

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра електроенергетики, електротехніки та
електромеханіки**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних завдань та самостійної роботи
з дисципліни**

***«ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНІКА ВИСОКИХ
НАПРУГ»***

Харків – 2021

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 28 травня 2021 р., протокол № 12.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітніх програм «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології», «Електричний транспорт» і 273 «Залізничний транспорт» освітньої програми «Електровози та електропоїзди» денної форми навчання.

Укладачі:

доценти О. І. Акімов,
Д. Л. Сушко

Рецензент

доц. В. П. Нерубацький

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Загальні методичні вказівки до курсу	5
2 Основні позначення величин та співвідношень	8
3 Завдання до практичних занять та самостійної роботи	10
4 Задачі до практичних занять	11
5 Питання для самостійної підготовки	25
6 Питання для підготовки до заліку	31
Список літератури	35
Додаток А	36
Додаток Б	38

ВСТУП

Електротехнічні матеріали, особливо ті, що тільки створюються, були і залишаються головною ланкою у вирішенні багатьох інженерних задач у різних електротехнічних галузях. Сучасне електрообладнання складається з великої кількості різноманітних деталей, для виготовлення яких потрібен широкий асортимент різних електротехнічних матеріалів. Кожний використаний з цією метою матеріал повинен мати певні електричні, механічні і хімічні властивості, які залежать від його хімічного складу і будови, а також інтенсивності зовнішньої енергетичної дії [1, 2, 7].

У зв'язку з цим головним завданням першої частини дисципліни «Електроматеріалознавство та техніка високих напруг» є:

1) вивчення основних фізичних процесів, що відбуваються в матеріалах при дії на них електричного, магнітного або теплового поля і механічної напруги;

2) вивчення залежності електричних, механічних та інших властивостей матеріалів від їхнього хімічного складу і будови;

3) опис властивостей і ознайомлення з матеріалами, які найбільш часто застосовуються в електротехнічних пристроях [3–5, 7].

Ця дисципліна, з одного боку, базується на таких фундаментальних дисциплінах, як фізика, хімія і електротехніка, а з іншого – є їх логічним розвитком і створює основу для вивчення багатьох профільюючих дисциплін електроенергетичного напрямку [7].

Без знання основних властивостей електротехнічних матеріалів, без розуміння фізичних процесів, що протікають у матеріалі, коли його поміщають в електричне або магнітне поле, без розуміння зв'язку цих процесів з хімічним складом і будовою матеріалу не можна спроектувати і виготовити електротехнічне обладнання, неможливо грамотно його експлуатувати [1,7].

1 Загальні методичні вказівки до курсу

У першій частині курсу «Електроматеріалознавство та техніка високих напруг» здобувачі вищої освіти вивчають класифікацію матеріалів, основні фізичні явища, які відбуваються в матеріалах під дією на них електричних і магнітних полів, температури, вологості, механічних напружень, дії іонізуючих випромінювань та ін.; взаємозв'язок між структурою, складом матеріалу і фізико-хімічними властивостями; спосіб отримання і умови експлуатації.

Необхідність вивчення курсу визначається тією важливою роллю, що відіграють матеріали при конструюванні та експлуатації найрізноманітнішого сучасного електротехнічного устаткування [2].

Зміст і структура дисципліни передбачає послідовне вивчення електротехнічних матеріалів згідно з їх загальною класифікацією: діелектриків, провідників, напівпровідників і магнітних матеріалів [1–5, 7].

При вивченні діелектричних матеріалів необхідно розібратися у фізичній суті процесів поляризації, отримати уявлення про види поляризації, не пов'язані з розсіюванням енергії (пружне зміщення зарядів) і пов'язані з розсіюванням енергії (сповільнені види поляризації).

При вивченні впливу зовнішніх факторів на поляризацію і на діелектричну проникність слід зрозуміти фізичний смисл та практичну значущість таких параметрів діелектриків, як діелектрична проникність, питомий об'ємний та питомий поверхневий опір, кут діелектричних втрат та питомі діелектричні втрати, електрична міцність діелектриків. Треба знати розрахункові співвідношення, які пов'язують параметри матеріалів з геометричними розмірами виробів з них і їх електричними характеристиками (опір, ємність, діелектричні втрати, електрична міцність ізоляції); зрозуміти характер залежності цих параметрів від температури, вологості, тиску, частоти і прикладеної напруги.

Необхідно засвоїти такі поняття, як нагрівостійкість, теплопровідність, гігроскопічність та вологопроникність діелектриків. Знати основні класи нагрівостійкості та ізоляційні матеріали, які до них належать [1].

Особливу увагу слід звернути на класифікацію і галузі застосування ізоляційних матеріалів, на особливості властивостей високомолекулярних з'єднань лінійної та просторової будови, синтетичні матеріали підвищеної нагрівостійкості, слід уважно ознайомитися з властивостями неорганічних ізоляційних матеріалів.

Розглядаючи органічні діелектрики, необхідно вивчити загальні і характерні властивості для кожної даної групи матеріалів (бітумів, смол, пластмас, лаків, компаундів). При цьому необхідно виділити групи матеріалів з високими термічними та ізоляційними властивостями – фторорганічні і кремнієорганічні діелектрики, епоксидні смоли і т. д. [2, 7].

При розгляді основних властивостей газоподібних діелектриків необхідно вивчити властивості повітря – найбільш поширеного газоподібного діелектрика, залежності його електротехнічних властивостей від температури і тиску [6].

Велику увагу доцільно приділити електротехнічній кераміці, зокрема її класифікації та властивостям. Необхідно розрізняти матеріали на основі слюди: міканіти, слюдиніти і слюдопласти, знати їхні властивості, а також властивості і галузі застосування сегнетокераміки, азбесту і азбестових матеріалів.

При вивченні напівпровідникових матеріалів спочатку слід з'ясувати загальні властивості та характеристики напівпровідників, особливості їх електричної провідності і залежність її від температури, домішок, напруженості поля, а також особливості властивостей конкретних напівпровідникових матеріалів і галузі їх застосування.

Потрібно добре розуміти фізичні явища, які відбуваються у напівпровідникових матеріалах при дії на них зовнішніх факторів (температури, випромінювань, електричного поля та ін.); запам'ятати методи вимірювання таких основних параметрів напівпровідників, як питома електропровідність, рухомість та концентрація носіїв струму, ширина забороненої зони і енергія активації домішок, а також в яких матеріалах є підвищена термочутливість і в яких приладах використовується.

При вивченні провідникових матеріалів необхідно з'ясувати особливості електричної провідності і теплопровідності залежно від температури. При вивченні конкретних матеріалів – звернути

увагу на галузі їх застосування. При розгляді питання про термо-ЕРС з'ясувати вимоги до комбінацій металів і сплавів для одержання якомога більших його значень при виготовленні термопар і якомога менших значень для сплавів високого опору.

Потрібно знати класифікацію, вимоги і галузі застосування матеріалів високої провідності і високого опору. Мати уявлення про фізичну сутність механізмів низькотемпературної та високотемпературної надпровідності. Знати можливості практичного застосування надпровідників.

При розгляді магнітних матеріалів треба вивчити такі питання: загальні характеристики магнітних матеріалів; призначення і класифікація магнітних матеріалів; основні характеристики в статичних полях; статична і динамічна магнітні проникності; точка Кюрі магнітних матеріалів; характеристика петлі гістерезису; магнітні втрати, їх розрахунок і шляхи зменшення цих втрат; вплив хімічного складу, структури, механічної обробки та термообробки на магнітні властивості матеріалів; магнітом'які та магнітотверді матеріали; низькочастотні магнітом'які матеріали із високою магнітною проникністю: пермалой, альсифер; будова і властивості магнітодіелектриків та феритів.

2 Основні позначення величин та співвідношень

ϵ_0 – електрична стала, $8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
 ϵ – діелектрична проникність;
 ϵ_c – діелектрична проникність суміші компонентів;
 γ – питома провідність, См/м;
 r – радіус, м;
 d – діаметр, м; щільність матеріалу, Мг/м³;
 S – площа поверхні, м²;
 h – стала Планка, $6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; висота, товщина, м;
 Q – заряд конденсатора, Кл;
 W – ширина забороненої зони, еВ; енергія, Дж;
 C – ємність конденсатора, Ф;
 U – напруга, В;
 $U_{пр}$ – пробивна напруга, В;
 τ – стала часу саморозряду конденсатора, с;
 T – термодинамічна температура, К;
 t – температура, °С;
 $TK\epsilon$ – температурний коефіцієнт діелектричної проникності, К⁻¹;
 E – напруженість електричного поля, В/м;
 ρ_v – питомий об'ємний опір, Ом·м;
 ρ_s – питомий поверхневий опір, Ом;
 R – опір, Ом;
 R_v, R_s – відповідно об'ємний та поверхневий опори, Ом;
 P – потужність, втрати, діелектричні втрати, Вт;
 ω – кутова частота, рад/с;
 f – частота, Гц;
 $tg\delta$ – тангенс кута діелектричних втрат;
 e – заряд електрона, Кл;
 m – маса, кг;
 λ – довжина вільного пробігу частинки; довжина хвилі, м;
 γ_T – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);
 c – швидкість світла, $3 \cdot 10^8$ м/с; питома теплоємність Дж/(кг·К);
 v – швидкість м/с;
 v_T – середня швидкість теплового руху електрона в металі м/с;
 $TK\rho$ (α_ρ) – температурний коефіцієнт питомого опору, К⁻¹;
 TKl – температурний коефіцієнт лінійного розширення, К⁻¹;
 V – об'єм, м³;

p – тиск, Па;
 H – напруженість магнітного поля, А/м;
 B – магнітна індукція, Тл;
 μ – магнітна проникність;
 μ_0 – магнітна стала, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;
 σ_p – межа міцності при розтягуванні, Па;
 $\Delta l/l$ – відносне подовження при розриві, %.

Співвідношення між одиницями деяких фізичних величин

Щільність: $1 \text{ кг/м}^3 = 10^3 \text{ г/м}^3 = 0,001 \text{ г/см}^3$.

Вага, сила: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2 \approx 0,1 \text{ кгс}$.

Робота, енергія: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$.

Кількість теплоти: $1 \text{ Дж} \approx 0,2388 \text{ калорія}$.

Тиск та інші величини тієї самої розмірності (межа міцності при розтягуванні):

$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.} = 9,869 \cdot 10^{-6} \text{ атм}$.

Площа поверхні: $1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2 = 10^6 \text{ мм}^2$.

Питомий опір: $1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{см} = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^6 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.

Електрична міцність, напруженість електричного поля:

$10 \text{ кВ/см} = 1 \text{ кВ/мм} = 1 \text{ МВ/м} = 10^6 \text{ В/м}$.

3 Завдання до практичних занять та самостійної роботи

Варіанти завдань до практичних занять та самостійної роботи наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Завдання до практичних занять та самостійної роботи

Варіанти	Питання				Задачі			
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	26	51	76	1-1	8-1	15-5	21-5
2	2	27	52	77	2-2	9-2	16-4	22-4
3	3	28	53	78	3-3	10-3	17-3	23-3
4	4	29	54	79	4-4	11-4	18-2	24-2
5	5	30	55	80	5-5	12-5	19-1	25-1
6	6	31	56	81	6-1	13-1	20-5	26-5
7	7	32	57	82	7-2	14-2	15-4	27-4
8	8	33	58	83	1-3	15-3	16-3	28-3
9	9	34	59	84	2-4	8-4	17-2	21-2
10	10	35	60	85	3-5	9-5	18-1	22-1
11	11	36	61	86	4-1	10-1	19-5	23-5
12	12	37	62	87	5-2	11-2	20-4	24-4
13	13	38	63	88	6-3	12-3	15-3	25-3
14	14	39	64	89	7-4	13-4	16-2	26-2
15	15	40	65	90	1-5	14-5	17-1	27-1
16	16	41	66	91	2-1	15-1	18-5	28-5
17	17	42	67	92	3-2	8-2	19-4	21-4
18	18	43	68	93	4-3	9-3	20-3	22-3
19	19	44	69	94	5-4	10-4	15-2	23-2
20	20	45	70	95	6-5	11-5	16-1	24-1
21	21	46	71	96	7-1	12-1	17-5	25-5
22	22	47	72	97	1-2	13-2	18-4	26-4
23	23	48	73	98	2-3	14-3	19-3	27-3
24	24	49	74	99	3-4	15-4	20-2	28-2
25	25	50	75	100	4-5	8-5	16-5	21-1

4 Задачі до практичних занять

1 Діелектрик плоского конденсатора є сполучення двох матеріалів. Побудувати графіки залежності діелектричної проникності суміші двох компонентів від їх об'ємного вмісту, коли вони включені: а) послідовно; б) паралельно.

Обидва графіки побудувати в одній системі координат. Як незалежну змінну прийняти об'ємний вміст одного з матеріалів (від 0 до 1). Варіанти задачі подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Варіанти	Діелектрик
1	Поліетилен, поліхлорвініл
2	Ескапол, текстоліт
3	Фторопласт, полівінілхлорид
4	Полістирол, органічне скло
5	Гетинакс, фторопласт

2 Діелектрик конденсатора являє собою суміш двох матеріалів (таблиця 3). Яким має бути співвідношення компонентів, щоб $T\kappa\epsilon_c$ суміші дорівнювало нулю? Якою буде діелектрична проникність суміші? Дані про електричні матеріали взяти зі списку літератури.

Таблиця 3

Варіанти	Діелектрик
1	Тиконд-Т-40, ультрафарфор
2	Тиконд Т-40, мікалекс
3	Тиконд Т-80, ультрафарфор
4	Тиконд Т-80, мікалекс
5	Тиконд Т-130, ультрафорфор

3 Є два плоских конденсатори: а) повітряний, з відстанню між електродами $d=d_1+d_2$; б) двошаровий, в якому ізоляція складається з шару повітря товщиною d_1 та пластини товщиною d_2 з твердого діелектрика з діелектричною проникністю ϵ_2 .

Побудувати графік розподілу напруженості електричного поля в конденсаторі з твердим діелектриком і без нього при напрузі на обкладках U (таблиця 4).

Таблиця 4

Варіант	Діелектрик	d_1 , мм	d_2 , мм	U , кВ
1	Мікалекс	9	2	8
2	Полістирол	7	3	12
3	Поліетилен	8	3	10
4	Фторлон-4	9	4	22
5	Вініпласт	7	2	20

4 На двошаровий конденсатор з неоднорідним діелектриком подано змінну напругу U (таблиця 5). Шари мають товщину d_1 і d_2 та складаються з різних електроізоляційних матеріалів. Визначити напругу на шарах і напруженість поля в них, а також діелектричну проникність суміші двох компонентів.

Таблиця 5

Варіант	Перший шар		Другий шар		U , кВ
	Діелектрик	d_1 , мм	Діелектрик	d_2 , мм	
1	Мусковіт	1,0	Поліетилен	2,0	2,0
2	Полістирол	3,0	Флогопіт	2,0	3,0
3	Мікалекс	4,0	Поліамід	3,0	1,0
4	Поліетилен	5,0	Ситал	3,0	1,0
5	Вініпласт	6,0	Поліетилен	2,0	3,0

5 Двошаровий діелектрик включений на змінну напругу. На першому шарі напруга U_1 , на другому – U_2 ; товщина шару дорівнює відповідно h_1 і h_2 (таблиця 6). Визначити відносну діелектричну проникність першого шару, коли діелектрична проникність другого шару $\epsilon_2=6$, і діелектричну проникність суміші двох компонентів.

Укажіть діелектрик, якому відповідає одержане значення діелектричної проникності.

Таблиця 6

Варіант	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$h_1, \text{мм}$	$h_2, \text{мм}$
1	700	1300	2	5,0
2	600	1100	1,71	2,0
3	500	1500	0,5	3,0
4	300	1000	1,0	1,6
5	1000	700	4,0	1,0

6 Конденсатор із матеріалу з діелектричною проникністю ϵ був заряджений до напруги U_1 , після чого джерело було вимкнено. За час t напруга на обкладках конденсатора знизилась до напруги U_2 (таблиця 7). Визначити постійну часу саморозряду конденсатора і питомий об'ємний опір його діелектрика. Поверхневим витоком у розрахунках знехтувати.

Таблиця 7

Варіант	ϵ	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$t, \text{хв}$
1	6	2000	100	6
2	2,5	400	60	200
3	2	700	120	50
4	3	1000	250	2
5	4	500	110	70

7 Визначити опір ізоляції конденсатора, коли через час t після його вимкнення від джерела живлення різниця потенціалів на обкладках зменшилась на n . Ємність конденсатора дорівнює C (таблиця 8).

Таблиця 8

Варіант	$t, \text{с}$	$C, \text{мкф}$	$n, \%$
1	30	3	6
2	25	15	12
3	35	22	7
4	45	28	8
5	55	35	15

8 Між плоскими електродами розташований кубик з діелектрика з ребром a . Обчислити величину діелектричних втрат у діелектрику при напрузі U (діюче значення) частоти f (таблиця 9).

Таблиця 9

Варіант	Діелектрик	U , кВ	a , мм	f , Гц
1	Скло	2	15	50
2	Фарфор	3	25	10^2
3	Ескапон	7	60	10^3
4	Бакеліт	12	30	10^4
5	Фторолон-4	20	50	10^5

9 Мідний циліндричний провід перерізом S має поліхлорвінілову ізоляцію товщиною d з екрануючим мідним обплетенням (таблиця 10). Обчислити діелектричні втрати в ізоляції на 1 км проводу при температурі $-15 - +60$ °С і частотах 50 і 500 Гц. Напряга між жилою та обплетенням дорівнює U (діюче значення). Необхідні дані вибрати з рекомендованої літератури.

Таблиця 10

Варіант	S , мм	d , мм	U , мм
1	10	2	2
2	5	4	1,0
3	14	6	1,5
4	18	8	2,5
5	22	10	3,0

10 На дві протилежні грані кубика з ребром $a=20$ мм нанесені шари металу, які є електродами, через які кубик вмикається в електричне коло. Визначити, використовуючи таблицю 9, сталий струм крізь кубик і діелектричні втрати при постійній напрузі $U=2$ кВ, якщо питомий об'ємний опір діелектрика ρ_v , а поверхневий – ρ_s .

11 Визначити сталий струм у плоскому конденсаторі з твердим діелектриком і втрати потужності в ньому при постійній напрузі U . Товщина діелектрика h ; площа обкладок (з кожної сторони) S (таблиця 11). Поверхневим витоком знехтувати. Якими будуть діелектричні втрати при змінній напрузі (діюче значення) частоти 1000 Гц?

Таблиця 11

Варіант	Діелектрик	U , кВ	h , мм	S , см ²
1	Мікалекс	10	0,9	25
2	Полістирол	1	0,2	20
3	Поліетилен	4	1,0	8
4	Фторолон-4	6	2,0	14
5	Вініпласт	5	1,5	10

12 Плоский конденсатор з діелектриком має розміри обкладок 6×6 см² і товщину діелектрика 10 мм. Визначити: а) силу струму витоку та розсіяну в діелектрику потужність при постійній напрузі 5 кВ; б) розсіяну в діелектрику конденсатора потужність при змінній напрузі 6 кВ і частоті 50 Гц (діелектрик для свого варіанта вибрати з таблиці 4).

13 Циліндричний стрижень діаметром 8 мм і довжиною 20 мм, виготовлений з діелектричного матеріалу, затиснутий двома металевими електродами, між якими підтримується напруга постійного струму 600 В. Визначити струм крізь стрижень і втрати потужності в ньому, використовуючи таблицю 9.

14 Визначити питомий об'ємний та поверхневий опір діелектрика циліндричної форми довжиною 20 мм і діаметром 5 мм (електроди нанесені на торець зразка), якщо відомо, що струм у колі з діелектриком при постійній напрузі U дорівнює I , а потужність втрат складає P (таблиця 12). Як зміниться струм у колі і потужність втрат у діелектрику, якщо напруга підвищиться у 2 рази, а питомий об'ємний опір зменшиться у 100 разів?

Таблиця 12

Варіант	U, кВ	I, мкА	P, мкВт
1	4	1	0,1
2	3	5	12
3	7	15	80
4	2	4	0,8
5	5	20	50

15 Трубка з діелектрика має розміри: внутрішній діаметр d_1 , зовнішній діаметр d_2 (таблиця 13). Побудувати графіки залежності діелектричних втрат у температурному діапазоні від T_1 до T_2 : а) при постійній напрузі U ; б) при перемінній напрузі U (діюче значення). Електроди нанесені на торцеву поверхню трубки.

Таблиця 13

Варіант	Діелектрик	d_1 , мм	d_2 , мм	U, кВ	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
1	Поліетилен	2	5	2	-20	100
2	Полівінілхлорид	1,5	4,5	1,5	-20	60
3	Полістирол	1	4	1	0	100
4	ПЕТФ	2,5	5	0,5	+20	120
5	Поліефір	3	6	2,5	+20	120

16 Побудувати графік залежності температурного коефіцієнта об'ємного опору діелектрика від температури, використовуючи таблицю 13.

17 Визначити повний струм витоку і діелектричні втрати в ізоляторі, виготовленому у вигляді трубки довжиною 10 см, внутрішній діаметр – 5 мм, зовнішній діаметр – 12 мм. Задачу розв'язувати для випадку розташування електродів на торцевій поверхні трубки. Струм витоку визначити при постійній напрузі $U=1$ кВ. Діелектричні втрати обчислити при перемінній напрузі. Матеріал діелектрика вибрати із таблиці 9.

18 Діелектрик конденсатора утворений двома шарами твердого діелектрика, між якими є повітряний зазор. До

електродів конденсатора прикладена напруга з частотою 50 Гц, яка поступово підвищується. При якій напрузі відбудеться розряд у повітряному зазорі? Як зміниться значення цієї напруги, коли повітря в зазорі замінити елегазом? Товщина кожного шару твердого діелектрика d_2 , а товщина повітряного зазору d_1 (варіант вибрати за таблицею 4).

19 Шаруватий діелектрик складається з n_1 шарів електроізоляційного матеріалу товщиною h_1 і n_2 шарів конденсаторного масла товщиною h_2 (таблиця 14). Дані електроізоляційних матеріалів взяти зі списку літератури. Визначити пробивну напругу діелектрика: а) при постійній напрузі; б) при частоті 50 Гц.

Таблиця 14

Варіант	Діелектрик	h_1 , мкм	n_1	h_2 , мкм	n_2
1	Полістирол	100	15	100	14
2	Поліетилен	150	25	50	24
3	Фторлон-4	100	6	150	5
4	Вініпласт	500	9	200	8
5	Полікарбонат	100	20	100	19

20 Двошаровий конденсатор з неоднорідним діелектриком працює при перемінній напрузі. Шари мають товщини d_1 і d_2 та складаються з різних електроізоляційних матеріалів. Визначити пробивну напругу конденсатора (із таблиці 5 вибрати для свого варіанта комбінації діелектриків та їх товщини).

21 Опір проводу при температурі $t_1=20$ °С і $t_2=100$ °С дорівнює відповідно R_1 і R_2 (таблиця 15). Визначити середній температурний коефіцієнт питомого опору і вказати, якому матеріалу він відповідає. Чому дорівнює переріз проводу при температурі t_2 , якщо його довжина l ? Зміною розмірів проводу при зміні температури нехтуємо.

Таблиця 15

Варіант	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$\ell, \text{ м}$
1	6,1	8,2	1000
2	5,0	6,8	500
3	6,5	8,0	900
4	7,0	7,6	100
5	5,8	6,9	25

22 Питомий опір мідних струмопровідних жил силових кабелів має не перевищувати $0,0184 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Визначити, на скільки можна зменшити фактичний переріз жили одножильного кабелю перерізом S (таблиця 16) за умови, що питомий опір, який йде на виготовлення дроту, дорівнює $0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ (при скручуванні дротів опір струмопровідної жили кабелю збільшується на 2 %). Скільки кілограмів міді можна заощадити на 1 км кабелю при такому зменшенні перерізу?

23 Питомий опір алюмінієвих струмопровідних жил силових кабелів має не перевищувати $0.031 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Визначити, на скільки можна зменшити фактичний переріз трижильного кабелю перерізом $3\times S$ (дивись таблицю 16) за умови, що питомий опір алюмінію, який йде на виготовлення дроту, дорівнює $0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ (при скручуванні дроту в жилу та ізольованих жил у трифазний кабель опір жили збільшується на 3 %). Скільки кілограмів алюмінію можна заощадити на 1 км кабелю при такому зменшенні перерізу?

Таблиця 16

Варіант	$S, \text{ мм}^2$
1	20
2	35
3	40
4	50
5	75

24 Визначити розміри (переріз S ; діаметр d) біметалевого дроту (сталь усередині, мідь ззовні), що призначений для заміни мідного дроту перерізом S_1 , який має таку саму провідність.

Прийняти, що переріз міді складає n загального перерізу біметалевого дроту (таблиця 17).

Таблиця 17

Варіант	S_1 , мм	n , %
1	10	20
2	12	25
3	16	20
4	14	10
5	20	10

25 Потужність електронагрівального елемента при напрузі 200 В складає 500 Вт. Визначити довжину дроту діаметром 1 мм, яка необхідна для виготовлення цього елемента. Робоча температура нагрівального елемента дорівнює t (таблиця 18).

Таблиця 18

Варіант	Матеріал	t , °C
1	Вольфрам	300
2	Ніхром Х15Н60	800
3	Ніхром Х20Н80	1000
4	Фехраль Х13Ю4	500
5	Фехраль Х23Ю5	1000

26 Визначити напругу на клеммах генератора, що живить електродвигун, розташований на відстані S від електростанції та розрахований на силу струму 10 А при напрузі 120 В, якщо провідка складається з мідного проводу діаметром d (таблиця 19).

Таблиця 19

Варіант	S , км	d , мм
1	1,5	4,0
2	10,0	6,0
3	0,7	2,0
4	3,7	4,0
5	4,2	6,0

27 Споживач отримує електроенергію від генератора змінного струму потужністю P , який розташований на відстані L від неї. Напруга на затискачах генератора U (таблиця 20). Розрахувати переріз мідного проводу, що з'єднує генератор зі споживачем, якщо падіння напруги в проводі має не перевищувати 5 %.

Таблиця 20

Варіант	U , В	L , км	P , кВт
1	220	10,0	100,0
2	110	1,0	10,0
3	220	0,8	7,0
4	380	10,0	10,0
5	220	5,0	20,0

28 Опір відрізка проводу при температурі t_1 дорівнює 50 Ом, а при t_2 дорівнює 160 Ом. Визначте TK_p і матеріал жили проводу (таблиця 21).

Таблиця 21

Варіант	t_1 , °C	t_2 , °C
1	-60	+60
2	-30	25
3	20	140
4	50	250
5	15	80

Якщо в умові задачі не вказано числових значень параметрів матеріалів, слід звернутися до рекомендованої літератури або додатків А і Б.

Методичні вказівки до виконання практичних завдань

Діелектрик, включений в електричне коло, можна розглядати як конденсатор визначеної ємності.

Величина заряду визначається за формулою [1]:

$$Q = C \cdot U.$$

Енергія електричного поля, що накопичена в ділянці ізоляції з ємністю C , до якої прикладена напруга U :

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q \cdot U}{2}.$$

При паралельному з'єднанні конденсаторів сумарна (результуюча) ємність дорівнює сумі ємностей:

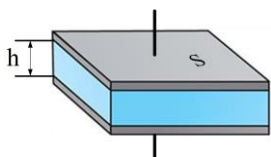
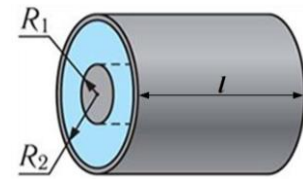
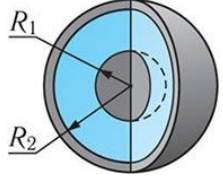
$$C_p = \Sigma C_i.$$

При послідовному з'єднанні конденсаторів результуюча ємність буде виражена формулою:

$$\frac{1}{C_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Потрібно враховувати, що ємність конденсатора (ділянки ізоляції) залежить як від виду діелектрика, так і від його геометричних розмірів і конфігурації конденсатора (таблиця 22).

Таблиця 22 – Визначення ємності конденсаторів різної конфігурації

Конфігурації конденсатора	Ємність конденсатора	Схематичне зображення
Плоский	$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{h}$	 2
Циліндричний	$C = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$	 2
Сферичний	$C = 4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 - R_1}$	 2

Рівняння спаду напруги $u(t)$ на електродах конденсатора у функції часу t , що був під напругою U_0 , має вигляд:

$$u(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Діелектрична проникність твердих складних діелектриків, які являють собою суміш компонентів з різними діелектричними проникностями [2]:

– при паралельному включенні компонентів:

$$\varepsilon_c = \theta_1 \cdot \varepsilon_1 + \theta_2 \cdot \varepsilon_2;$$

– при послідовному включенні компонентів:

$$\frac{1}{\varepsilon_c} = \frac{\theta_1}{\varepsilon_1} + \frac{\theta_2}{\varepsilon_2}.$$

При хаотичному розташуванні компонентів, що трапляється в технічних діелектриках,

$$\ln \varepsilon_c = \theta_1 \cdot \ln \varepsilon_1 + \theta_2 \cdot \ln \varepsilon_2.$$

Діелектрична проникність залежить від температури і визначається виразом [3]:

$$\text{TK}\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dT}$$

або середнє значення можна визначити з виразу:

$$\overline{\text{TK}\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{T_2 - T_1}.$$

Температурний коефіцієнт діелектричної проникності складного діелектрика:

$$\text{TK}\varepsilon_c = \theta_1 \cdot \text{TK}\varepsilon_1 + \theta_2 \cdot \text{TK}\varepsilon_2.$$

Для багат шарових конденсаторів розподіл напруги та напруженості електричного поля можна визначити за формулами:

$$U = U_1 + U_2 = E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2,$$

$$E_1 = \varepsilon_2 \cdot \frac{U}{h_1 \cdot \varepsilon_2 + h_2 \cdot \varepsilon_1}; \quad E_2 = \varepsilon_1 \cdot \frac{U}{h_1 \cdot \varepsilon_2 + h_2 \cdot \varepsilon_1};$$

$$U_1 = \frac{\varepsilon_2 \cdot h_1 \cdot U}{h_1 \cdot \varepsilon_2 + h_2 \cdot \varepsilon_1}; \quad U_2 = \frac{\varepsilon_1 \cdot h_2 \cdot U}{h_1 \cdot \varepsilon_2 + h_2 \cdot \varepsilon_1}.$$

Електропровідність діелектрика характеризується струмом об'ємної провідності та струмом поверхневої провідності [4]:

$$I = I_V + I_S.$$

Об'ємний та поверхневий опори для плоского зразка, який є в однорідному електричному полі, визначаємо за формулами:

$$R_V = \frac{\rho_V \cdot h}{S} \quad \text{і} \quad R_S = \frac{\rho_S \cdot l}{d}.$$

Під час роботи електротехнічних пристроїв діелектрик нагрівається, оскільки частина електричної енергії в ньому розсіюється у вигляді тепла.

Діелектричні втрати при постійній напрузі: $P = \frac{U^2}{R}$.

Діелектричні втрати при змінній напрузі [5]:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg} \delta \quad [\text{Вт}].$$

Тангенс кута діелектричних втрат:

$$\text{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C_p}.$$

Електрична міцність діелектрика [6]: $E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}$.

Кількісно електропровідність провідників оцінюється питомою електропровідністю γ або оберненою їй величиною – питомим електричним опором ρ :

$$\rho = \frac{1}{\gamma}.$$

Опір провідникового матеріалу визначаємо за формулою:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}.$$

Питома провідність металевих провідників відповідно до класичної теорії металів визначається виразом [7]:

$$\gamma = \frac{e^2 \cdot n_0 \cdot \lambda}{2m \cdot v_T}.$$

Питомий опір залежить від температури і визначається виразом:

$$TK\rho = \alpha_\rho = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}$$

або середнє значення можна визначити з виразу:

$$\overline{TK\rho} = \frac{1}{\rho_1} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{T_2 - T_1}.$$

Визначення питомого опору провідникового матеріалу при температурі T_2 :

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

5 Питання для самостійної підготовки

1 Сегнетоелектрики, їхні властивості та застосування. Поясніть у сегнетоелектриках залежність діелектричної проникності від напруженості електричного поля і температури.

2 Класифікація електроізоляційних матеріалів за видами поляризації. Наведіть приклади діелектриків, які застосовуються в електроенергетиці та електромеханіці.

3 Електрична провідність газів. Самостійна і несамостійна провідність газу. Поясніть струм насичення в газах.

4 Електропровідність рідких діелектриків та її залежності від температури. Електрофоретична провідність. Електропровідність рідких неполярних діелектриків.

5 Охарактеризуйте електропровідність діелектриків. Вкажіть характерні особливості електропровідності твердих діелектриків.

6 Дайте класифікацію твердих діелектриків з точки зору поверхневої провідності. Укажіть способи зниження поверхневої провідності.

7 Поясніть, у чому полягає відмінність між електропровідністю та релаксаційною поляризацією у твердих діелектриках.

8 Як відрізняються за електропровідністю полярні електроізоляційні матеріали від неполярних?

9 Дайте характеристику діелектричних втрат у газах. Що називається кривою іонізації електричної ізоляції (наведіть та поясніть її), і яке практичне значення вона має?

10 Охарактеризуйте температурні залежності ϵ і $\text{tg}\delta$ при релаксаційній поляризації. Що називається часом релаксації?

11 Охарактеризуйте діелектричні втрати у твердих діелектриках. Наведіть приклади залежностей $\text{tg}\delta$ від температури і частоти. Дайте характеристику полімерних діелектриків.

12 Чому під дією електричного поля тверді діелектрики нагріваються?

13 Пробій рідких діелектриків. Що впливає на електричну міцність рідини?

14 Поясніть принцип електротеплового пробою в діелектриках і закономірності його розвитку.

15 Охарактеризуйте види пробою твердих діелектриків. Опишіть вплив природи діелектриків і зовнішніх факторів на електричну міцність.

16 Поясніть, чи є напруга теплового пробою характеристикою діелектрика?

17 Поясніть, як електрична міцність твердого діелектрика змінюється з підвищенням температури в разі електричного та теплового пробою.

18 Поясніть відмінність електричної міцності електроізоляційних матеріалів при постійній і змінній напругах.

19 Назвіть електроізоляційні матеріали, які мають високу гігроскопічність. Наведіть заходи або засоби зменшення гігроскопічності.

20 Наведіть класи нагрівостійкості електричної ізоляції та вкажіть матеріали, які належать до кожного з класу.

21 Як впливає радіаційне опромінювання на електричні, механічні та теплові властивості діелектриків?

22 Охарактеризуйте електрохімічний пробій у діелектриках. Старіння діелектрика під дією іонізаційних процесів.

23 Методи визначення питомої ударної в'язкості і теплостійкості пластичних мас. Наведіть приклади питомої в'язкості і теплостійкості для декількох діелектриків.

24 Поясніть різницю між органічними і неорганічними діелектриками. Наведіть приклади органічних і неорганічних діелектриків і вкажіть їхні властивості.

25 Назвіть гази, які мають підвищену порівняно з повітрям електричну міцність; вкажіть їхні основні властивості і галузі застосування.

26 Дайте характеристику природних та синтетичних рідких діелектриків. Наведіть приклад їх, характеристики та галузі застосування.

27 Опишіть процес отримання трансформаторного масла. Які хімічні процеси відбуваються в маслі при роботі трансформатора?

28 Назвіть фактори, які прискорюють та уповільнюють старіння трансформаторного масла.

29 Охарактеризуйте процес очищення ізоляційних масел. Яка ефективність окремих способів очищення?

30 Які речовини називаються полімерами? Наведіть приклади лінійних і просторових, термореактивних і термопластичних полімерів, наведіть їх основні характеристики.

31 Що називають смолами і на які групи вони поділяються? В чому відмінність між природними і синтетичними смолами?

32 Охарактеризуйте процеси полімеризації та поліконденсації. Наведіть діелектрики, які отримані за допомогою полімеризації та поліконденсації, та їхні властивості.

33 У чому різниця між смолами та воскоподібними діелектриками? Наведіть приклади та опишіть їхні властивості.

34 Охарактеризуйте механічні, теплові та хімічні властивості діелектриків.

35 Способи утворення і основні характеристики синтетичних рідких діелектриків.

36 Наведіть приклади і вкажіть основні властивості рідких і твердих фторорганічних електроізоляційних матеріалів.

37 Властивості та галузі застосування поліамідних смол.

38 Особливості і галузі застосування епоксидних смол.

39 Основні види кремнієорганічних електроізоляційних матеріалів, їхні властивості та галузі застосування.

40 Основні характеристики природних смол та галузі їх застосування.

41 Які мастила є висихаючими? Вкажіть їхні властивості і галузі застосування.

42 Наведіть властивості бітумів та компаундів. В яких галузях вони використовуються як ізоляційні матеріали?

43 Наведіть класифікацію електроізоляційних лаків, їх основні характеристики та галузі застосування.

44 Наведіть приклади волокнистих ізоляційних матеріалів, їх переваги і недоліки.

45 Опишіть різні види ізоляційного паперу, електротехнічного картону, вкажіть їхні властивості та галузі застосування.

46 Опишіть властивості целюлози та галузі застосування.

47 Наведіть характеристики лакотканин і галузі застосування.

48 Дайте характеристику основних видів шаруватих пластмас, вкажіть їхні властивості і галузі застосування.

49 Охарактеризуйте процес вулканізації каучуку. Опишіть властивості гум та ебоніту.

50 Наведіть типи неорганічного скла та їх класифікацію. Опишіть електричні та теплові властивості електротехнічного скла.

51 Опишіть процес отримання скловолокна. Вкажіть галузі застосування в електроізоляційній техніці.

52 Керамічні діелектрики, основні етапи виробництва. Наведіть типи керамічних матеріалів та галузі їх застосування.

53 Опишіть процес виробництва і властивості фарфору. Яка мета глазурування фарфору?

54 Назвіть і опишіть види високочастотної установлювальної кераміки. Вкажіть особливості і галузі їх застосування.

55 Властивості високочастотної конденсаторної кераміки. Наведіть марку кераміки та вкажіть особливості і галузі застосування.

56 Що називають слюдою? Основні матеріали на основі слюди та їх використання в електроізоляційному виробництві.

57 Що являють собою міканіти? Які типи міканітів та особливості їх застосування?

58 Що являють собою мікалекси? Властивості мікалексу на основі синтетичної слюди.

59 Наведіть характеристику електроізоляційних матеріалів на основі азбесту і вкажіть галузі їх застосування.

60 Які матеріали називають активними діелектриками? Яка відмінність сегнетоелектриків від звичайних діелектриків?

61 Дайте характеристику основних груп електроізоляційних матеріалів на основі слюди і вкажіть галузі застосування цих матеріалів.

62 Порівняйте фізичну сутність процесів електричної провідності в напівпровідниках та діелектриках.

63 Охарактеризуйте напівпровідникові хімічні сполуки та багатофазні матеріали. Їхні властивості і галузі застосування.

64 Основні властивості р-п переходів та їх практичне застосування. Вентильні властивості напівпровідникових матеріалів.

65 Фотопровідність у напівпровідниках, фотоопори та їх характеристики. Які матеріали використовуються при їх виготовленні?

66 Опишіть напівпровідникові матеріали на основі карбиду кремнію і вкажіть галузі їх застосування.

67 Опишіть ефект Холла в напівпровідниках і його застосування для визначення параметрів напівпровідників.

68 Поясніть зв'язок ширини забороненої зони напівпровідника з його чутливістю до зовнішніх енергетичних впливів.

69 Конструкція і різновиди терморезисторів. Наведіть характеристику напівпровідникових терморезисторів та галузі їх застосування.

70 Нелінійні резистори. Вкажіть основні властивості та галузі застосування. Дайте характеристику таких напівпровідникових матеріалів, як кремній, германій.

71 Класифікація провідникових матеріалів. Опишіть характер електричної провідності провідникових матеріалів та їхні основні властивості.

72 Наведіть приклади основних матеріалів високої провідності, які застосовуються в електропромисловості. Їхні основні параметри та властивості.

73 Мідь. Марки міді. Властивості м'якої та твердої міді і галузі їх застосування.

74 Наведіть основні властивості алюмінію та порівняйте їх з властивостями міді. В чому полягає техніко-економічне обґрунтування заміни міді на алюміній?

75 Сплави міді та алюмінієві сплави, їх призначення та властивості.

76 Опишіть процес виробництва біметалу. Призначення і властивості біметалевих та сталюалюмінієвих проводів.

77 Поясніть явище надпровідності в провідникових матеріалах. Дайте характеристику надпровідників і кріопровідників та галузі їх застосування.

78 Наведіть приклади застосування явища надпровідності в електроенергетичній галузі.

79 Дайте характеристику матеріалів високого опору. Наведіть найбільш поширені сплави, вкажіть їхні властивості і галузі застосування.

80 Які сплави високого опору застосовуються у вимірювальних приладах, електронагрівальних приладах та реостатах? Вкажіть їх хімічний склад та властивості.

81 Опишіть явище термо-ЕРС і наведіть основні матеріали, які застосовуються для виготовлення термопар.

82 Дайте характеристику електровугільних виробів. Опишіть процес виробництва та галузі застосування.

83 Опишіть такі матеріали, як ніхроми, фехралі та хромалі. Вкажіть їхній хімічний склад та основні характеристики. Де вони найбільш широко застосовуються?

84 Дайте характеристику матеріалів, які застосовуються для розривних контактів. Наведіть приклади цих матеріалів, їх характеристики та галузі застосування.

85 Охарактеризуйте основні фактори, які негативно впливають на матеріали, що застосовуються для рухомих контактів.

86 Обмотувальні дроти та їх класифікація за видом ізоляції.

87 Наведіть види кабелів, характеристики їх і галузі застосування.

88 Процес намагнічування феромагнітних матеріалів. Якими параметрами характеризуються феромагнітні матеріали в постійних та змінних полях?

89 Призначення магнітом'яких матеріалів. Назвіть приклади таких матеріалів та вкажіть їхні основні магнітні властивості.

90 Опишіть залізонікелеві сплави з високою магнітною проникністю. Вкажіть основні галузі їх застосування.

91 Електротехнічна сталь, маркування та її основні властивості і застосування.

92 Що являють собою пермалой, альсифер, їхні властивості і галузі застосування.

93 Що таке магніострикція? В яких матеріалах вона найбільше спостерігається? Опишіть властивість магнітних матеріалів, які обумовлені магнітною анізотропією.

94 Дайте характеристику магнітних матеріалів спеціального призначення. Ферити для надвисоких частот і з прямокутною петлею гістерезису.

95 Магнітні параметри карбонільних і альсиферових та інших магнітодіелектриків. Галузі їх застосування.

96 Крем'яниста електротехнічна сталь. Вплив наявності кремнію на електричні, магнітні та механічні властивості сталі.

97 Призначення магнітотвердих матеріалів. Наведіть приклади таких матеріалів та їхні основні параметри.

98 Що являють собою ферити? Основні властивості і галузі застосування феритів.

99 Поясніть залежність магнітної проникності від температури та частоти магнітного поля. Якими параметрами характеризується петля гістерезису?

100 Дайте характеристику магнітних втрат у феромагнітних матеріалах. Як вони оцінюються? Від яких факторів залежать ці втрати?

6 Питання для підготовки до заліку

Загальні властивості електротехнічних матеріалів

- 1 Загальні відомості про будову речовини. Види зв'язку.
- 2 Класифікація речовин за електричними властивостями.
Побудова енергетичної діаграми речовини.
- 3 Характеристика енергетичних діаграм: провідників, діелектриків та напівпровідників.
- 4 Класифікація речовин за магнітними властивостями.

Діелектричні матеріали та їхні властивості

- 1 Класифікація діелектричних матеріалів, галузі застосування.
- 2 Діелектрична проникність діелектриків.
- 3 Поляризація діелектриків: основні види поляризації, класифікація за видом поляризації.
- 4 Конденсатори та їхні основні параметри.
- 5 Електропровідність діелектрика, її фізична природа.
- 6 Діелектричні втрати. Види діелектричних втрат.
- 7 Пробій діелектриків. Види пробою твердих діелектриків.
- 8 Полістирол: його характеристики та види.
- 9 Полімерні матеріали, їх характеристика та класифікація.
- 10 Слюда та слюдяні матеріали, їх класифікація, властивості та застосування.
- 11 Пластичні маси: склад і застосування.
- 12 Гнучкі плівки та волокнисті матеріали, їх переваги, недоліки та застосування.
- 13 Електроізоляційні компаунди: класифікація та властивості.
- 14 Електроізоляційні лаки: класифікація та властивості.
- 15 Епоксидні смоли, утворення епоксидного полімеру.
- 16 Процеси полімеризації та поліконденсації при отриманні полімерних матеріалів.

Напівпровідникові матеріали та їхні властивості

- 1 Напівпровідникові матеріали. Електропровідність напівпровідників.
- 2 Домішкові напівпровідники: отримання напівпровідника р-типу.

- 3 Домішкові напівпровідники: отримання напівпровідника n-типу.
- 4 Германій, його властивості та застосування.
- 5 Кремній, його властивості та застосування.
- 6 Селен і селітові стрижні, їхні властивості та застосування.
- 7 Карбід кремнію, його властивості та застосування.
- 8 Арсенід галію та антимонід індію, їхні властивості та застосування.
- 9 Властивості та способи формування p-n-переходу.
- 10 Напівпровідникові з'єднання: сульфід та оксиди, їх характеристики та застосування.

Провідникові матеріали та їхні властивості

- 1 Класифікація провідникових матеріалів.
- 2 Основні параметри провідникових матеріалів.
- 3 Питома провідність та питомий опір провідників.
- 4 Змінювання питомого опору металів при плавленні та деформаціях.
- 5 Питомий опір сплавів.
- 6 Температурний коефіцієнт питомого опору та лінійного розширення провідників.
- 7 Теплопровідність металів і термоелектрорушійна сила.
- 8 Механічні властивості провідникових матеріалів.
- 9 Матеріали високої провідності – мідь та її сплави.
- 10 Алюміній та його сплави.
- 11 Провідниковий матеріал – залізо. Сталеалюмінієвий дріт та провідниковий біметал.
- 12 Характеристики надпровідників та кріопровідників.
- 13 Припої, їх класифікація та характеристики.
- 14 Контактні матеріали та їх сполуки.
- 15 Неметалеві провідникові матеріали та їх характеристики.
- 16 Сплави високого опору та їх характеристики.
- 17 Загальні відомості про електроліт. Електропровідність електролітів.
- 18 Залежність питомої провідності електролітів від температури, тиску та концентрації розчину.

Магнітні матеріали та їхні властивості

- 1 Магнітні елементи та їхні основні параметри.
- 2 Сплави на основі Fe-Ni-Al. Вплив легувальних елементів на властивості сплавів.
- 3 Магнітом'які ферити, їхні основні властивості та галузі застосування.
- 4 Залізонікелеві сплави. Основні магнітні властивості.
- 5 Електротехнічні (кремнієві) сталі. Вплив легування кремнієм. Основні властивості.
- 6 Магнітом'які матеріали. Основні властивості, галузі застосування.
- 7 Теплові втрати при перемагнічуванні феромагнетиків у змінних магнітних полях.
- 8 Явище гістерезису. Поняття залишкової індукції та коерцитивної сили.
- 9 Залежність магнітної проникності феромагнетика від температури. Температурний коефіцієнт магнітної проникності.
- 10 Крива намагнічування феромагнітного матеріалу. Поняття диференціальної та динамічної магнітної проникності.
- 11 Схема орієнтації спінів у доменах при намагнічуванні феромагнетика. Поняття «електронні спіни» та «магнітні домени».
- 12 Процеси, які відбуваються у феромагнетику при намагнічуванні.

Список літератури

1 Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: навч. посіб. Львів: Магнолія-2006. 242 с.

2 Леонт'єв В. О., Бевз С. В., Видмиш В. А. Електротехнічні матеріали: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2013. 122 с.

3 Журавльова Л. В., Бондар В. М. Електроматеріалознавство: підруч. Київ: Грамота, 2006. 312 с.

4 Indulkar C. S., Thiruvengadam S. An Introduction To Electrical Engineering Materials: S. Chand & Company Limited, 2008. 468 p.

5 Rajput R. K. A Textbook of Electrical Engineering Materials. Firewall Media, 2004. 449 p.

6 Акімов О. І., Сушко Д. Л. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту: навч. посіб. з грифом МОН. Харків: УкрДАЗТ, 2009. 217 с.

7 Колесов С. Н., Колесов И. С. Электротехнические и конструкционные материалы: учебн. для студентов электротехнических и электромеханических специальностей вузов. Киев: Транспорт Украины, 2002. 384 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Основні електричні параметри електроізоляційних матеріалів

Матеріали	ϵ (при 50 Гц)	ρ_v , Ом·м	ρ_s , Ом	$\text{tg } \delta$ (при 50 Гц)	E , МВ/м (при 50 Гц)	ТК ϵ , 1/град	Нагріво- стійкість
1	2	3	4	5	6	7	8
Поліетилен	2,3-2,4	10^{14} - 10^{15}	10^{14}	$1\text{-}5\cdot 10^{-4}$	15-20	-	90^0 - 120^0
Полістирол	2,4-2,6	10^{14} - 10^{15}	10^{15}	$1\text{-}3\cdot 10^{-4}$	20-35	-	70^0 - 90^0
Політетрафторетилен (фторопласт-4)	1,9-2,2	10^{15} - 10^{16}	10^{17}	$1\text{-}2\cdot 10^{-4}$	20-30	-	250^0 - 300^0
Політрифторхлоретилен (фторопласт-3)	2,3	10^{15} - 10^{16}	10^{17}	$1\text{-}2\cdot 10^{-2}$	20-25	-	190^0
Поліхлорвініл	3-5	10^{13} - 10^{14}	10^{13} - 10^{14}	$3\text{-}8\cdot 10^{-2}$	15-20	-	60^0 - 70^0
Поліметилметакрилат (органічне скло)	3,5-4,5	10^{11} - 10^{12}	10^{11} - 10^{12}	$2\text{-}8\cdot 10^{-2}$	20-30	-	70^0 - 90^0
Епоксидні смоли	3-4	10^{12} - 10^{13}	10^{13}	$1\text{-}3\cdot 10^{-2}$	20-80	-	120^0 - 140^0
Поліамідні смоли	3-4	10^{11} - 10^{12}	10^{12}	$1\text{-}4\cdot 10^{-2}$	15-20	-	100^0 - 120^0
Фенолформальдегідні смоли	5-6,5	10^{11} - 10^{12}	10^{11} - 10^{12}	$1\text{-}10\cdot 10^{-2}$	10-20	-	110^0 - 120^0
Полівінілхлорид (вініпласт)	3,2-4	10^{12} - 10^{13}	10^{14}	$1\text{-}5\cdot 10^{-2}$	15-35	-	65^0
Полікарбонат	3,2	10^{14} - 10^{15}	10^{14} - 10^{15}	$4\text{-}8\cdot 10^{-3}$	30	-	150^0 - 165^0
Кремнієорганічні смоли	3-5	10^{12} - 10^{13}	10^{13} - 10^{14}	$1\text{-}3\cdot 10^{-2}$	15-20	-	180^0

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Ебоніт	2,8-4,5	$10^{13}-10^{14}$	$10^{12}-10^{13}$	$6-15 \cdot 10^{-3}$	17-25	-	50^0-100^0
Ескапон	2,7-3	10^{15}	10^{16}	$5 \cdot 10^{-4}$	35	-	80^0-100^0
Слюда-мусковіт	6,8-7,2	$10^{11}-10^{13}$	$10^{11}-10^{12}$	$4-8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
Слюда-флогопіт	6,2-6,8	10^{12}	$10^{10}-10^{11}$	$6-15 \cdot 10^{-2}$	-	-	-
Мікалекс	6,0-8,5	$10^{10}-10^{12}$	$10^{10}-10^{12}$	$3-10 \cdot 10^{-2}$	10-20	$3 \cdot 10^{-4}$	300^0-350^0
Ультрафарфор	8	$10^{11}-10^{12}$	$10^{11}-10^{12}$	$3-6 \cdot 10^{-4}$	25-30	$1 \cdot 10^{-4}$	160^0
Гетинакс	5-6	10^9-10^{10}	10^{11}	$4-10 \cdot 10^{-2}$	20-25	-	150^0
Текстоліт	6-8	10^{10}	10^{10}	$7 \cdot 10^{-2}$	6-8	-	135^0
Склотекстоліт	6-12	10^{10}	-	$6 \cdot 10^{-2}$	120	-	200^0
Ситал	5-7	$10^{10}-10^{12}$	-	$1 \cdot 10^{-3}$	20-80	-	-
Тиконд Т-40	40	$10^{10}-10^{11}$	-	$3 \cdot 10^{-4}$	8-10	$-8 \cdot 10^{-5}$	-
Тиконд Т-80	80	10^8-10^9	10^9	$4 \cdot 10^{-4}$	10-12	$-7 \cdot 10^{-4}$	160^0
Тиконд Т-130	130	$10^{10}-10^{11}$	-	$3 \cdot 10^{-4}$	25-35	$-1,25 \cdot 10^{-3}$	-
Тиконд Т-150	150	$10^{10}-10^{12}$	-	$2-5 \cdot 10^{-4}$	10-12	$-1,3 \cdot 10^{-3}$	-
Тиконд Т-300	300	10^9-10^{10}	-	$4-6 \cdot 10^{-4}$	6-8	$-3,3 \cdot 10^{-3}$	-

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Основні фізичні властивості деяких чистих металів

Метал	Алюміній Al	Залізо Fe	Золото Au	Мідь Cu	Нікель Ni	Свинець Pb	Срібло Ag	Вольфрам W	Молібден Mo	Тантал Ta
Щільність d , Мг/м ³	2,7	7,87	19,30	8,92	8,96	11,34	10,49	19,3	10,2	16,6
Температура плавлення, °С	660	1540	1063	1083	1453	327	961	3400	2620	3000
Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	923	453	134	386	440	130	235	142	272	150
Температурний коэф. лінійного розширення, TKI·10 ⁶ , К ⁻¹	21	10,7	14	16,6	13,2	28,3	18,6	4,4	5,3	6,6
Питомий електричний опір, мкОм·м	0,028	0,097	0,0225	0,017	0,068	0,19	0,016	0,055	0,05	0,124
Температурний коэф. питомого опору, TKp·10 ³ , К ⁻¹	4,1	6,2	3,9	4,3	6,7	4,2	4,1	5,0	4,3	3,8

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань та самостійної роботи
з дисципліни

«ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНІКА ВИСОКИХ НАПРУГ»

Відповідальний за випуск Сушко Д. Л.

Редактор Буранова Н. В.

Підписано до друку 29.06.21 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,5. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.