при утворенні конденсованої речовини. Наведіть приклади речовин з цими видами зв'язку.
3. Сформулюйте головні положення зонної теорії твердих тіл. У чому полягає різниця між діелектриками, напівпровідниками та провідниками з точки зору цієї теорії?
4. Дайте характеристику екологічних проблем, пов'язаних з виробництвом і використанням електротехнічних матеріалів.

Діелектричні матеріали

5. Дайте визначення діелектрика та процесу поляризації, поясніть його фізичну суть. Коротко опишіть основні фізичні параметри, які характеризують поляризацію. Назвіть основні методи вимірювання діелектричної проникності.
6. Охарактеризуйте основні види та механізми поляризації, їхні особливості. Наведіть класифікацію діелектриків за видом поляризації. Назвіть 5-6 діелектриків кожної групи та наведіть значення діелектричної проникності названих діелектриків.
7. Наведіть приклади залежностей діелектричної проникності твердих діелектриків з різною структурою від температури та частоти, поясніть їх.
8. Поясніть залежності діелектричної проникності сегнетоелектриків від температури, напруженості електричного поля, частоти прикладеної напруги.
9. Наведіть приклади діелектриків, для яких характерна головним чином електронна, іонна, дипольна та спонтанна поляризації. Дайте обґрунтування свого вибору і вкажіть значення ϵ_r кожного з названих матеріалів.
10. Наведіть якісні графіки зміни діелектричної проникності нейтральних і полярних діелектриків в залежності від температури та частоти, поясніть їх. Наведіть приклади вказаних типів діелектриків.
11. Як можна розрахувати діелектричну проникність сумішей двох діелектриків, що не утворюють один з одним хімічної сполуки? Розберіть основні випадки.
12. Дайте означення активних діелектриків. Назвіть основні класи активних діелектриків, опишіть особливості їх поляризації та області застосування.
13. Поясніть суть спонтанної поляризації, охарактеризуйте особливості поляризації сегнетоелектриків в зовнішньому полі і вплив температури на їх поляризацію. Назвіть області використання сегнетоелектриків.
14. Опишіть прямий і зворотний п'єзоефект. Наведіть приклади п'єзоелектричних матеріалів і охарактеризуйте області їх застосування.
15. Опишіть електретний стан у діелектриках і способи його формування. В яких матеріалах спостерігається електретний ефект і з якою метою використовуються електрети?
- 17-21. Для вказаного матеріалу побудуйте за наведеними даними криву $\epsilon(T)$. Обчисліть не менш як для п'яти значень температури температурний коефіцієнт діелектричної проникності ($TK\epsilon$), використовуючи графічний метод диференціювання кривої $\epsilon(T)$. Побудуйте залежність $TK\epsilon$ матеріалу від температури.

№	Пара-метр	Значення параметрів T і ε ряду матеріалів*													
17	T	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
	ε	2,5	2,6	2,7	2,9	3,3	4,0	5,0	5,6	5,7	5,5	5,2	4,7	4,2	
18	T	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
	ε	3,0	2,7	2,4	2,2	2,1	2,1	2,2	2,5	2,9	3,4	3,4	3,0	2,7	
19	T	20	30	40	50	60	70	80	90	100					
	ε	2,62	2,6	2,55	2,48	2,40	2,31	2,20	2,10	2,03					
20	T	0	10	20	30	40	50	60	70	80					
	ε	2,2	2,19	2,18	2,17	2,16	2,12	2,00	1,96	1,92					
21	T	0	50	100	150	200	250	300							
	ε	5,4	5,6	6,2	7,0	8,5	11,0	14,5							

*Матеріали: 17 - совол, 18 - каніфоль, 19 - церезин, 20 - парафін, 21 - електротехнічне скло.

22. Яким чином можна створити неоднорідний діелектрик із заданим значенням $TK\varepsilon$?

16. Дайте коротку характеристику електропровідності. Розгляньте механізми генерації носіїв заряду і види електропровідності. Наведіть визначення питомої електропровідності і питомого опору і порядок їх величин для діелектриків.

17. Охарактеризуйте електропровідність газів. Які процеси визначають несамостійну та самостійну провідність газів? Дайте пояснення струму насичення і струму ударної іонізації в газах.

18. Опишіть характер електропровідності рідких діелектриків та її залежність від температури. Поясніть явище електролітичної дисоціації. При яких умовах і в яких межах виконується правило Писаржевського-Вальдена для добутку електричної провідності і в'язкості?

19. Поясніть вплив температури та напруженості електричного поля на електропровідність твердих діелектриків в залежності від типу хімічного зв'язку в них.

20. Чим зумовлена необхідність введення об'ємного та поверхневого питомих опорів твердих діелектриків? Наведіть визначення питомих об'ємного та поверхневого опорів.

21. Опишіть явище поверхневої електропровідності та її залежність від типу матеріалу. Вкажіть засоби зниження поверхневої провідності.

22. Абсорбційний струм в твердих діелектриках. Коефіцієнт абсорбції і його використання для діагностування електричної ізоляції.

23. Дайте означення поняття діелектричні втрати. Охарактеризуйте природу втрат у постійних і змінних полях. Що називається кутом діелектричних втрат? Наведіть вирази для визначення повних і питомих втрат.

24. Наведіть двохелементні схеми заміщення діелектрика з втратами та фазові діаграми для них. Виведіть вирази для $\tan\delta$ та потужності втрат для цих схем, а також формулу зв'язку між параметрами схем заміщення. Які обмеження накладаються на застосування схем заміщення діелектрика з втратами?

25. Назвіть і охарактеризуйте види діелектричних втрат. Наведіть приклади діеле-

ктриків, в яких переважають окремі види втрат. Для всіх названих матеріалів наведіть значення $\operatorname{tg}\delta$.

26. Охарактеризуйте діелектричні втрати у газах. Що називається кривою іонізації електричної ізоляції (наведіть її) і яке вона має практичне значення?

27. Характер температурних залежностей ϵ та $\operatorname{tg}\delta$ при релаксаційній поляризації (наведіть графіки, їх пояснення та приклади діелектриків). Що називається часом релаксації?

28. Охарактеризуйте діелектричні втрати у нейтральних і полярних рідких діелектриках. Наведіть приклади залежностей від температури та частоти, поясніть їх.

29. Охарактеризуйте діелектричні втрати у твердих діелектриках на електропровідність і різні види поляризації. Наведіть приклади залежностей $\operatorname{tg}\delta$ від температури та частоти, поясніть їх.

30. Опишіть процеси лавинного і стримерного пробою газів в однорідному полі. Поясніть криву Пашена для залежності електричної міцності газів від добутку відстані між електродами на тиск газу.

31. Як залежить пробивна напруга газів від температури і частоти? Опишіть процес пробою газів в неоднорідному полі. Поясніть залежність електричної міцності від полярності електродів і відстані між ними.

32. Опишіть головні фактори, які впливають на електричну міцність ретельно очищених і технічних рідких діелектриків.

33. Як залежить електрична міцність при електричному пробойі від товщини діелектрика, від часу прикладення електричного поля і температури? Які процеси враховуються в теоріях електричного пробою твердих діелектриків?

34. Які причини приводять до зниження пробивної напруги при поверхневому пробойі і які способи її підвищення існують?

35. В яких діелектриках спостерігається тепловий пробій? Опишіть закономірності його розвитку та залежність від характеристик проміжку, поля, зовнішніх факторів. Як можна ззовні впливати на пробивну напругу даної ізоляційної конструкції?

36. Наведіть характеристики часткових розрядів та опишіть можливі механізми і закономірності іонізаційного пробою. Який параметр характеризує стійкість діелектрика до іонізаційного пробою?

37. Дайте порівняльну характеристику основних видів пробою твердих діелектриків та досягнутого рівня їх теоретичного описання.

38. - 49. Між плоскими електродами помістили куб діелектричного матеріалу з ребром a . Обчисліть значення сили струму, який протікає в колі, та діелектричні втрати при постійній та змінній напругах.

№ запитання	45	46	47	48	49
Матеріал*	Поліхлорвініл	Поліетилен	Полістирол	Поліметилметакрилат	Політетрафторетилен
a , мм	30	20	20	30	10
Напруга, кВ	2	3	4	1	5

* Характеристики матеріалів наведені в додатку, табл. Д-1

50 - 54. Циліндричний стрижень діаметром d та довжиною l з діелектричного матеріалу помістили торцями між електродами, до яких підведена напруга U . Обчисліть значення струму в колі та діелектричні втрати в матеріалі для наведених даних. Як зміняться ці величини, якщо в результаті забруднення питомий поверхневий опір знизиться до значення ρ_s ?

№ запитання	50	51	52	53	54
Матеріал*	Поліхлорвініл	Поліетилен	Полістирол	Полі метил-метакрилат	Політетрафторетилен
d , мм	30	50	50	30	100
l , мм	100	50	50	100	10
U , кВ	2	4	4	2	4
ρ_s , Ом	10^{12}	10^{12}	10^{13}	10^{10}	10^{14}

* Характеристики матеріалів наведені в додатку, табл. Д-1

55-59. Визначте струм витікання та діелектричні втрати на постійній і змінній напрузі U частотою f для зразка з діелектричного матеріалу, виконаного у вигляді трубки довжиною l із зовнішнім діаметром d_2 , внутрішнім - d_1 . Електроди нанесені на внутрішню та зовнішню поверхні трубки.

№ запитання	55	56	57	58	59
Матеріал	Поліхлорвініл	Поліетилен	Полістирол	Поліметил-метакрилат	Політетрафторетилен
l , мм	50	100	150	10	10
d_1 , мм	30	20	50	100	100
d_2 , мм	20	10	30	80	50
U , кВ	5	3	10	5	5
f , Гц	10^3	10^6	10^3	10^4	10^6

60-64. Оцініть вплив температури T при її зміні від T_1 до T_2 на питомі діелектричні втрати плоского зразка політрихлормонофторетилену (фторопласту 3) товщиною h при частотах 10^3 і 10^6 Гц і вказаних у таблиці значеннях напруги.

№ запитання	60	61	62	63	64
h , мм	1	1,5	2	2,5	3
U , кВ	2	3	4	5	6
T_1 , °C	20	60	100	40	140
T_2 , °C	80	100	40	120	20

Діелектричні параметри матеріалу змінюються від температури так:

Параметр	Частота	Значення параметра при T , °C							
		20	40	60	80	100	110	120	140
ε	I кГц	2,8	2,9	3,0	3,08	3,15	3,16	3,2	3,25
	I МГц	2,7	2,7	2,7	2,75	2,8	2,88	2,95	3,1
$\text{tg}\delta$	I кГц	0,02	0,019	0,015	0,009	0,005	0,045	0,004	0,035
	I МГц	0,008	0,01	0,015	0,025	0,036	0,04	0,038	0,026

65-69. Визначить, нехтуючи поверхневою провідністю, питомий об'ємний опір і діелектричну проникність матеріалу зразка, що має форму диска, товщиною h та діаметром d , якщо відомі значення діелектричних втрат P_1 за постійної напруги та P_2 за змінної напруги частотою f .

№ запитання	65	66	67	68	69
h , мм	1	1,5	2	1,7	3
d , мм	20	200	50	100	150
P_1 , Вт	10^{-8}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
P_2 , Вт	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	0,3	10^{-2}
U , кВ	2	4	3	1	5
f , Гц	10^3	10^2	400	10^6	50
$tg\delta$	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-2}$

70-74. Діелектрик плоского конденсатора є механічною сумішшю двох матеріалів з хаотичним розподілом компонентів. Побудуйте графік залежності діелектричної проникності цієї суміші від об'ємного складу компонентів. За незалежну змінну прийміть об'ємний вміст одного з матеріалів у відносних одиницях.

№ запитання	70	71	72	73	74
Система діелектриків*	Поліетилен - нітрид кремнію	Поліетилен - слюда	Полістирол - корунд	Полістирол - рутил	Поліхлорвініл - повітря

*Електричні характеристики матеріалів наведено у табл. Д.1.

75-83. Між тонкими плоскими електродами вміщено пластинку діелектрика товщиною h . Діелектрична проникність цього матеріалу ϵ , теплопровідність λ , температура навколишнього середовища T . Визначте пробивну напругу пластинки при електротепловому пробі, нехтуючи перепадом температури в електродах, якщо частота прикладеної напруги f .

№ запитання	75	76	77	78	79	80	81	82	83
$tg\delta$ при 20° 50°	0,05 0,1	0,02 0,04	0,03 0,06	0,01 0,015	0,012 0,02	0,035 0,04	0,04 0,05	0,002 0,025	0,0022 0,0027
T , °C	50	25	30	30	10	25	30	15	20
λ , Вт/(м·К)	0,125	0,30	0,35	0,20	0,25	1,60	1,70	2,10	2,20
$h \cdot 10^2$, мм	18	20	22	24	26	28	30	32	34
E	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8
f , Гц	40	60	80	100	120	80	60	40	50

Значення функції $\phi(c)$ наведено в таблиці.

c	$\phi(c)$	c	$\phi(c)$	c	$\phi(c)$
0,010	0,040	0,09	0,123	1,0	0,37
0,015	0,050	0,10	0,130	1,5	0,43
0,020	0,065	0,15	0,160	2,0	0,46
0,055	0,100	0,20	0,180	4,0	0,54
0,060	0,103	0,40	0,260	4,5	0,55
0,070	0,110	0,60	0,300	5,0	0,56
0,080	0,118	0,90	0,360	9,0	0,60

84. Тепловий пробій діелектрика відбувається при напрузі, меншій за максимальну електричну міцність матеріалу. Запропонуйте заходи щодо підвищення стійкості електротехнічних виробів до теплового пробію.

85. Наявність газових порожнин в електроізоляційному матеріалі викликає його прискорене старіння та передчасний вихід виробів з ладу. Як, використовуючи тільки електричні вимірювання, виявити ці порожнини у матеріалі?

86. Відомо, що пробій діелектрика за нормальних обставин відбувається за тепловим механізмом. За яких умов стає можливим електричний пробій цього ж діелектрика?
87. Вам запропонували з групи невідомих електроізоляційних матеріалів вибрати неполярні діелектрики. Як це зробити, не вдаючись до електричних вимірювань?
88. Відомо, що електропровідність полярних і неполярних діелектриків викликається іонами домішок. Припустимо, що полярний і неполярний діелектрики мають рівну кількість домішок та забруднень. Чи матимуть вони рівні значення питомого об'ємного опору? Обґрунтуйте відповідь.
89. Кристалічний кварц (гірський криштал) переплавили в кварцове скло. Як при цьому змінилася електропровідність речовини?
90. Під час профілактичних робіт з оливонаповненими трансформаторами олива періодично підлягає рафінуванню (очищенню). З чим пов'язана необхідність цієї операції?
91. Електроізоляційні властивості пористих матеріалів значно погіршуються при підвищенні вологості зовнішнього середовища. У виробництві електроізоляційних конструкцій і конденсаторів з кераміки пориста кераміка є браком. Як, використовуючи трьохелектродну систему для вимірювання R_s та R_v , виконати відбракування пористої кераміки?
92. Що називається вологістю, гігроскопічністю, змочуваністю, вологопроникністю діелектричних матеріалів? Як визначаються гігроскопічність і вологопроникність? Наведіть приклади діелектриків з малими та великими гігроскопічністю і вологопроникністю.
93. Які електроізоляційні матеріали мають високу гігроскопічність і чому? Як на практиці добиваються зменшення гігроскопічності?
94. Назвіть класи нагрівостійкості електричної ізоляції за діючим стандартом і матеріали, що належать до кожного класу. Як визначається температурний індекс і профіль нагрівостійкості ізоляційних матеріалів?
95. Що розуміють під радіаційною стійкістю ізоляційних матеріалів? Як впливає радіоактивне опромінювання на електричні, механічні та теплові властивості діелектриків?
96. Яке практичне значення мають теплопровідність, термостійкість, стійкість до термоудару та температурний коефіцієнт розширення електроізоляційних матеріалів? В яких одиницях вони вимірюються? Наведіть приклади діелектриків, що мають найбільший і найменший температурний коефіцієнт розширення.
97. Дайте характеристику електроізоляційним властивостям повітря та особливостям його застосування для електричної ізоляції.
98. Назвіть гази, які мають підвищену порівняно з повітрям електричну міцність, укажіть їхні основні особливості та області застосування. Дайте характеристику вакууму як діелектрика.
99. Назвіть головні природні та синтетичні рідинні електроізоляційні матеріали, вкажіть їхні властивості, особливості та основні області застосування.
100. Коротко опишіть процес виробництва та вимоги до електроізоляційних нафтових олив. Які фактори викликають, прискорюють і сповільнюють старіння нафтових олив?
101. Опишіть властивості штучних рідких діелектриків, порівняйте їх з властивостями трансформаторної оливи.

102. Наведіть приклади, вкажіть основні властивості та назвіть області застосування рідких кремнійорганічних і фторорганічних електроізоляційних матеріалів.
103. Наведіть класифікацію твердих діелектриків за різними критеріями. Коротко охарактеризуйте особливості та області застосування твердих діелектриків.
104. Укажіть особливості та області застосування слюди мусковіту та флогопіту. Назвіть основні групи матеріалів на основі слюд і способи їхнього виготовлення; Опишіть їхні властивості та області застосування.
105. Наведіть класифікацію електроізоляційного скла за хімічним складом і використанням. Як поліпшують електроізоляційні властивості лужного скла?
106. Охарактеризуйте використання скла для виготовлення ізоляції повітряних ліній електропередач і порівняйте скляні і фарфорові ізолятори. Як здійснюється загартування скла?
107. Які матеріали називаються керамічними? Укажіть найважливіші типи керамічних електроізоляційних матеріалів та області їхнього застосування.
108. Коротко опишіть процес виробництва, властивості електротехнічного фарфору та його використання. З якою метою глазурують фарфор?
109. Чим пояснюється техніко - економічна доцільність максимального поширення виробництва та використання синтетичних полімерів? Які недоліки має їх впровадження?
110. Які речовини називають полімерами. Опишіть різницю між лінійними та просторовими полімерами. Наведіть приклади вказаних типів полімерів, охарактеризуйте їхні основні властивості.
111. У чому полягає різниця між процесами полімеризації та поліконденсації? Наведіть приклади діелектриків, одержаних з допомогою полімеризації та поліконденсації, опишіть їхні властивості.
112. Охарактеризуйте різницю між термопластичними та термореактивними смолами. Наведіть приклади термопластичних і термореактивних смол, коротко опишіть їхні основні властивості.
113. Опишіть властивості і області застосування неполярних полімерних діелектриків.
114. Опишіть властивості і області застосування полярних полімерних діелектриків.
115. Опишіть найважливіші види гнучких плівок, їхні властивості. В яких областях електроізоляційної техніки вони застосовуються?
116. Наведіть приклади воскоподібних діелектриків, опишіть їхні властивості та області застосування.
117. У чому полягає різниця між смолами та воскоподібними діелектриками? Для чого застосовуються електроізоляційні смоли в електротехніці?
118. Опишіть природні смоли і вкажіть області їхнього використання у електроізоляційній техніці,
119. Опишіть властивості та застосування поліамідних смол.
120. Як одержують термопластичні та термореактивні фенолоформальдегідні смоли? Наведіть приклади вказаних смол та їхні основні параметри. Для чого вони використовуються в електротехніці?

121. Опишіть властивості й особливості, наведіть приклади поліефірних смол. Де вони застосовуються?
122. Опишіть особливості та області застосування епоксидних смол.
123. Укажіть основні види твердих кремнійорганічних матеріалів. Основні властивості та області застосування кремнійорганічних матеріалів в електро- і радіотехніці.
124. Дайте загальну характеристику пластичних мас. Які смоли широко застосовуються при виготовленні пластмас? Наведіть приклади пластмас і вкажіть їхні властивості.
125. Наведіть короткий опис основних складових частин технології виготовлення пластичних мас. Дайте обґрунтування економічної доцільності їхнього виготовлення. Укажіть особливості пластмас без наповнювачів.
126. Дайте характеристику основних видів електроізоляційних шаруватих пластмас, наведіть їхні властивості та назвіть області застосування.
127. Як ви розумієте суть процесу висихання рослинних олій? Які олії можуть полімеризуватися? Як можна прискорити процес висихання олій?
128. Дайте загальну характеристику, наведіть класифікацію електроізоляційних лаків і опишіть області їхнього застосування.
129. Охарактеризуйте вимоги, що ставляться до просочувальних, клейких та покривних лаків. Наведіть приклади лаків кожної групи. Опишіть способи сушіння лаків.
130. Опишіть властивості бітумів і термопластичних компаундів. У яких областях електроізоляційної техніки вони використовуються? Як можна підвищити і понизити температуру розм'якшення бітуму?
131. Дайте характеристику призначенню, складу, властивостей компаундів на основі термореактивних смол.
132. Які матеріали застосовуються для модифікації компаундів і які властивості вони надають компаундам?
133. Опишіть переваги та недоліки волокнистих електроізоляційних матеріалів (органічних і неорганічних). Наведіть приклади та опишіть властивості цих матеріалів.
134. Опишіть різні види електроізоляційних паперів і картону, охарактеризуйте їхні властивості та вкажіть області застосування.
135. Охарактеризуйте властивості та вкажіть області застосування паперовооливної і оливо-бар'єрної ізоляцій.
136. Опишіть синтетичні та штучні волокна і види лакотканин, їхні властивості, вкажіть області застосування.
137. Опишіть процеси виготовлення гетинаксу і текстоліту, наведіть їх порівняльні характеристики, укажіть області їхнього застосування.
138. Дайте загальну характеристику еластомерів. У чому суть процесу вулканізації каучуку? Опишіть властивості гуми, ебоніту та ескапону.
139. Наведіть приклади керамічних матеріалів установочної та конденсаторної груп, укажіть їхні властивості та області застосування.
140. Дайте коротку характеристику високостійких до нагрівання матеріалів на основі азбесту та керамічних діелектриків.

141. Яка ізоляція називається оксидною, як вона виготовляється на різних металах і сплавах? Де використовується?

142. Назвіть і опишіть найважливіші види високочастотних керамічних матеріалів, укажіть їхні особливості та області застосування.

143. Наведіть приклади, охарактеризуйте особливості та укажіть області застосування низькочастотних керамічних матеріалів з високою діелектричною проникністю.

144. Дайте коротку характеристику властивостей і можливостей застосування нецентросиметричних активних діелектриків (піро-, п'єзо - та сегнетоелектриків).

145. Опишіть методи виготовлення, властивості та застосування електретів.

146. Охарактеризуйте властивості і сферу застосування оптично активних діелектриків (люмінофори, матеріали для активних елементів лазерів).

147 – 152. Порівняйте розміри та масу 1 км алюмінієвого дроту з площею перерізу 6 мм² та біметалевого дроту сталь-мідь (сталь - осердя), які мають однакову провідність. Прийняти площу перерізу міді у біметалевому дроті згідно з номером задачі за таблицею.

<i>№ запитання</i>	147	148	149	150	151	152
Переріз міді відносно сталі, %	100	80	60	50	40	20

153-158. Визначте розміри (діаметр, площу перерізу) і масу біметалевого дроту сталь-мідь, призначеного для заміни 1 км мідного дроту з площею перерізу 10 мм², який має таку саму провідність. Площу перерізу міді в біметалі згідно з номером задачі взяти за таблицею.

<i>№ запитання</i>	153	154	155	156	157	158
Переріз міді відносно сталі, %	100	80	60	50	40	20

Параметри матеріалів наведено у табл. Д.2.

159-164. Нехтуючи ТК лінійного розширення, визначте довжину дроту, потрібного для виготовлення електронагрівального елемента, якщо при напрузі 220 В відомі його робоча температура і потужність за цієї температури. Визначте зміну опору нагрівача відносно кімнатної температури.

<i>№ запитання</i>	159	160	161	162	163	164
Потужність нагрівача, Вт	500	50	400	400	1000	1500
Робоча температура, °С	600	300	300	800	1000	1200
Діаметр дроту, мм	1,0	0,1	0,3	0,3	2	2
Матеріал	X13Ю4	X15Н60	Константан	X20Н80	X20Н80	X23Ю5

165-174. Визначте значення термоЕРС, яка виникає у колі, де є контакти міді з іншим металом при заданому перепаді температур між гарячим і холодним контактами.

<i>№ запитання</i>	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174
Контактний матеріал	Al	W	Fe	Au	Mo	Ni	Sn	Pt	Ta	Ti
Перепад температур, К	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

175-187. Дайте означення та опишіть область застосування провідникових матеріалів заданої групи. Які вимоги ставлять до них. Наведіть параметри типових матеріалів цієї групи.

<i>Номер задачі</i>	<i>Провідниковий матеріал</i>	<i>Номер задачі</i>	<i>Провідниковий матеріал</i>
175	Жаростійкий	182	Композиційний
176	Контактний	183	Біметалевий
177	Резистивний	184	Електротехнічний припій
178	Високого опору	185	Вугільний
179	Високої провідності	186	Електродний
180	Кріопровідниковий	187	Тензорезистивний
181	Надпровідниковий		

188. Опишіть термоелектричний ефект Зеебека та його області застосування. Наведіть параметри основних матеріалів для термопар.

189. Сплави міді манганін і константан мають близькі значення ρ . Чому манганін практично не створює термопару з міддю, а константан дає з міддю значну термоЕРС?

190. Опишіть вплив температури на електропровідність чистих металів. Які метали використовуються для виготовлення термометрів опорів?

191. Наведіть характеристики міді в залежності від технології обробки та складу, опис властивостей міді та її сплавів і їх застосування.

192. У виробництві мідних дрітків і жил на кабельних заводах після волочіння звичайно передбачають операцію відпалу. Чому?

193. Наведіть характеристики алюмінію в залежності від технології обробки та складу, опишіть властивості алюмінію та його сплавів і їх застосування.

194. Назвіть і опишіть матеріали з високим питомим опором. Чому сплави мають більші значення питомого об'ємного опору, але менші значення TKr порівняно з чистими металами?

195. Відомо, що срібло має найбільшу провідність порівняно з іншими металами. Як зміниться питомий опір міді, якщо в її об'єм ввести незначну кількість срібла?

196. Як визначити належність провідника до матеріалів високої провідності або високого опору, не маючи можливості розрахувати його питомий опір.

197. Для визначення наявності домішок у металі звичайно застосовують спеціальний аналіз, для проведення якого необхідно мати коштовну оптичну установку. Як визначити наявність у металі домішок за електричними вимірюваннями?

198. Дайте характеристику впливу механічної напруги на електропровідність провідникових матеріалів. Як це явище використовують у техніці?

199. Опишіть поведінку провідників на високих частотах і поясніть скін-ефект. Які матеріали використовуються у діапазоні СВЧ? Наведіть їхні основні характеристики.

200. Дайте означення і опишіть області застосування контактів. Наведіть їхні основні характеристики.

201. Опишіть явище надпровідності. Наведіть параметри основних надпровідникових матеріалів та області їх застосування. Охарактеризуйте особливості високотемпературних надпровідників.

202. Класифікація напівпровідників і загальна характеристика сфер застосування однорідних напівпровідникових матеріалів і напівпровідників з p-n переходом.

203. Електронна і діркова електропровідність власних і домішкових напівпровідників.
204. Вплив температури на електропровідність напівпровідників. Терморезистори, термістори, позистори.
205. Термоелектричні явища в напівпровідниках: ефекти Зеебека, Пельтьє, Томпсона. ТермоЕРС.
206. Польові ефекти в напівпровідниках: тунельний ефект, термоелектронна, електростатична і ударна іонізація. Лавинний і тепловий пробої напівпровідників.
207. Фотоелектричні явища в напівпровідниках: поглинання світла, довгохвильова границя, фотоефект і фотоелементи, вплив світла на електропровідність напівпровідників і фоторезистори.
208. Тензорезистивний ефект в напівпровідниках. Магніторезистивний ефект і ефект Холла.
209. Контактні явища в напівпровідниках. Використання р-n переходу в напівпровідникових приладах.
- 210-218. Визначте довгохвильовий край фотопровідності заданого власного напівпровідника і охарактеризуйте область застосування фоторезисторів на його основі.

<i>Номер задачі</i>	210	211	212	213	214	215	216	217	218
Матеріал	GaP	Si	Ge	Se	InSb	HgSe	CdS	PbS	PbSe

Характеристики матеріалів наведено у табл. Д.4.

- 219-229. Побудуйте залежність температурного коефіцієнта питомого об'ємного опору напівпровідників від температури в діапазоні від 270 до 400 К.

<i>Номер задачі</i>	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229
Матеріал	Si	HgSe	Ge	GaP	SiC	InP	InSb	Se	GaAs	CdS	PbS

- 230 - 236. Опишіть властивості напівпровідникових матеріалів і можливу область їхнього застосування.

<i>Номер задачі</i>	230	231	232	233	234	235	236
Матеріал	Si	Ge	SiC	GaAs	InSb	GaP	CdS

- 237-246. Знайти магнітні втрати на вихрові струми і перемагнічування для осердя трансформатора на частоті f_1 , якщо сумарні втрати на вихрові струми і гістерезис на частотах f_1 і f_2 дорівнюють наведеним в таблиці.

<i>Номер задачі</i>	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246
f_1 , Гц	20	20	50	50	50	100	100	400	400	400
$P_{\text{сум}}$, Вт	120	120	90	80	70	95	100	80	90	140
f_2 , Гц	40	100	100	150	200	200	150	600	800	1000
$P_{\text{сум}}$, Вт	280	1000	240	420	520	240	180	135	210	650

- 247-261. Визначте склад заданого магнітотвердого матеріалу і за кривою розмагнічування обчисліть та побудуйте залежність магнітної індукції від магнітної енергії.

<i>Номер задачі</i>	<i>Марка</i>	<i>Параметр</i>	<i>Значення H, кА/м та B, Тл</i>						
247	1НД4	H	0	10	20	30	40		
		B	0,05	0,53	0,34	0,21	0		
248	1НДК15	H	0	10	20	30	40		
		B	0,75	0,67	0,56	0,42	0,2		
249	1НДК24	H	0	10	20	30	40		
		B	1,23	1,22	1,17	1,03	0,8		
250	0,7БІ	H	0	40	80	120	130		
		B	0,18	0,15	0,09	0,02	0		
251	1БІ	H	0	40	80	120	160		
		B	0,22	0,18	0,12	0,07	0		
252	3БА	H	0	40	80	120	160		
		B	0,3	0,25	0,2	0,12	0,05		
253	ЕХ	H	1	2	3	4	5		
		B	1,05	1,0	0,92	0,84	0,65		
254	Е7В6	H	0	1	2	3	4	5	5,5
		B	1,1	1,05	0,98	0,90	0,75	0,35	0
255	1,5ФК	H	0	20	40	60	80	100	120
		B	0,26	0,23	0,2	0,17	0,14	0,1	0,06
256	ММК1	H	0	5	10	20	25	30	35
		B	0,48	0,46	0,42	0,34	0,28	0,2	0,1
257	ЮНДК2 4Б	H	0	10	20	30	40	50	55
		B	1,23	1,22	1,2	1,15	1,08	0,8	0
258	ЮНДК2 5А	H	0	10	20	30	40	44	48
		B	1,41	1,31	1,29	1,26	1,21	1,17	1,09
259	ЮНДК3 5Т5	H	0	20	40	60	80	100	110
		B	1,06	1,02	0,98	0,93	0,86	0,72	0,55
260	ЮНДК1 8С	H	0	10	20	34	38	40	42
		B	1,27	1,24	1,2	1,05	0,94	0,84	0,67
261	ММК10	H	0	20	40	50	60	70	80
		B	0,8	0,73	0,63	0,57	0,5	0,43	0,32

262-280. Дайте визначення, опишіть основні властивості, наведіть параметри типових представників і назвіть області застосування заданих матеріалів:

<i>№</i>	<i>Назва класу матеріалів</i>	<i>№</i>	<i>Назва класу матеріалів</i>
262	Ферити з прямокутною петлею гістерезису	272	Електротехнічні сталі
263	Феромагнетики з постійною проникністю	273	Пермалої
264	Ферити з великою магнітострикцією	274	Альсіфери
265	Ферити з малою коерцитивною силою	275	Леговані мартенситові сталі

266	Надвисокочастотні ферити	276	Ливарні висококоерцитивні сполуки
267	Феромагнетики з прямокутною петлею гістерезису	277	Металокерамічні магніти
268	Магнітодіелектрики	278	Металопластичні магніти
269	Магнітотверді ферити	279	Металеві та неметалеві матеріали для звукозапису
270	Термомагнітні матеріали	280	Залізо
271	Феромагнетики з великою магнітострикцією		

281. Опишіть явище магнітострикції. Як воно використовується у техніці? Наведіть поширені магнітострикційні матеріали та їхні параметри.

282. Опишіть механізм впливу частоти магнітного поля на магнітні властивості матеріалу та шляхи розширення частотного діапазону застосування матеріалів.

283. Опишіть явище гістерезису у магнітних матеріалах. Як використовується гістерезис у техніці? Як понизити втрати на гістерезис?

284. Опишіть механізм впливу температури на магнітні властивості феромагнетиків. Яка є можливість понизити вплив температури на характеристики магнітопроводу?

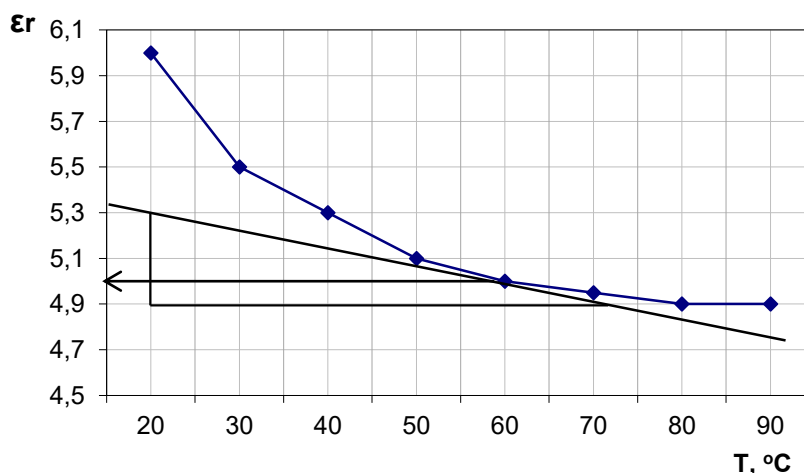
285. Опишіть причини магнітних втрат у матеріалі. Покажіть основні шляхи їхнього зниження, проілюструйте все прикладами.

286. Охарактеризуйте вплив механічних напруг і структури речовини на її магнітні властивості.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ”

Задачі 17-21. Температурний коефіцієнт відносної діелектричної проникності $TK\epsilon$ можна обчислити графічним методом за графіком $\epsilon(T)$. Тангенс кута нахилу дотичної, проведеної до кривої в точці $T = T_{розр}$, розраховується за відношенням катетів $K_{0y} = \epsilon(T_2) - \epsilon(T_1)$ і $K_{0x} = T_2 - T_1$ довільного прямокутного трикутника, утвореного прямими, паралельними осям координат і дотичною (див. графік), що відповідає першому діленню в формулі (1), а $TK\epsilon$ діленням його на $\epsilon(T_{розр})$ – це відповідає другому діленню в формулі (1).

$$TK\epsilon(T) = (\epsilon(T_2) - \epsilon(T_1)) / (T_2 - T_1) / (\epsilon(T_{розр})). \quad (1)$$



Для прикладу розглянемо порядок розрахунку $TK\epsilon$ при температурі 60°C, якій за графіком відповідає відносна діелектрична проникність $\epsilon=5$. Використовуючи дотичну до кривої $\epsilon(T)$ в точці 60°C як гіпотенузу, будемо **довільний** прямокутний трикутник, наприклад з катетами (20°, 4.9) – (20°, 5.3) і (20°, 4.9) – (72°, 4.9). Тоді розрахунок за формулою (1) для $T = 60^\circ\text{C}$ з врахуванням того, що за трикутником $\epsilon(20^\circ)=5.3$; $\epsilon(72^\circ)=4.9$; $\epsilon(60^\circ)=5$ маємо

$$TK\epsilon(60^\circ) = (4.9 - 5.3)/(72^\circ - 20^\circ) / 5 = -1.54 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Відповідні розрахунки повторюємо для кожної вибраної точки. Після розрахунку всіх $TK\epsilon$ будемо графік $TK\epsilon(t^\circ)$. Не забувайте, що $TK\epsilon$ це нормована похідна, і має той самий знак, що і похідна від функції.

Задачі 45-49. Для розв'язування цих задач необхідно скористатися законом Ома для струму витoku і виразами для діелектричних втрат при постійній і змінній напругах (формули 2, 3)

$$I_- = U/R, \quad P_- = U I \quad (2)$$

$$I_{\sim} = U\omega C, \quad P_{\sim} = U^2\omega C \text{tg}\delta \quad (3)$$

де R – омичний опір зразка матеріалу; C – його ємність; $\text{tg}\delta$ – тангенс кута діелектричних втрат; ω , U , I – частота, напруга і струм в матеріалі.

Для використання записаних формул необхідно попередньо обчислити значення опору і ємності зразка матеріалу за формулами (4 – 7)

$$R_s = \rho_s/4 \text{ (обґрунтуйте в роботі, чому } R_s = \rho_s/4?); \quad (4)$$

$$R_v = \rho_v/a; \text{ (поясніть, чому } R_v = \rho_v/a), \quad (5)$$

$$R = R_s R_v/(R_s + R_v); \quad (6)$$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r a \text{ (чому з лінійних розмірів залишається тільки } a?), \quad (7)$$

а значення ρ_v , ρ_s , ε_r і $\operatorname{tg} \delta$ для відповідних варіантів матеріалів взяти з табл. Д1.

Наприклад, для фторопласту-3 маємо

$$\rho_v = 5 \cdot 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{м}, \rho_s = 5 \cdot 10^{17} \text{ Ом}, \varepsilon_r = 2.9 \text{ і } \operatorname{tg} \delta = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ (середні значення),}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Якщо $U = 1000 \text{ В}$, $\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$ ($f = 50 \text{ Гц}$), $a = 0.1 \text{ м}$, то

$$R_v = 5 \cdot 10^{16} \text{ Ом}, R_s = 2.5 \cdot 10^{16} \text{ Ом}, R = 1.67 \cdot 10^{16} \text{ Ом}, C = 2.57 \cdot 10^{-11} \text{ Ф},$$

$$\text{Тоді для постійної напруги :} \quad I_- = 6 \cdot 10^{-14} \text{ А}, \quad P_- = 6 \cdot 10^{-11} \text{ Вт},$$

$$\text{для змінної :} \quad I_{\sim} = 8.06 \cdot 10^{-6} \text{ А}, \quad P_{\sim} = 1.21 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}.$$

Не забувайте, що **частота f задається в Гц**, але при обчисленні потужності втрат при змінній напрузі **використовують кругову частоту $\omega = 2\pi f$** .

Задачі 50-54. Коли стрижень покривають шаром лаку, то його поверхневий опір стає "внутрішнім" і не враховується, а поверхневий опір покритого стрижня визначається **тільки поверхневим опором лакової плівки**. Тому при розрахунках загальних опорів, що складаються з паралельно включених об'ємного і поверхневого опорів діелектрика, використовуються поверхневі опори при першому розрахунку стрижня і при другому - лаку. Об'ємний опір залишається незмінним.

Задачі 55-59. Задачі аналогічні задачам 45 – 49, тільки форма зразка інша.. Слід мати на увазі, що для циліндричної конструкції з внутрішнім радіусом r_1 і зовнішнім r_2 маємо:

$$R_v = \frac{\rho_v}{2\pi l} \lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right); C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r l}{\lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}; R_s = \frac{\rho_s}{2\pi} \lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right). \quad (8)$$

Як отримати ці формули з формул для плоского зразка, використовуючи визначені інтеграли?

Параметри діелектриків наведені у додатку Д1.

Задачі 60-64. В завданні потрібно обчислити за формулою для питомих діелектричних втрат $P(t_2)$ і $P(t_1)$ при 10^3 і 10^6 Гц і знайти відношення $P(t_2)/P(t_1)$ при кожній з частот.

Задачі 65-69. Виходячи з

$$P_- = U^2/R_v \text{ і } R_v = 4\rho_v h/(\pi d^2), \quad (9)$$

$$\text{розраховуємо} \quad R_v = U^2/P_-, \text{ а потім } \rho_v = \pi d^2 R_v/(4h), \quad (10)$$

$$\text{аналогічно із} \quad P_- = U^2 w \operatorname{tg} \delta \text{ і } C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \pi d^2/(4h), \quad (11)$$

$$\text{маємо} \quad C = P_-/(U^2 w \operatorname{tg} \delta) \text{ і } \varepsilon_r = 4hC/(\varepsilon_0 \pi d^2). \quad (12)$$

Задачі 70-74. Використайте логарифмічну формулу Ліхтенекера

$$\ln(\varepsilon_{r\text{сум}}) = c_1 \ln(\varepsilon_{r1}) + c_2 \ln(\varepsilon_{r2}) \quad (13)$$

За незалежну змінну c_1 візьміть відносну концентрацію (від 0 до 1) неорганічного наповнювача. Пам'ятайте, що $c_2 = 1 - c_1$.

Задачі 75-83. При тепловому пробіі плоского діелектрика пробивна напруга

$$U_{\text{пр}} = 3,82 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{\lambda}{\alpha f \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_0}} \varphi(c) \quad (14)$$

де ε_r , $\operatorname{tg} \delta_0$ - характеристики діелектрика при температурі навколишнього середовища; α - стала, що характеризує зростання $\operatorname{tg} \delta$ з температурою; c - параметр, що характеризує умови відведення теплоти від діелектрика у зовнішнє середовище. Прийнято, що $\operatorname{tg} \delta$ зростає з температурою за експоненціальним законом:

$$\operatorname{tg} \delta(T_2) = \operatorname{tg} \delta(T_1) \exp(\alpha(T_2 - T_1)). \quad (15)$$

При розв'язуванні контрольних задач значення ε_r задається за умовою задачі і вважається сталим. Сталу α , виходячи з температурної залежності $\operatorname{tg} \delta$ можна визначити так:

$$\alpha = \frac{\ln(\operatorname{tg} \delta(50^\circ) / \operatorname{tg} \delta(20^\circ))}{30^\circ}, \quad (16)$$

(тільки, будь-ласка, *не переводьте теплові градуси в геометричні радіани*, бо це величини з абсолютно різних предметів).

Для плоских зразків, якщо знехтувати товщиною електродів можна прийняти

$$c = \frac{\sigma h}{2\lambda} \quad (17)$$

де λ - теплопровідність діелектрика; h - його товщина; σ - коефіцієнт тепловіддачі теплоти у зовнішнє середовище, для повітря $\sigma = 13$ Вт/м.

Для обчислення проміжних значень $\varphi(c)$, якщо розраховане значення c не дорівнює значенню, для яких приведено значення φ в таблиці, рекомендується застосовувати лінійну інтерполяцію, для чого спочатку записуємо рівняння прямої, що проходить через найближчі до розрахованої точки c , а потім в отримане рівняння підставляємо розраховане c . Кутовий коефіцієнт прямої між двома точками $c_{\bar{}}$ (найближче c , більше за розраховане c_{Π}) і $c_{\text{м}}$ (найближче c , менше за розраховане c_{Π}) дорівнює

$$k = \frac{\varphi(c_{\bar{}}) - \varphi(c_{\text{м}})}{c_{\bar{}} - c_{\text{м}}}, \quad (18)$$

а $\varphi(c)$ тоді можна обчислити за формулою

$$\varphi(c) = kc + \varphi(c_{\text{м}}) - kc_{\text{м}} \quad (19)$$

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ”

Задачі 147-158. Для розв'язування задач необхідно змодельовати біметалевий дріт паралельним з'єднанням двох опорів, які відповідають сталі і міді. Тоді

$$R_6 = R_c R_m / (R_c + R_m); \quad R_m = \rho_m l / S_m; \quad R_c = \rho_c l / S_c; \quad (20)$$

$$S_6 = S_m + S_c, \quad c = D_{\text{відн}} / 100, \quad S_m = c S_6 / (1 + c), \quad S_c = S_6 / (1 + c), \quad (21)$$

де $D_{\text{відн}}$ - переріз міді відносно сталі.

На першому кроці знаходимо для задач **147-152** $R_a = \rho_a l / S_a = R_6$

а для задач **153-158** $R_m = \rho_m l / S_m = R_6$ (згідно з умовою).

Якщо тепер підставити значення S_m і S_c (формула 21) в R_m і R_c (формула 20), а потім R_m і R_c в R_6 (формула 20) (**підставте!**) і прирівняти R_6 до вихідних значень опорів R_a чи R_m , то після підстановки чисельних значень заданих параметрів (див. також табл. Д3) отримаємо просте рівняння відносно S_6 . По S_6 потім знаходимо S_m і S_c .

Маса алюмінієвого дроту в задачах 147-152 знаходиться за формулою

$$M_a = d_a S_a l, \quad (22)$$

де d_a – густина алюмінію, l довжина дроту.

Аналогічно за відповідними формулами знаходять M_m і M_c .

У відповіді наводяться S_6 , S_m і S_c , а також M_6 , M_m і M_c .

Задачі 159-164. Потужність нагрівача при постійній підведеній напрузі змінюється з температурою через залежність опору матеріалу від температури. З її врахуванням

$$P = U^2 / (R_0 (1 + \alpha (T - T_0))), \quad (23)$$

де α - температурний коефіцієнт опору матеріалу нагрівача (табл. Д2), $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Обчисливши за перетвореною формулою R_0 і взявши $\rho = \rho_0$, що наведене в табл. Д2 для заданого матеріалу, можна знайти довжину дроту $h = \pi d^2 R_0 / 4 \rho_0$.

Задачі 165-174. Питома термоЕРС на контакті двох металів дорівнює алгебраїчній різниці з врахуванням знаків абсолютних термоЕРС, що наведені в додатку Д2.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ „НАПІВ-ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ”

Задачі 202-209, 219-229. Потрібно використати формулу, яка зв'язує температурний коефіцієнт опору ТКО і ширину забороненої зони W

$$\text{ТКО} = - W/kT^2. \quad (24)$$

Звідси

$$W = - kT^2 \cdot \text{ТКО}. \quad (25)$$

Не потрібно переводити сталу $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ еВ/К в Дж/К, бо енергія активації визначається в еВ.

Задачі 210-218. Довгохвильовий край електропровідності напівпровідника пов'язаний з шириною забороненої зони співвідношенням

$$\lambda_0 (\text{мкм}) = 1,24 / \Delta W (\text{еВ}). \quad (26)$$

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛУ "МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ"

Задачі 237-246. Втрати на вихрові струми і гістерезис можна записати у вигляді $P_{ec} = Af^2$; $P_e = Bf$. Тоді записавши систему рівнянь для двох частот

$$\begin{aligned} Af_1^2 + Bf_1 &= P_{сум1} \\ Af_2^2 + Bf_2 &= P_{сум2} \end{aligned}$$

і розв'язавши її відносно A і B , знаходимо P_{ec} і P_e .

Задачі 247-261. Спочатку розрахуйте $W=BH/2$, а потім будуйте графік $B(W)$.

ВИБІР ВАРІАНТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Номер варіанта контрольної роботи вибирається за табл. Д1Т за номером студента в списку групи. В кожному варіанті пропонується приблизно по 5 теоретичних питань, з яких потрібно написати реферат, і 5 задач.

Таблиця Д1Т

№ варіанту	Номер запитання									
1	17	44	74	1	84	147	202	237	175	230
2	18	45	75	2	85	148	203	238	176	231
3	19	46	76	3	86	149	204	239	177	232
4	20	47	77	4	87	150	205	240	178	233
5	21	48	78	5	88	151	206	241	179	234
6	64	49	79	6	89	152	207	242	180	235
7	65	50	80	7	90	153	208	243	181	236
8	66	51	81	8	91	154	209	244	182	262
9	67	52	82	9	92	155	210	245	183	263
10	68	53	83	10	93	156	211	246	184	264
11	69	54	74	11	94	157	212	247	185	265
12	70	55	75	12	95	158	213	248	186	266
13	71	56	76	13	96	159	214	249	187	267
14	72	57	77	14	97	160	215	250	188	268
15	73	58	78	15	98	161	216	251	189	269
16	17	59	79	16	99	162	217	252	190	270
17	18	60	80	22	100	163	218	253	191	271
18	19	61	81	23	101	164	219	254	192	272
19	20	62	82	24	102	165	220	255	193	273
20	21	63	83	25	103	166	221	256	194	274
21	64	44	74	26	104	167	222	257	195	275
22	65	45	75	27	105	168	223	258	196	276
23	66	46	76	28	106	169	224	259	197	277
24	67	47	77	29	107	170	225	260	198	278
25	68	48	78	30	108	171	226	261	199	279
26	64	49	79	31	109	172	227	261	200	280
27	65	50	80	32	110	173	228	260	201	281
28	66	51	81	33	111	174	229	259	230	282
29	67	52	82	34	112	166	202	258	231	283
30	68	53	83	35	113	167	202	257	232	284
31	69	54	82	36	114	168	203	256	233	285
32	70	55	83	37	115	147	204	255	234	286

ДОВІДНИКОВІ ДАНІ

Фізичні сталі

Електрична стала $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

Магнітна стала $\epsilon_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Стала Больцмана $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ еВ/К

Число Авогадро $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Таблиця Д1. Основні електричні параметри ряду електроізоляційних матеріалів

Назва матеріалу	ϵ_r при 50 Гц	ρ_v , Ом · м	ρ_s , Ом	$\text{tg}\delta$ при 50 Гц
Поліетилен	2,3...2,4	$10^{14} \dots 10^{15}$	10^{14}	$(1 \dots 5)10^{-4}$
Полістирол	2,4...2,6	$10^{14} \dots 10^{15}$	10^{15}	$(1 \dots 3)10^{-4}$
Політетрафторетилен	1,9...2,2	$10^{15} \dots 10^{16}$	10^{17}	$(1 \dots 2)10^{-4}$
Політрифтормонохлоретилен	2,3...3,5	$10^{15} \dots 10^{16}$	10^{17}	$(1 \dots 2)10^{-2}$
Поліхлорвініл	3,5	$10^{13} \dots 10^{14}$	$10^{13} \dots 10^{14}$	$(3 \dots 8)10^{-2}$
Поліметилметакрилат	3,5...4,5	$10^{11} \dots 10^{12}$	$10^{11} \dots 10^{12}$	$(2 \dots 8)10^{-2}$
Слюда	5...8	$10^{11} \dots 10^{14}$	$10^{10} \dots 10^{14}$	$(4 \dots 80)10^{-4}$
Корунд	10	$10^{14} \dots 10^{15}$	$10^{13} \dots 10^{14}$	$(1 \dots 5)10^{-4}$
Рутил	110	$10^9 \dots 10^{10}$	10^{10}	$(8 \dots 20)10^{-4}$
Нітрид кремнію	9	$10^{10} \dots 10^{15}$	$10^{11} \dots 10^{12}$	$(5 \dots 20)10^{-4}$

Таблиця Д.2 Характеристики металів

Елемент	Параметр			
	ρ , мкОм · м	Густина, г/см ³	Атомна маса	Абсолютна термоЕРС, мкВ/К
Залізо	0,097	7,87	55,8	+16,6
Вольфрам	0,055	19,3	183,8	+2,0
Золото	0,0225	19,3	197	+1,5
Молібден	0,05	10,2	96	+6,3
Нікель	0,068	8,96	98,7	-19,3
Олово	0,113	2,29	116,6	-1,1
Платина	0,0981	21,45	195	-5,1
Тантал	0,124	16,6	181	-2,5
Титан	0,47	4,52	48	+4,5
Алюміній	0,0265	2,7	27	-1,3
Мідь	0,0168	8,92	63,5	+1,8

Таблиця Д3. Характеристики провідникових сплавів

Марка сплаву	Параметр		
	ρ , мкОм · м	$\text{TK}\rho \cdot 10^6$, К ⁻¹	$t_{\text{доп}}$, °С
Константан	0,48...0,52	5...25	450...500
X13Ю4	1,20...1,34	100...120	900
X15Н60	1,10...1,20	100...200	1000
X20Н80	1,0...1,1	100...200	1100
X23Ю5	1,3...1,5	65	1200

Таблиця Д.4 Ширина забороненої зони напівпровідникових матеріалів

Матеріал	Ge	Si	SiC	Se	InSb	HgSe	CdS	PbS	PbSe	GaAs	GaP	InP
W при 20 °С	0,67	1,12	3,1	1,7	0,18	0,12	2,53	0,41	0,27	1,43	2,25	1,28

Список літератури

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 електро-мобільність», «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 (Електротехнічні матеріали). Підручник. – К.: "Дельта", 2008 р. 516 с.
3. Конструкційні та функціональні матеріали / Бабак В.П., Байса Д.Ф., Різак В.М., Філо-ненко С.Ф. У двох частинах. – К.: Техніка. – Ч.1, 2003.– 344 с.; ч.2, 2004. – 368 с.
4. 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.
5. О.Ю. Юрченко, Г.В. Барсукова, А.В. Чепіжний, Г.А. Тимошенко // Монтаж електрообладнання і систем керування. Монтаж щитів керування електричними двигунами // Навчально-методичний посібник для здобувачів освіти 2, 1 с.т. курсів спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» інженерно-технологічного факультету денної та заочної форми навчання, СВО «бакалавр». – Суми: СНАУ, 2023. – 144 с. (Навчально-методична рада СНАУ протокол № 2 від 12.12.2023 р., Вчена рада СНАУ протокол № 8 від 27.12.2023 р.)