

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

## **МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

*Методичні вказівки*

**до виконання лабораторних робіт  
для студентів напряму підготовки  
6.050802 – "Електронні пристрої та системи"**

Чернігів ЧДТУ 2011

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

## **МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

*Методичні вказівки*

до виконання **лабораторних робіт**  
для студентів напряму підготовки  
6.050802 – "Електронні пристрої та системи"

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри  
промислової електроніки  
протокол № 12 від 24.06. 2011 р.

Чернігів ЧДТУ 2011

Матеріали електронної техніки. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050802 –"Електронні пристрої та системи" / Укл.: Ревко А.С., Савенко О.В. – Чернігів: ЧДТУ. – 2011. – 54 с.

Укладачі: Ревко Анатолій Сергійович, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри промислової електроніки  
Савенко Олександр Васильович, старший викладач кафедри  
промислової електроніки

Відповідальний за випуск: Денисов Юрій Олександрович, завідувач кафедри  
промислової електроніки, доктор технічних наук,  
професор

Рецензент: Рогоза Олександр Володимирович, кандидат фізико-математичних  
наук, доцент, декан механіко-технологічного факультету Чернігівсь-  
кого державного технологічного університету

## Зміст

Вступ.....	4
<b>1 Лабораторна робота №1. ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПОРІВ ТВЕРДИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ .....</b>	<b>5</b>
1.1 Прилади і матеріали.....	5
1.2 Теоретичні відомості .....	5
1.3 Експериментальна частина .....	8
1.4 Порядок виконання роботи .....	10
1.5 Контрольні запитання.....	11
<b>2 Лабораторна робота №2. ВИВЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ.....</b>	<b>12</b>
2.1 Прилади і матеріали.....	12
2.2 Теоретичні відомості .....	12
2.3 Порядок виконання роботи .....	31
2.4 Контрольні запитання.....	32
<b>3 Лабораторна робота №3. ВИВЧЕННЯ РЕЗИСТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ.....</b>	<b>33</b>
3.1 Прилади і матеріали.....	33
3.2 Теоретичні відомості .....	33
3.3 Порядок виконання роботи .....	43
3.4 Контрольні запитання.....	44
<b>4 Лабораторна робота №4. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ.....</b>	<b>45</b>
4.1 Прилади і матеріали.....	45
4.2 Теоретичні відомості .....	45
4.3 Експериментальна частина .....	49
4.4 Порядок виконання роботи .....	50
4.5 Контрольні запитання.....	51
Перечень посилань.....	52
Додаток А. Стандартні ряди номінальних значень.....	53
Додаток Б. Кольорове маркування резисторів.....	54

## Вступ

Ці методичні вказівки призначені для студентів другого курсу галузі знань 0508 – "Електроніка" напрям підготовки 6.050802 – "Електронні пристрої та системи" денної та заочної форм навчання та служать для допомоги студентам під час підготовки та виконання лабораторних робіт з дисциплін "Матеріали електронної техніки".

Метою проведення лабораторних робіт є отримання практичних навичок по роботі з матеріалами електронної техніки, резисторами, конденсаторами, навичок по роботі з вимірювальними пристроями, що використовуються для вимірювання параметрів вищезазначених матеріалів та елементів.

Цикл лабораторних робіт виконується протягом семестру і охоплює основні теми курсу "Матеріали електронної техніки". Теоретичною основою для виконання лабораторних робіт є курс лекцій, теоретичні відомості на початку кожної лабораторної роботи даних методичних вказівок та навчальна література.

Описи лабораторних робіт виконані по єдиній структурі та включають до себе мету роботи, короткі теоретичні відомості, практичну частину, план виконання лабораторної роботи та контрольні запитання для підготування до захисту роботи.

Для допущення до виконання лабораторної роботи студенту необхідно продемонструвати заздалегідь план виконання роботи, який повинен включати:

- 1) Назву лабораторної роботи.
- 2) Тему лабораторної роботи та мету.
- 3) Короткі теоретичні відомості.
- 4) Послідовність виконання.

Відповісти на запитання по темі роботи (відібрати з представлених зразків саме ті компоненти, які досліджуються в даній роботі тощо).

Після виконання роботи студентом складається звіт, в який входить вищевказаний план та результати вимірів і розрахунків, графіки та довідковий матеріал, що потрібен, в залежності від результатів виконання, висновки по роботі. В подальшому звіт захищається на лабораторному занятті.

В кінці семестру, після виконання та захисту всіх лабораторних робіт, складається загальний звіт по циклу лабораторних робіт, куди входять звіти по окремих роботах, титульний лист, зміст та список використаної літератури. Цей звіт здається викладачу перед отриманням підсумкової оцінки по курсу "Матеріали електронної техніки".

# 1 Лабораторна робота №1

## ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПОРІВ ТВЕРДИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

**Мета роботи:** практичне ознайомлення с характеристиками досліджуваних діелектричних матеріалів і методикою їх вимірювання.

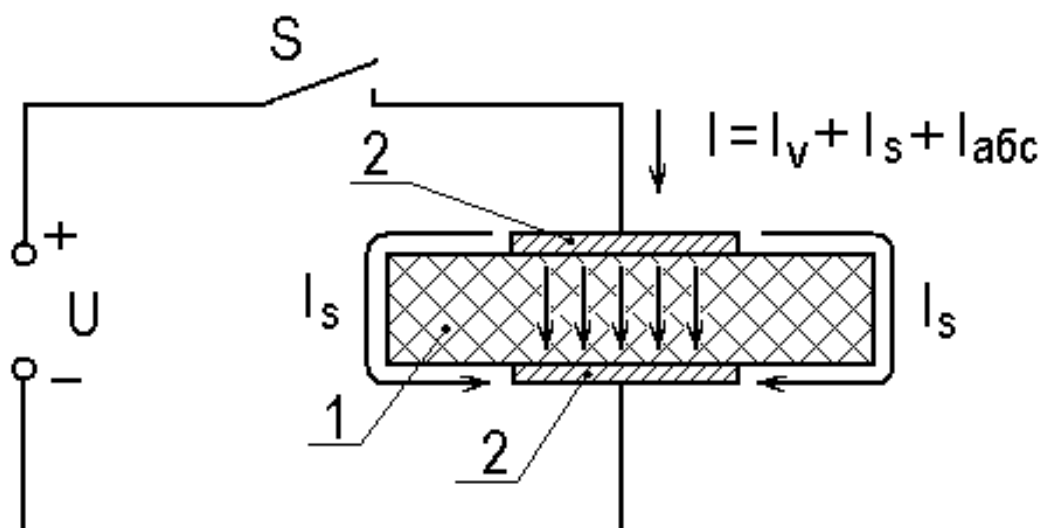
### 1.1 Прилади і матеріали

- 1) Тераомметр типу Е6-13А.
- 2) Електрод з запобіжним кільцем.
- 3) Вимірювальна камера.
- 4) Набір діелектриків (ситал, склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, мікалекс, слюда, ебоніт, вініпласт і т.д.).

### 1.2 Теоретичні відомості

В порівнянні з електропровідністю провідників и напівпровідників електропровідність діелектриків має ряд характерних особливостей.

По-перше, технічні діелектрики мають деяку кількість вільних електронів, завдяки чому в діелектрику під дією електричного поля виникають слабкі струми об'ємної  $I_v$  и поверхневої  $I_s$  втрати (рисунок 1.1).



*1 – діелектрик; 2 – електроди (обкладки конденсатора)*

*Рисунок 1.1 – Напрями струмів об'ємного и поверхневого витікання*

Величини цих струмів залежать від питомого *об'ємного* і питомого *поверхневого* електричних опорів діелектрика:  $R_V = \frac{U}{I_V}$  та  $R_S = \frac{U}{I_S}$ .

Загальний опір ізоляції визначають як результуючий двох паралельно увімкнених опорів (див. формулу (1.1)).

$$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S} \quad (1.1)$$

Другою характерною особливістю електропровідності діелектриків є поступовий спад струму у часі (рисунок 1.2) після підключення постійної напруги (замикання контакту (на рисунку 1.1)).

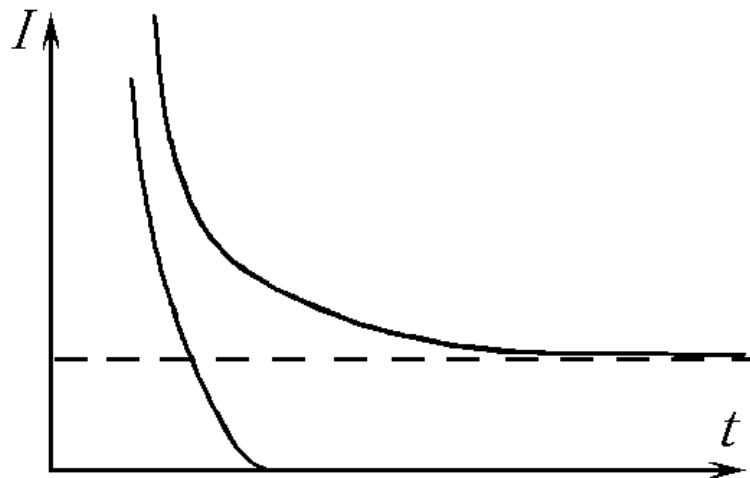


Рисунок 1.2 – Зміна струму в діелектрику після підключення постійної напруги.

В початковий проміжок часу у колі протікає швидко спадаючий струм зміщення  $I_{зм}$ , густина якого  $j_{зм} = \partial D / \partial t$ . Струм зміщення припиняється за час порядку сталої часу схеми джерело-зразок, який дуже малий. Однак і після цього повний струм продовжує змінюватись, часто, протягом тривалого часу (хвилин, годин).

Повільну змінну складову струму, обумовлену перерозподілом вільних зарядів в об'ємі діелектрика, називають *струмом абсорбції*  $I_{абс}$ . Струм абсорбції зв'язаний з поглинанням носіїв заряду об'ємом діелектрика: частина носіїв зустрічає на своєму шляху уловлювачі – дефекти кристалічної решітки, які захоплюють і утримують носії. З часом, коли усі уловлювачі заповняться носіями, струм абсорбції припиняється, і залишається тільки незмінний у часі прохідний струм, який обумовлений рухом носіїв заряду від одного електроду до другого і дорівнює сумі об'ємного та поверхневого прохідних струмів:  $I_{нск} = I_V + I_S$ .

Струм абсорбції призводить до накопичення носіїв заряду в певних місцях діелектрика: на дефектах решітки, межах розділу, неоднорідностях тощо. Внаслідок появи об'ємних зарядів розподіл напруженості поля в діелектрику стає неоднорідним. Накопичення в діелектрику об'ємних зарядів призводить і до та-

кого небажаного явища, як неповний розряд конденсатора при короткому замиканню його обкладинок.

При вимірюванні питомого опору діелектрика струм абсорбції необхідно виключити, витримуючи зразок під напругою протягом деякого часу.

Електропровідність твердих діелектриків дуже часто носить не електронний, а іонний характер. Це пов'язано з тим, що ширина забороненої зони в діелектриках  $\Delta W \gg kT$  і лише дуже мала кількість електронів може відриватися від своїх атомів за рахунок теплового руху. Іони ж часто виявляються слабо зв'язаними у вузлах решітки і енергія  $W$ , необхідна для їх зриву, порівнянна з  $kT$ . Наприклад, у кристалі  $NaCl$   $\Delta W = 6 \text{ eV}$ , а енергія відриву іона (енергія активації) натрію  $W = 0,85 \text{ eV}$ . Тому, не дивлячись на меншу рухливість іонів  $\mu_i$  порівняно з рухливістю електронів  $\mu_e$ , іонна провідність виявляється більшою за електронну за рахунок більшої концентрації вільних іонів  $q_i n_i \mu_i \gg e n_e \mu_e$ .

Питома електрична провідність твердих діелектриків зростає із зростанням температури за експоненціальним законом:  $\gamma = q n \mu \sim \exp(-W/kT)$ .

При цьому температурна залежність  $\gamma(T)$  обумовлена не експоненціальним зростанням концентрації носіїв, а ростом їх рухливості:  $\mu \sim \exp(-W/kT)$ .

Звичайно, в діелектрику існують декілька видів носіїв заряду. Наприклад, крім іонів основної речовини можуть бути присутні слабо зв'язані іони домішок. В цьому випадку питома провідність складається з власної провідності з енергією активації  $W_{en}$  і домішкової провідності з енергією активації  $W_d$  див. формулу (1.2)

$$\mu = A_1 \cdot \exp(-W_{en}/kT) + A_2 \cdot \exp(-W_d/kT). \quad (1.2)$$

В широкому діапазоні температур залежність логарифму питомої провідності від оберненої величини абсолютної температури  $\mu(1/T)$  повинна складатися з двох прямолінійних ділянок з різними кутами нахилу до осі абсцис (рисунк 1.3).

При температурі вище точки  $A$  електропровідність визначається в основному власними дефектами – ця область є *високотемпературною*, або *власної* електропровідності. Нижче точки зламу, в області *низькотемпературної*, або *домішкової* електропровідності, залежність більш полого. Температура, за якої спостерігається злам залежності  $\lg \mu = f(1/T)$ , вельми залежить від ступеню чистоти й досконалості кристалу. При збільшенні вмісту домішок й дефектів домішкова питома провідність зростає і виявляється суттєвою при більш високих температурах. За нахилами прямолінійних ділянок залежностей  $\lg \mu = f(1/T)$  (рисунк 1.3) можна визначити енергію активації носіїв заряду та їх природу.

Власна електропровідність твердих тіл та характер зміни її від температури визначаються структурою та складом речовини. В тілах кристалічної будови з іонною решіткою електропровідність зв'язана з валентністю іонів. Кристали з одновалентними іонами мають більшу питому провідність порівняно з багатовалентними іонами.

В анізотропних кристалах питома електропровідність не однакова по різних кристалографічних осях. Наприклад, в кварці питома провідність в напрям-



ку, паралельному головній осі Р, приблизно в 1000 разів більше, ніж в напрямку, перпендикулярному до цієї осі.

В кристалічних тілах з молекулярною решіткою (сірка, поліетилен) питома провідність мала і визначається тільки домішками.

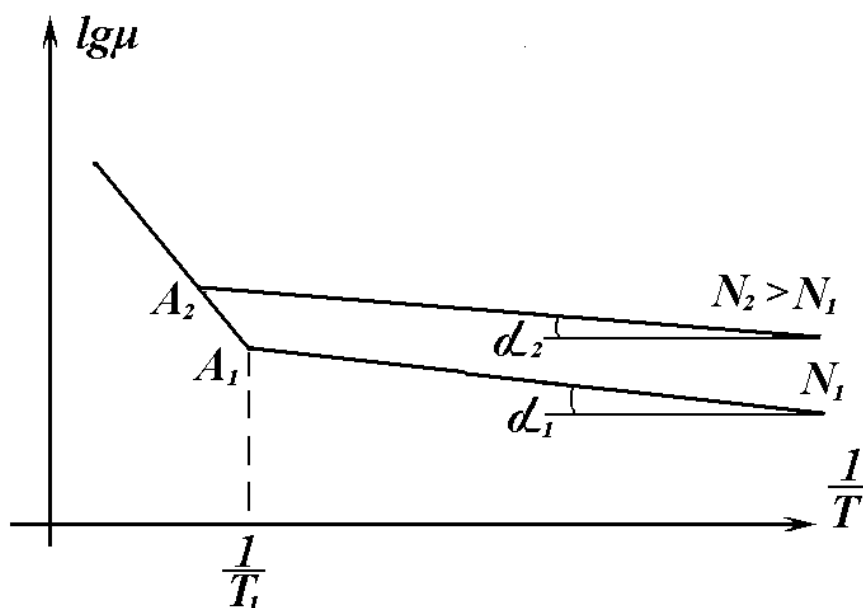


Рисунок 1.3 – Температурна залежність питомої електричної провідності діелектрика.

В кристалічних тілах з молекулярною решіткою (сірка, поліетилен) питома провідність мала і визначається тільки домішками.

Величина питомої провідності аморфних тіл зв'язана передусім з їх складом. Високомолекулярні органічні полімери мають питому провідність, залежну в значній мірі від ряду факторів: хімічного вмісту й належності домішок; ступеня полімеризації (для фенолформальдегідної смоли); ступеня вулканізації (для гуми) тощо. Органічні неполярні аморфні діелектрики, як наприклад полістирол, відрізняються дуже незначною питомою провідністю.

Провідність твердих пористих діелектриків при наявності в них вологи, навіть в незначній кількості, значно збільшується.

Для порівняльної оцінки об'ємної і поверхневої електропровідності різних матеріалів використовують також питомий об'ємний опір  $\rho_V$  і питомий поверхневий опір  $\rho_S$ .

### 1.3 Експериментальна частина

Для визначення питомого об'ємного електричного опору використовують вимірювальну комірку з трьома металічними електродами 1, 2 і 5. Зразок діелектрика поміщають між електродами 1 та 5 (на електрод 5 подається високий потенціал, а електрод 1 використовується в якості вимірювального). Електрод 2 заземлюється та використовується в якості захисного – виключає протікання поверхневого струму між електродами 1 та 5 (рисунок 1.4).

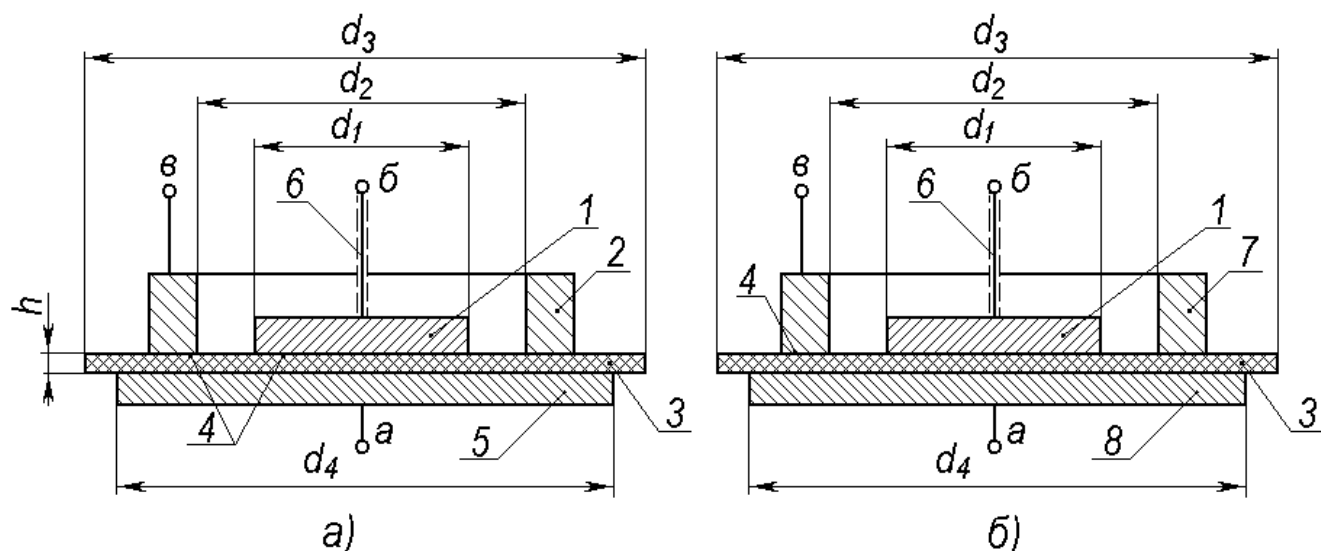
Питомий об'ємний опір  $\rho_v$  діелектрика визначається за формулою (1.3).

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h}, \quad (1.3)$$

де:  $R_v$  – об'ємний електричний опір зразка, Ом;

$S$  – площа верхнього електрода,  $\text{см}^2$ ,  $S = \frac{\pi d_1^2}{4}$ ;

$h$  – товщина зразка діелектрика, см.



1 – вимірювальний електрод, 2 та 8 – охоронний електрод, 3 – зразок діелектрика, 4 – фольга, 5 – циліндричний електрод високого потенціалу, 6 – екран, 7 – кільцевий електрод високого потенціалу; а, б, в – затискачі

Рисунок 1.4 – Електроди і зразки для вимірювання питомого об'ємного (а) і питомого поверхневого (б) опорів твердих діелектриків

Для визначення питомого поверхневого електричного опору також використовують вимірювальну комірку з трьома металічними електродами 1, 7 та 8 (рисунок 1.4 б). Електрод 1 використовується в якості вимірювального, на електрод 7 подається висока напруга, а електрод 8 використовується в якості захисного (для виключення протікання струму через об'єм діелектрика). об'ємі

Питомий електричний опір в цьому випадку розраховують за формулою (1.4).

$$\rho_s = R_s \frac{\pi(d_2^2 + d_1^2)}{d_2 - d_1}, \quad (1.4)$$

де:  $R_s$  – поверхневий електричний опір поверхні зразка діелектрика, яка знаходиться поміж електродами 1 і 7, Ом;

$d_1$  – діаметр електрода 1, мм;

$d_2$  – внутрішній діаметр кільцевого електрода 7, мм.

Питомий опір  $\rho$  деяких матеріалів приведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Питомий опір деяких діелектриків при 20°C

Діелектричний матеріал	$\rho$ , Ом·м
Бакеліт	$10^{16}$
Бензол	$10^{15} \dots 10^{16}$
Папір	$10^{15}$
Вода дистильована	$10^4$
Вода морська	0,3
Дерево, сухе	$10^9 \dots 10^{13}$
Земля, волога	$10^2$
Кварцове скло	$10^{16}$
Гас	$10^{10} \dots 10^{12}$
Мармур	$10^8$
Парафін	$10^{14} \dots 10^{16}$
Парафінова олія	$10^{14}$
Плексиглас (оргскло)	$10^{16}$
Полістирол	$10^{16}$
Поліхлорвініл (ПВХ)	$10^{13}$
Поліетилен	$10^{10} \dots 10^{13}$
Силіконова олія	$10^{13}$
Слюда	$10^{14}$
Скло	$10^{11}$
Трансформаторна олія	$10^{10} \dots 10^{12}$
Порцеляна	$10^{11}$
Шифер	$10^6$
Ебоніт	$10^{16}$
Бурштин	$10^{18}$
Склотекстоліт	$10^6 \dots 10^{13}$
Текстоліт	$10^6 \dots 10^7$
Гетинакс	$10^7$

#### 1.4 Порядок виконання роботи

1. Поставити перемикач на задній панелі тераомметра «10 – 100 V» в положення «100 V».
2. Увімкнути тераомметр в мережу і дати прогрітися від 2 до 3 хв. Кнопка установки нуля «Уст 0» повинна бути при цьому втоплена.
3. Виставити ручкою «Уст 0 точно» стрілку приладу на нуль шкали.
4. Підключити вимірну комірку до гнізд «гх».
5. Розвести диски вимірювальної комірки, вкласти досліджуваний зразок, вимірявши попередньо його розміри, опустити верхній диск комірки і злегка притиснути ним зразок.

6. Віджати кнопку «Уст 0», плавно натиснувши і відпустивши її. Перемикачем діапазонів вимірюваних опорів, вивести стрілку з крайніх положень шкали.
7. Записати шуканий опір по відповідній шкалі (верхня шкала – якщо положення перемикача діапазонів відповідає множнику «10×», або друга зверху, якщо перемикач стоїть біля множника «3·10×»).
8. Втопити кнопку установки нуля.
9. Повторити вимірювання п.п. від 5 до 8 для наступного діелектрика.
10. Після вимірювання  $R_V$  для всіх діелектриків розрахувати величину питомого об'ємного електричного опору за формулою (1.3). Результати вимірювань та розрахунку записати в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати виконання роботи

№ п/п	Найменування випробовуваного матеріалу	$h$	$S$	$R_V$	$\rho_V$ (розрах.)	$\rho_V$ (літ.)
1.						
- - - - -						
n.						

11. Порівняти літературні і експериментальні дані. Зробити висновки щодо можливостей застосування досліджених діелектриків.

### 1.5 Контрольні запитання

1. Поляризація діелектриків.
2. Струми зміщення та електропровідність діелектриків.
3. Діелектричні втрати.
4. Пробій діелектриків.
5. Класифікація пасивних діелектриків.
6. Будова полімерів.
7. Властивості полімерів.
8. Лінійні полімери.
9. Композиційні порошкові пластмаси.
10. Шарові пластики.
11. Електроізоляційні компаунди.
12. Неорганічні стекла.
13. Ситали.
14. Кераміка.
15. Електроізоляційні матеріали.

## 2 Лабораторна робота №2 ВИВЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ

**Мета роботи:** ознайомлення з основними типами конденсаторів, особливостями їх застосування, способами маркування, а також з методами вимірювання їх параметрів.

### 2.1 Прилади і матеріали

- 1) Універсальний вимірювач RLC – E7-11.
- 2) Універсальний вимірювач RLC-2.
- 3) Набір конденсаторів різних видів, типів та номіналів.

### 2.2 Теоретичні відомості

*Конденсатор* – це елемент електронної апаратури, який складається з двох або більше провідникових обкладинок, розділених діелектричними прокладками.

Конденсатори призначені для накопичення електричних зарядів, створення реактивного ємнісного опору.

**Класифікація конденсаторів.** Конденсатори класифікують за декількома ознаками, зокрема: зміною ємності, способами керування нею, матеріалом діелектрика, геометричною конфігурацією, робочою напругою, початковим відхиленням ємності, температурною стабільністю, застосуванням.

Класифікація за зміною ємності передбачає поділ на конденсатори постійної ємності, конденсатори змінної ємності, підстроювальні.

Два останні види конденсаторів відрізняються між собою переважно частотою зміни ємності. Ємність підстроювальних конденсаторів змінюється рідко (лише під час настроювання апаратури), в той час як ємність конденсаторів змінної ємності – часто (постійно під час роботи з електронною апаратурою).

Класифікація за способами керування ємністю передбачає поділ на конденсатори з механічним керуванням та конденсатори з електричним керуванням. Останні, в свою чергу, поділяються на дві підгрупи: варикапи – конденсатори, побудовані на зворотно-зміщених р-п-переходах та варіконди – конденсатори, виготовлені на сегнетоелектриках.

Залежно від матеріалу діелектрика, який використовують для прокладки, розрізняють вакуумні, повітряні, з твердим неорганічним діелектриком (слюдяні, керамічні, склоситалові), з твердим органічним діелектриком (паперові, металопаперові, лакоплівкові) конденсатори (таблиця 2.1).

В окрему групу виділяють електролітичні конденсатори, які мають тонкі, а іноді пористі окисні діелектрики і, часто, рідку електролітичну обкладку, що забезпечує контакт по всій поверхні пор.

Таблиця 2.1 – Система умовних позначень конденсаторів

Група конденсаторів	Позначення	Старе позначення
Постійної ємності		
Керамічні на напругу нижче 1600 В	K10	КМК, КЛГ, КЛС, КМ, КП, КПС, КД, КДУ, КТ, КТБ, КТН, УПТ, КО, КДО, КМ-С
Керамічні на напругу 1600 В і вище	K15	КВИ, КВЦ, КВДС
Скляні	K21	КС, ДС
Склокерамічні	K22, K23	СКМ, СКМ-Т
Тонкоплівкові	K26	
Слюдяні малої потужності	K31	КСГ, КСО, КСОТ, СГМ, СГВ, СГО-С, ОСГ, ССГ
Слюдяні великої потужності	K32	
Паперові на напругу до 2 кВ, фольгові	K40	КБП, КБГ, ОКБП, ООПБТ, КБП, БМ, БГТ, КВГ, БМТ, КМБП
Паперові на напругу 2 кВ і вище, фольгові	K41	
Паперові металізовані	K42	МБГВ, МБГ, МБГО, МБГТ, МБГЧ, МБМ
Оксидні алюмінієві	K50	КЭ, ЭГЦ, ЭМ
Оксидні танталові, ніобієві і ін.	K51	ЭТ, ЭТН
Об'ємно-пористі	K52	ЭТО
Оксидно-напівпровідникові	K53	КОПП
З повітряним діелектриком	K60	
Вакуумні	K61	В, КВ, ВВ, ВМ
Полістирольні (фольгові)	K71(K70)	МПО, МПГЦ, МПГП, МПГО, ОППТ, ПМ, ПО, МПС, ПОВ
Фторопластові	K72	ФТ, ФГТИ, ФЧ
Поліетилентерeftалатні (фольгові)	K73(K74)	ПМГП, КМПМ
Комбіновані	K75	ПКГИ, ПКГТ
Лакоплівкові	K76	
Полікарбонатні	K77	
Поліпропіленові	K78	
Підстроювальні (КТ) та змінні (КП)		
Вакуумні	КТ1, КП1	
З повітряним діелектриком	КТ2, КП2	КПВ, КПВМ,
З газоподібним діелектриком	КТ3, КП3	
З твердим діелектриком	КТ4, КП4	КПК, КПК-М, КПКТ, КВК, ММКТ

За геометричною конфігурацією конденсатори поділяють на циліндричні, трубчасті, дискові, призматичні.

За робочою напругою розрізняють низьковольтні і високовольтні конденсатори.

За початковими відхиленнями ємності (допусками) конденсатори поділяють на елементи загального призначення і прецизійні.

Також конденсатори можна розділити на неполярні (робота конденсатора не залежить від полярності прикладеної напруги) та полярні (конденсатори, під час роботи з якими необхідно дотримувати полярність напруги для запобігання виходу прибору з ладу чи некоректної його роботи).

За температурною стабільністю поділяють конденсатори на групи і підгрупи в залежності від температурного коефіцієнту ємності (ТКЄ).

ТКЄ може бути додатнім (позначається буквою «П» або «Р»), від'ємним («М» або «N»), близьким до нуля («МП» або «NP0») чи ненормованим («Н»). Після букви «П» або «М» зазначається значення ТКЄ у  $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ , тобто відносна зміна ємності в мільйонних частках на один градус Цельсія. Після букви «Н» зазначається максимальне відхилення ємності конденсатора від номінального у відсотках в заданому температурному діапазоні. Графіки ймовірних змін ємностей з різним ТКЄ наведені на рисунку 2.1.

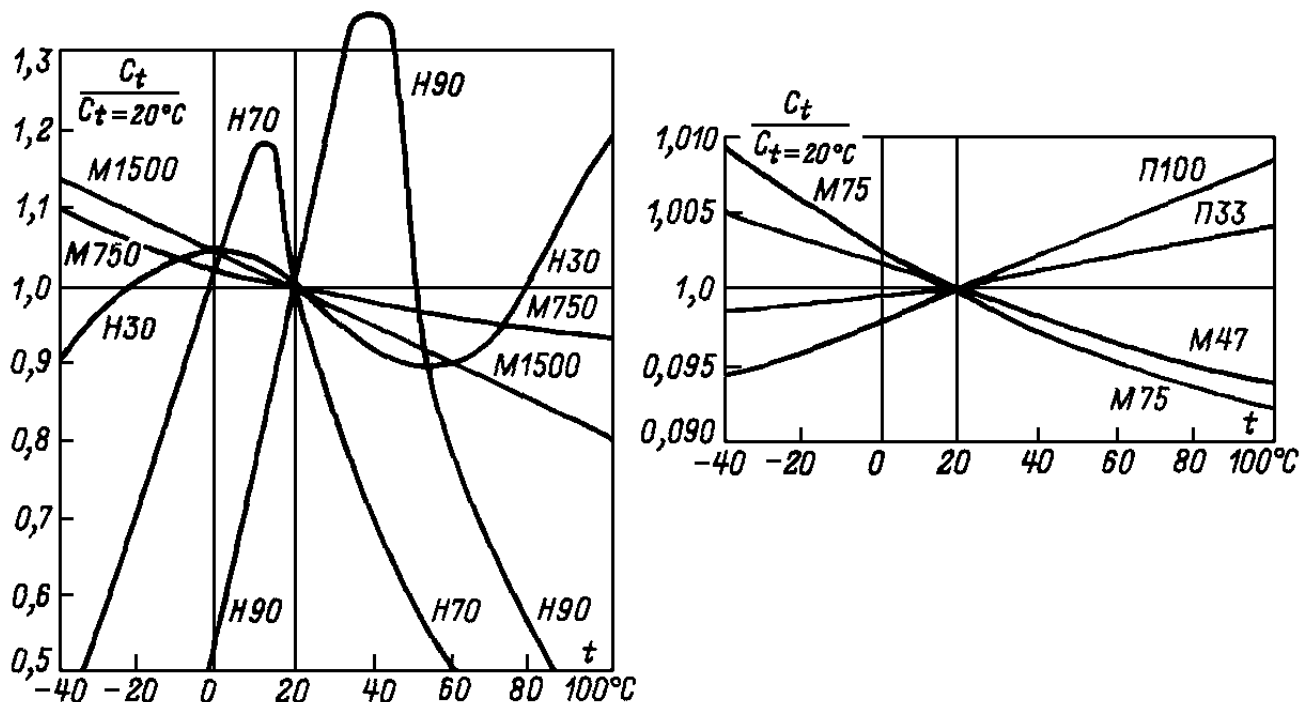


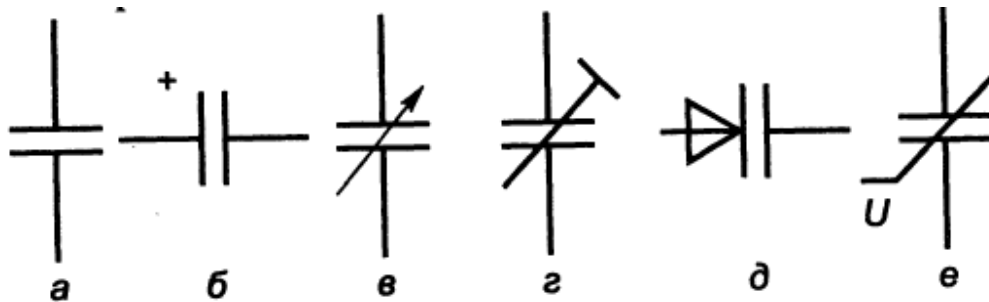
Рисунок 2.1 – Графік зміни ємності конденсаторів з різним типом ТКЄ від температури

За застосуванням конденсатори поділяють на контурні, блокувальні, накопичувальні, фільтрові, спеціальні.

**Умовні зображення і позначення.** Умовні зображення конденсаторів на схемах наведено на рисунку 2.2.

Умовні позначення дискретних конденсаторів містять тип, варіант конструкції, групу за температурною стабільністю, номінальну напругу, номінал

ємності, допуск, групу за інтервалом робочої температури. Наприклад, «КТ-1Е-П120-200-10±10 %» означає конденсатор керамічний, трубчастий, варіант конструкції 1Е, група за температурною стабільністю П120, напруга 200 В, ємність 10 пФ, допуск ±10 %, група за інтервалом робочих температур не вказана.



*а - нерегульований; б, - полярний; в - регульований; г – підстроювальний; д – варикап; е – варіконд*

*Рисунок 2.2 – Умовні зображення конденсаторів на схемах*

На схемах номінальна ємність конденсаторів зазвичай вказується в мікрофарадах, пікофарадах і нанофарадах. Якщо ємність конденсатора вказується пікофарадах, то допустимо не вказувати одиницю виміру, тобто, «пФ» опускають. При позначенні номіналу ємності в інших одиницях вказують одиницю виміру. Для електролітичних конденсаторів, а також для високовольтних конденсаторів на схемах, після позначення номіналу ємності, вказують їх максимальну робочу напругу у вольтах (В) чи кіловольтах (кВ). Наприклад так: «10 мкФ × 10 В». Для змінних конденсаторів вказують діапазон зміни ємності, наприклад так: «10 - 180».

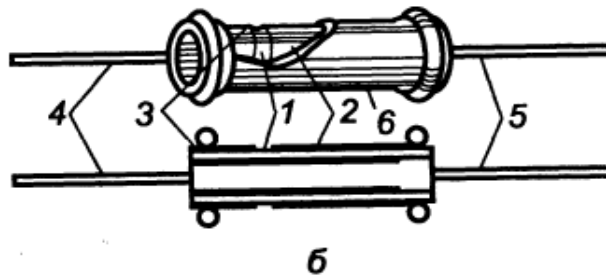
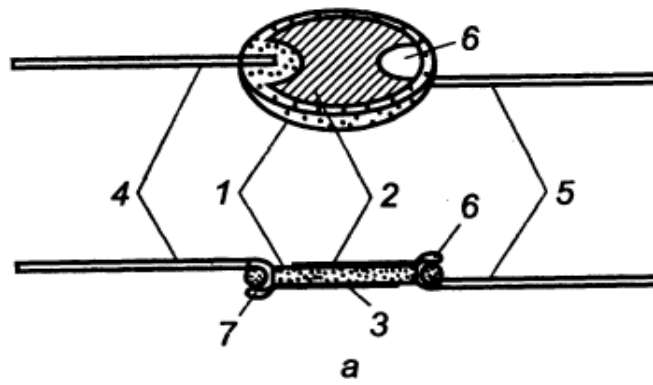
Виготовляють конденсатори з номінальною ємністю із десяткових логарифмічних рядів значень: Е3, Е6, Е12, Е24 (Додаток А). Хоча раніше використовувалися і інші ряди, наприклад номінали кратні п'яти (... , 1, 5, 10, 50, ... ).

**Будова.** Конструкція конденсаторів постійної ємності відрізняється від конструкції конденсаторів змінної ємності. Крім того, існують відмінності в зовнішньому вигляді та формі як різних видів конденсаторів постійної ємності, так і різних конденсаторів змінної ємності.

Але спільним для них є набір основних елементів конструкції, який включає діелектричні прокладки, провідникові обкладинки, елементи з'єднання обкладинок, зовнішні виводи і елементи їх з'єднання з обкладинками, елементи захисту, елементи кріплення в апаратурі. Конденсатори змінної ємності з механічним керуванням додатково мають елементи переміщення ротора та елементи його фіксації.

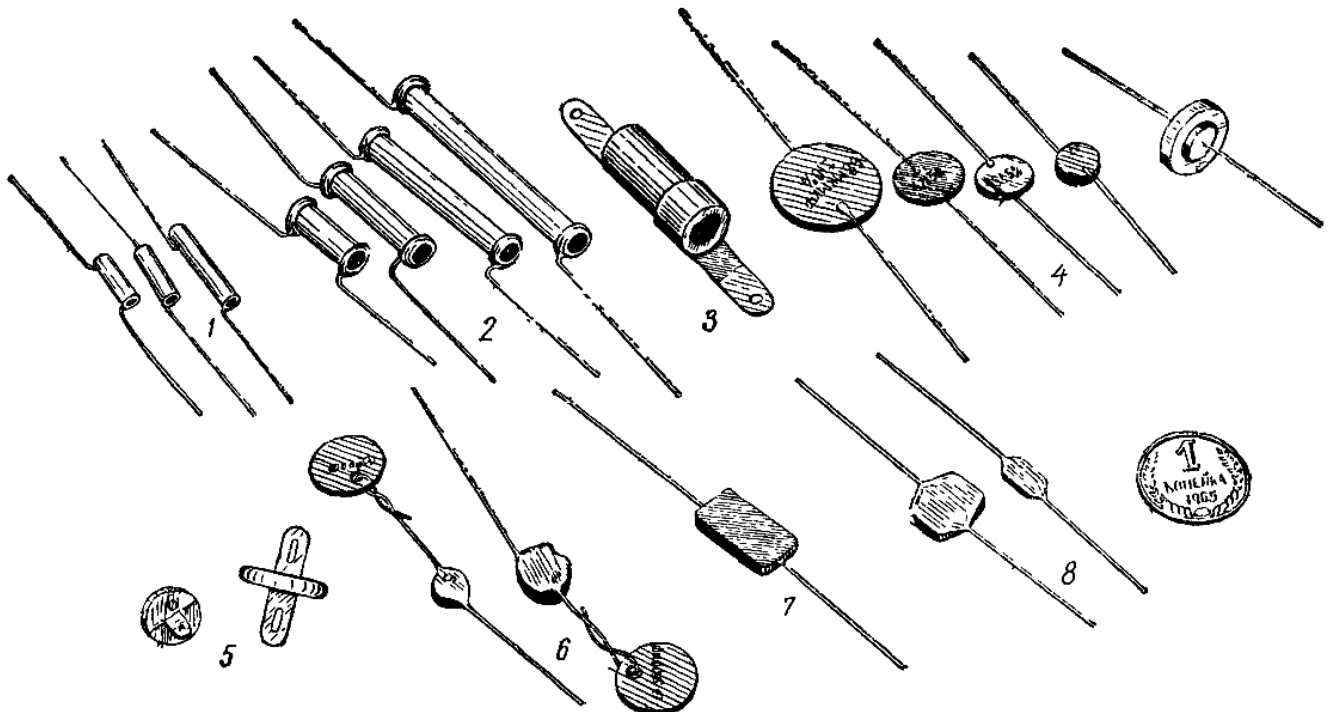
Керамічні конденсатори постійної ємності – це конструкції, в яких керамічна механічна основа одночасно є діелектриком. На неї з обох боків нанесено металеві обкладинки, до яких підключені виводи (рисунок 2.3, 2.4). Захист виконано склоемаллю. Для роботи в несприятливих кліматичних умовах розроблено конструкції герметизованих керамічних конденсаторів з додатковим керамічним корпусом.





*а - дискові: 1 - керамічний диск; 2,3- обкладки; 4,5- виводи; 6,7- припій;  
 б - трубчасті: 1 - керамічна трубка; 2 - зовнішня обкладка; 3 – внутрішня обкладка; 4,5- виводи; 6 - емалеве покриття*

*Рисунок 2.3 – Будова керамічних конденсаторів*

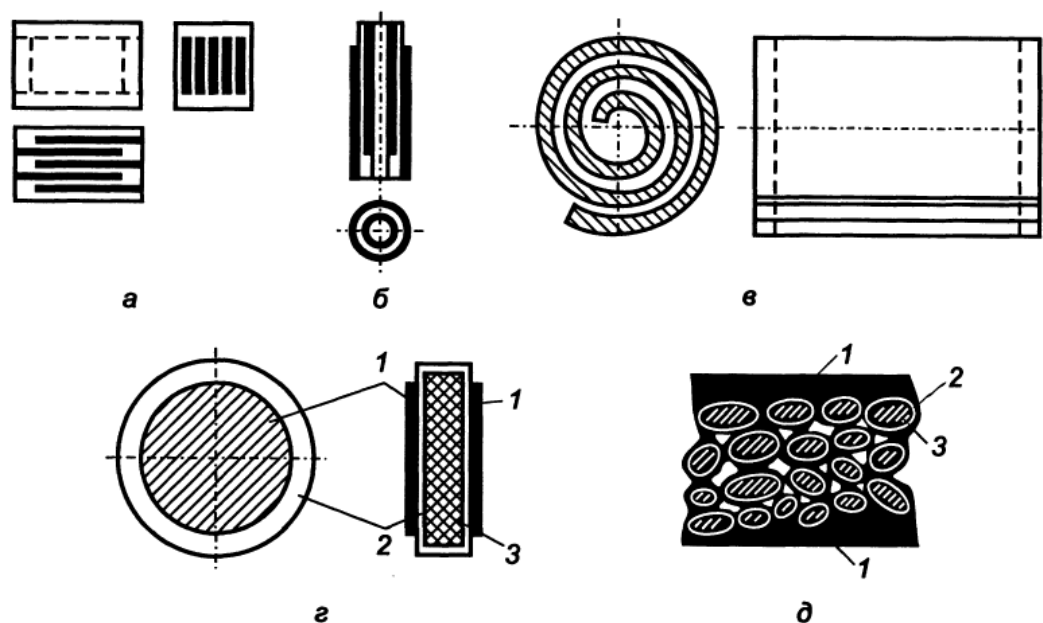


*1 – КТ-1; 2 – КТ-2; 3 – КТ-3; 4 – КД; 5 – КДУ; 6 – КПМ; 7 – КС; 8 – КЛС*

*Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд керамічних конденсаторів*

Керамічні конденсатори широко використовують у коливальних контурах, а також в якості блокувальних, перехідних та ін. Вони характеризуються високими електричними показниками, малими розмірами та дешевизною.

Для потреб мікромініатюризації розроблено конструкції малогабаритних керамічних конденсаторів великої питомої ємності. До них належать монолітні конденсатори, конденсатори типу церол і церафіл, конденсатори з бар'єрним і примежовими шарами (рисунок 2.5).



*а - монолітний; б - церафіл; в - церол; г - з бар'єрним шаром;  
д - з примежовим шаром: 1 - обкладка; 2 - діелектрик;  
3 - напівпровідникова кераміка*

*Рисунок 2.5 – Будова малогабаритних конденсаторів з великою питомою ємністю*

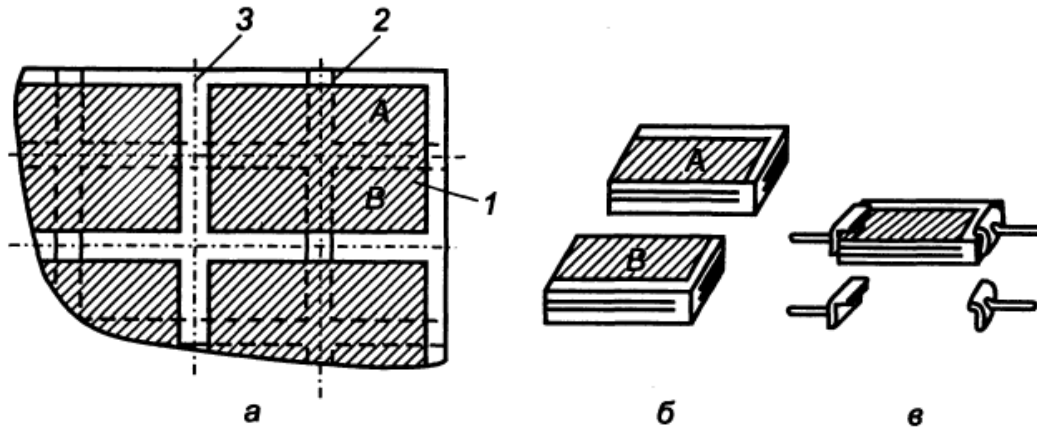
Монолітні конденсатори отримують методом спікання багатошарових структур, які складаються із шлікерних плівок, покритих провідниковою пастою. Конденсатори з бар'єрним шаром – це металізовані з обох боків сегнетоелектричні диски із  $TiO_2$  або  $BaTiO_3$ , які внаслідок відпалу керамічної маси у відновлювальному середовищі перетворюються в напівпровідники, покриті окисним шаром.

Модифікацією конденсатора з бар'єрним шаром є конденсатор з примежовим шаром, диски для якого виготовляють з крупинок напівпровідної кераміки, покритої тонким діелектричним шаром. Внаслідок цього збільшується опір ізоляції і зменшуються втрати енергії.

У склоемалевих конденсаторах як діелектрик використовують склоемаль, яка відзначається підвищеною теплостійкістю. Отримують її спіканням при температурі від 600 до 800 °С багатошарової структури склоемаль - срібна паста, нанесеної на поверхню сталеві пластины. Дротяні зовнішні виводи приєднують до торців багатошарової структури і отримують конструкцію, зображену на рисунку 2.6.

Склокерамічні та склоемалеві конденсатори можуть використовуватися в якості контурних, розділових і блокувальних.

Скляні конденсатори за конструкцією подібні склокерамічним і склоемалевим. Діелектриком в них слугує шар спеціального скла, обкладинки виконані із тонкої фольги. Для захисту від механічних і кліматичних дій конденсатори покриті емаллю.

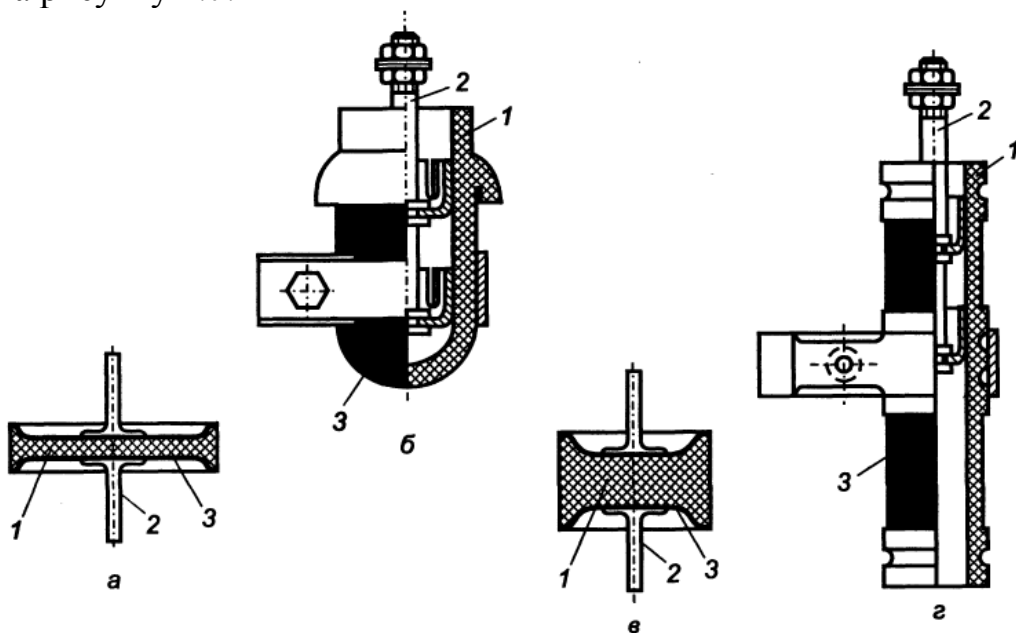


*а - заготовка до різання: 1 - верхня обкладка; 2 - край нижньої обкладки; 3 - лінія розрізу; б - нарізані заготовки; в - конденсатор з припаяними виводами*

*Рисунок 2.6 – Будова склоемалевих конденсаторів*

Електричні параметри скляних і склокерамічних конденсаторів ідентичні, однак скляні конденсатори можуть працювати за більш високих температурах (до +350°C).

Специфічну конструкцію мають високовольтні керамічні конденсатори, показані на рисунку 2.7.



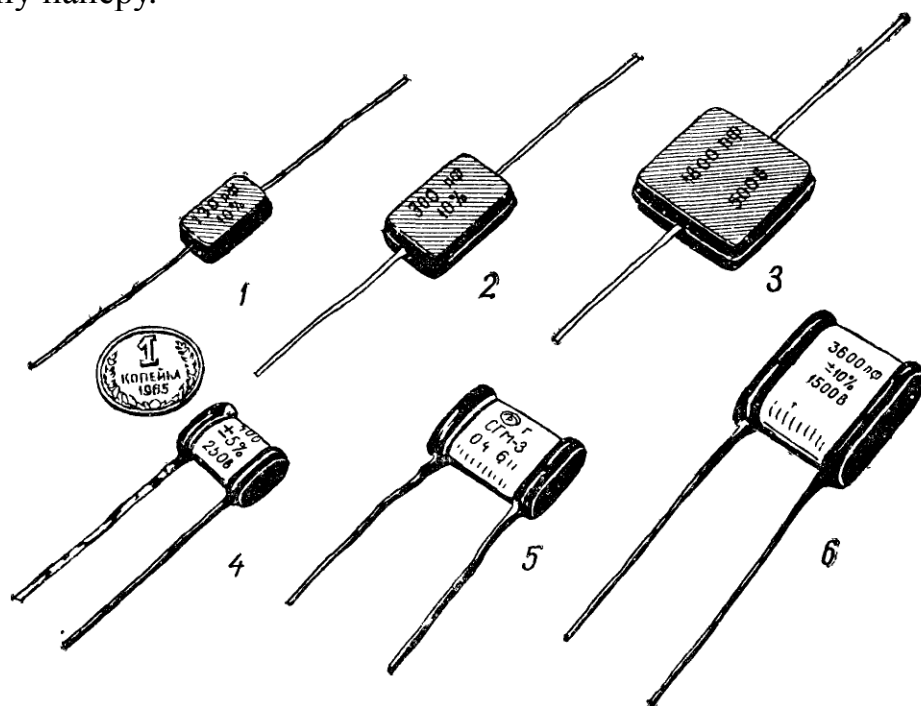
*а - дисковий; б - горщиківий; в - бочковий; г - трубчастий:  
1 - керамічна заготовка; 2 - виводи; 3 – металізація*

*Рисунок 2.7 – Будова високовольтних керамічних конденсаторів*

Слюдяні конденсатори використовуються в якості контурних, перехідних, розділових, блокувальних, а також в різних фільтрах. Вони характеризуються високими електричними показниками і невеликими розмірами. Зовнішній вигляд деяких слюдяних конденсаторів показаний на рисунку 2.8.

Металопаперові конденсатори характеризуються порівняно малими розмірами. За питомою ємністю вони наближаються до електролітичних, але струм утінання у них менше. Металопаперові конденсатори можуть самовідновлюватися після пробою.

Діелектриком металопаперових конденсаторів є лакований конденсаторний папір, обкладинками – шарі метала товщиною менше мікрона, що нанесені на одну сторону паперу.



1 – КСО-1; 2 – КСО-2; 3 – КСО-5; 4 – СГМ-1; 5 – СГМ-3; 6 – СГМ-4.

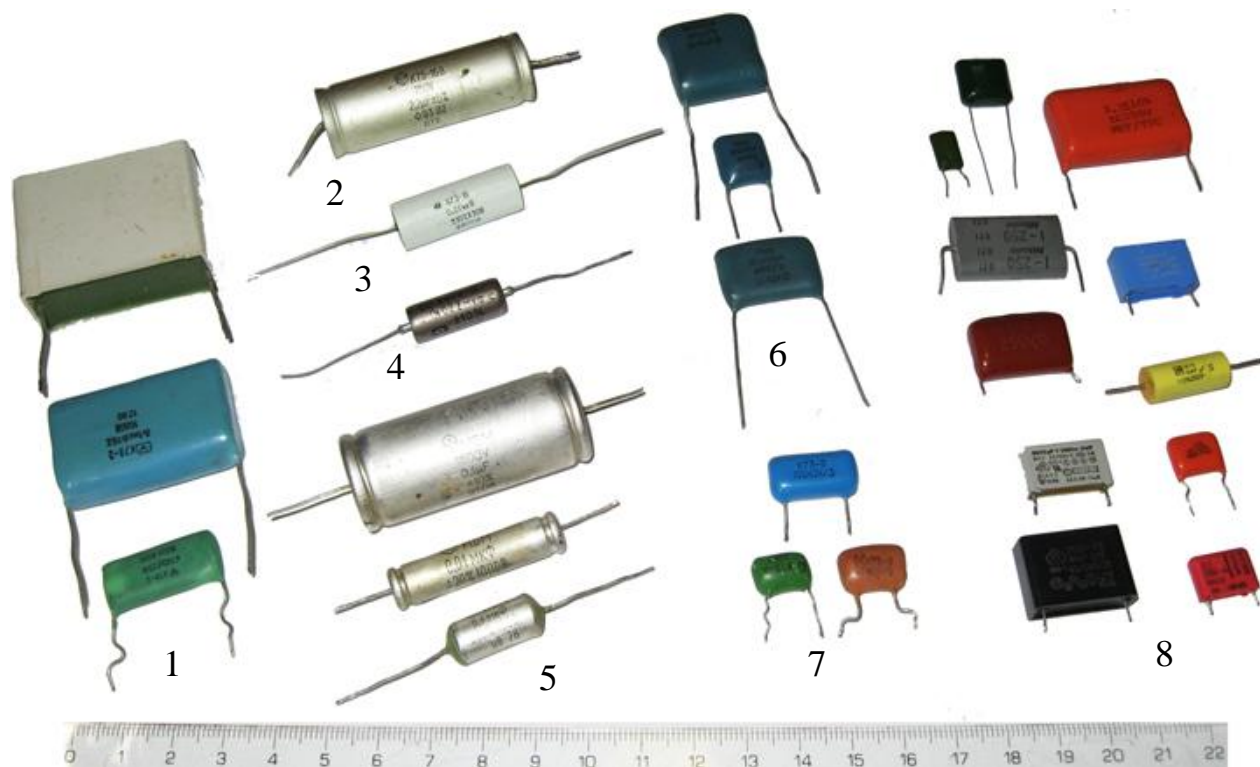
Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд слюдяних конденсаторів

Металоплівкові конденсатори (або просто плівкові) характеризуються високою добротністю (до 2000), великим опором ізоляції і високою стабільністю ( $ТКЄ \approx 0,02 \text{ \%/град}$ ). Діелектрик – тонка плівка із полістиролу або фторопласту, обкладинки – тонкий шар металу на плівці.

Зовнішній вигляд деяких метало паперових та плівкових конденсаторів показаний на рисунку 2.9.

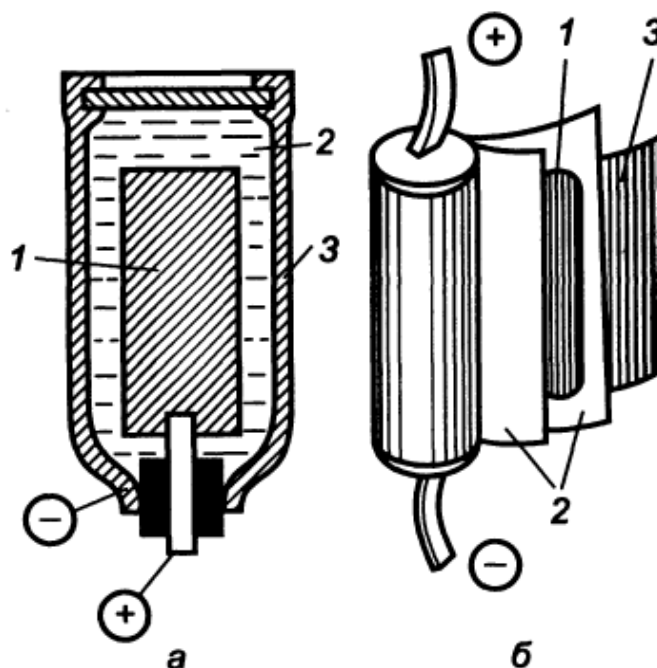
Будова електролітичних конденсаторів, які завдяки тонкій окисній плівці вентильного металу мають велику питому ємність, залежить від їх виду. Розрізняють три основні види електролітичних конденсаторів: з рідким електролітом, з сухим електролітом і окисно-напівпровідникові (тверді). Всі вони є полярними. Анодом в них слугує вентильний метал (тантал, ніобій або алюміній), діелектриком – окис на поверхні анода, катодом – будь-який інший провідник. Форму електродів визначає вид електролітичного конденсатора.

В електролітичних конденсаторах з рідким електролітом анод – масивний, пористий, а катод – рідкий, виготовлений з електроліту з малим питомим опором (наприклад, з розчину сірчаної кислоти і хлористого літію), який міститься в сталевому посрібленому зсередини корпусі (рисунок 2.10, а).



1 – К78-2; 2 – К73-16В; 3 – К73-11; 4 – К40-У9; 5 – МБМ; 6 – К73-17,  
7 – К73-9, К73-10, 8 – закордонні

Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд плівкових та металопаперових конденсаторів

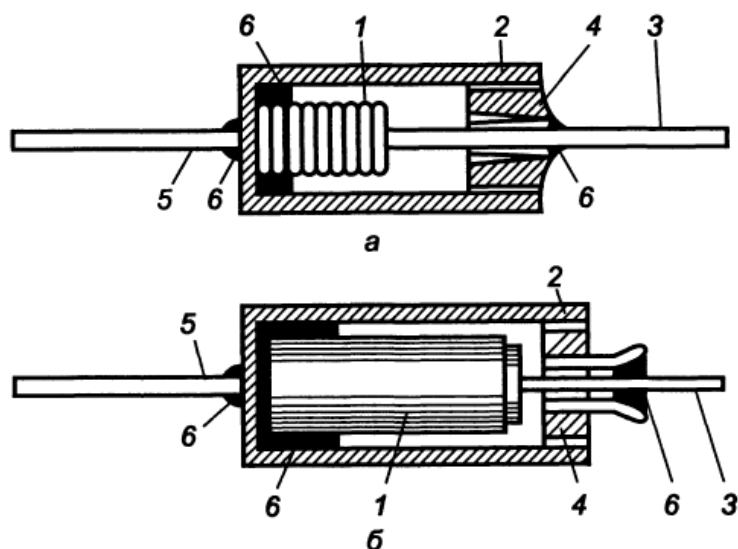


З рідким (а) і сухим (б) електролітом. 1 - анод, 2 - електроліт, 3 – катод

Рисунок 2.10 – Будова електролітичних конденсаторів

В електролітичних конденсаторах з сухим електролітом, які за конструкцією нагадують паперові конденсатори (рисунок 2.10, б), окисдований анод і неокисдований катод виготовлені з тонкої (0,1 мм) фольги. Між ними розміщена паперова або тканинна прокладка, просочена в'язким електролітом (розчином борної кислоти і аміаку в етиленгліколі), і тому є частиною катода. Якщо анодну фольгу обробити травниками, то її поверхня стане шорсткою, а ємність зросте в 3-4 рази.

В окисдно-напівпровідникових електролітичних конденсаторах замість електроліту використовують твердий електронний напівпровідник  $MnO_2$ , який наносять на поверхню анода (рисунок 2.11). Як анод застосовують танталовий дріт або об'ємний пористий тантал. Катод (контактний шар) має вигляд плівки, нанесеної на поверхню напівпровідника.



З дротяним (а) із об'ємним пористим (б) анодом. 1 - анод; 2 - корпус; 3 - вивід анода; 4 - скляний прохідний ізолятор; 5 - вивід катода; 6 – припій

Рисунок 2.11 – Танталові окисно-напівпровідникові герметизовані конденсатори

Питома ємність танталових конденсаторів більше, ніж алюмінієвих. Танталові конденсатори можуть працювати за більш високих температур; їх ємність мало змінюється під час зміни температури; струми утікання в них менші.

Окисдно-напівпровідникові конденсатори можуть працювати за більш низьких температур, ніж звичайні електролітичні.

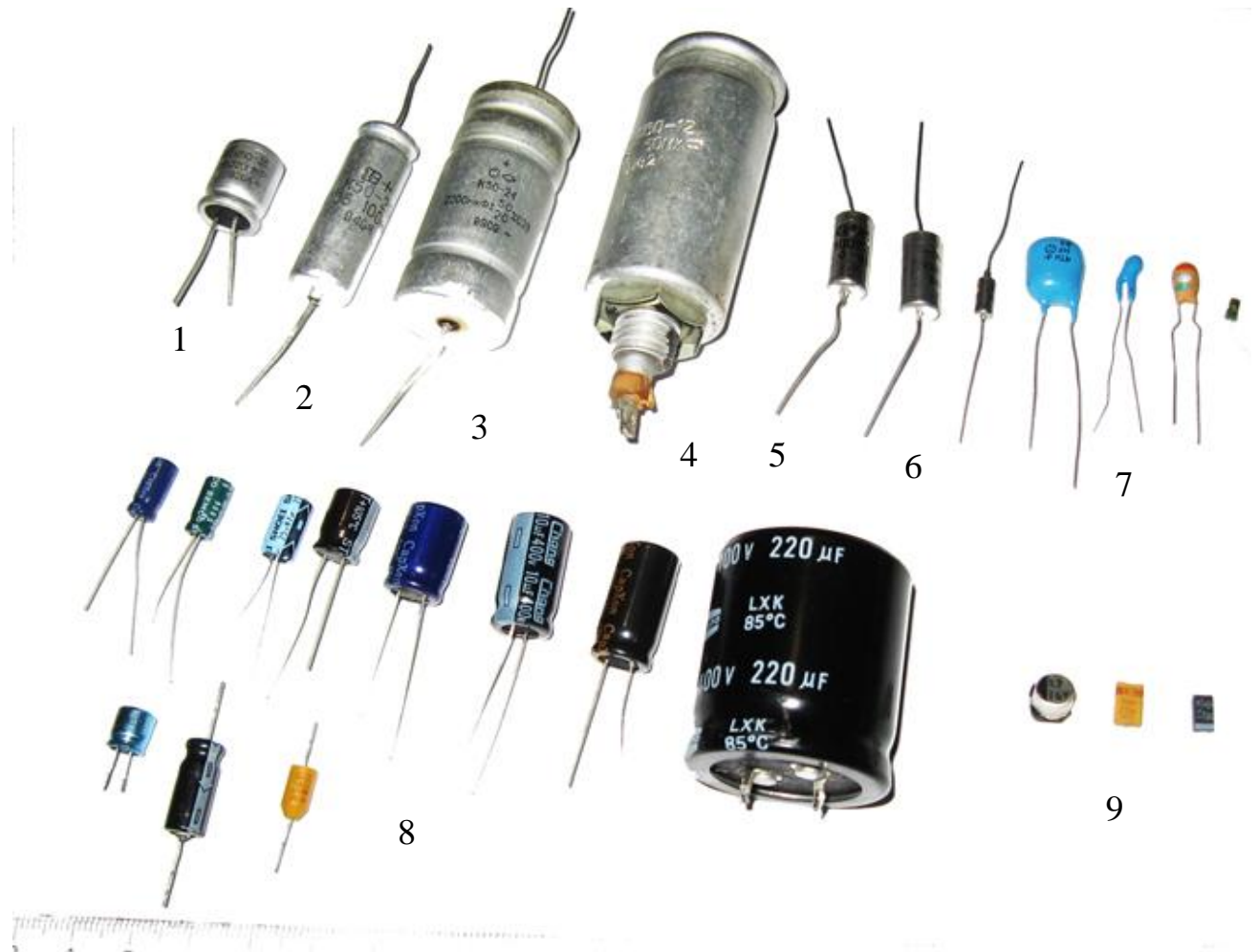
Допустима величина змінної складової напруги на конденсаторі нормується. Сума амплітудного значення змінної складової і постійної напруги не повинна перевищувати номінальної робочої напруги.

В неполярних електролітичних конденсаторах обидві обкладинки містять оксидний шар. неполярні конденсатори характеризуються меншою питомою ємністю.

Електролітичні конденсатори використовуються в якості фільтрових у випрямлячах, блокувальних і розв'язувальних в ланках звукових частот, а також в якості перехідних у підсилювачах звукових частот.

Зовнішній вигляд деяких електролітичних конденсаторів показаний на рисунку 2.12.

Будова конденсаторів змінної ємності залежить від їх виду, оскільки кожному з них притаманні певні способи зміни ємності. Закони зміни ємності визначаються залежністю ємності  $C$  від параметрів основних елементів конструкції конденсатора згідно з формулою (2.1).



1 – K50-35; 2 – K50-29; 3 – K50-24; 4 – K50-12; 5 – K53-4; 6 – K53-14,  
7 – K53-19, K53-10, 8 – закордонні, 9 – для поверхневого монтажу

Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд електролітичних конденсаторів

$$C = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon \cdot S}{d} \quad (2.1)$$

де:  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність;  
 $d$  – товщина діелектрика, м;  
 $S$  – площа перекриття обкладинок, м<sup>2</sup>.

У таблиці 2.2 приведені значення діелектричної проникненості для деяких речовин.

Таблиця 2.2 – Значення діелектричної проникності для речовин

Речовина	Значення $\epsilon$	Речовина	Значення $\epsilon$
Вакуум, повітря, вуглекислий газ	1,0	Графіт	10 – 15
Тефлон	2,1	Кераміка	10 – 20
Нейлон	3,2	Кремній	12
Поліетилен	2,3	Бор	2,0
Полістирол	2,4 – 2,7	Аміак (NH <sub>3</sub> )	17 – 26
Каучук	2,4	Спирт етиловий	27
Бітум, ебоніт	2,5 – 3,0	Метанол	30
Сірковуглець (CS <sub>2</sub> )	2,6	Етиленгліколь	37
Парафін	2,0 – 3,0	Фурфурол	42
Папір	2,0 – 3,5	Гліцерин	41 – 47
Плексиглас (оргскло)	3,5	Вода	34 – 88
Кварц	3,5 – 4,5	Плавікова кислота	84
Діоксид кремнію	3,9	Формаїд	84
Бакеліт, бетон	4,5	Сірчана кислота	84 – 100
Фарфор	4,5 – 4,7	Перекис водню	128
Скло	4,7 (3,7 – 10)	Синильна кислота	158
Склотекстоліт	4,5 – 5,5	Двоокис титана	86 – 173
Гетинакс	5,0 – 6,0	Титанат стронція	310
Слюда	5,7 – 7,0	Барій-стронцій титанат	500
Гума	7,0	Титанат барія	1250 – 10000
Полікор (98 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,7	Свинцьовий цирконат-титанат	500 – 6000
Алмаз	5,5 – 10	Сополімери	до 100000
Поварена сіль (NaCl)	3,0 – 15		

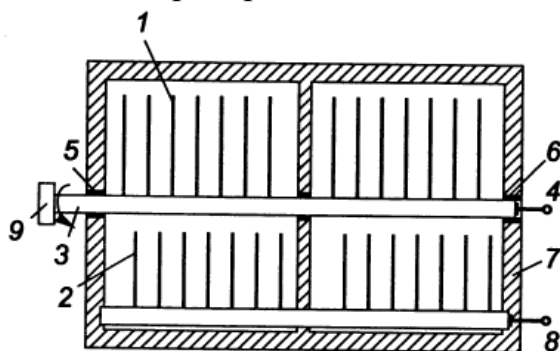
Змінювати ємність конденсатора можна лише зміною трьох параметрів: площі перекриття обкладинок, діелектричної проникності діелектрика та його товщини. Закони зміни ємності будуть різними.

Будова блока конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням наведена на рисунку 2.13. З рисунку видно, що основними елементами конструкції конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням є статор з набором обкладинок, ротор з набором обкладинок, вісь ротора, ручка повертання ротора, струмознімач та корпус.

Конденсатори з повітряним проміжком між обкладинками ротора і статора мають порівняно великі габарити. Зменшення габаритів за рахунок зменшення проміжку (відстані між обкладинками) знижує технологічність конденсаторів та зменшує їх стійкість до ударів, вібрацій і температурних змін. Тому в малогабаритних конденсаторах змінної ємності з механічним керуванням поряд з повітряним діелектриком, діелектрична проникність якого  $\epsilon \approx 1$ , використовують



додатково тверді діелектрики, діелектрична проникність яких  $\epsilon > 1$ , які у вигляді плівок кріпляться до обкладинок ротора або наносяться на їх поверхню.



1 - ротор; 2 - статор; 3 - вісь; 4 - струмознімач;  
5 - передній підшипник; 6 - задній підшипник; 7 - корпус;  
8 - вивід статора; 9-ручка повертання ротора

Рисунок 2.13 – Блок конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням ємністю

Аналогічну будову мають підстроювальні конденсатори з обертовим ротором (рисунок 2.14).

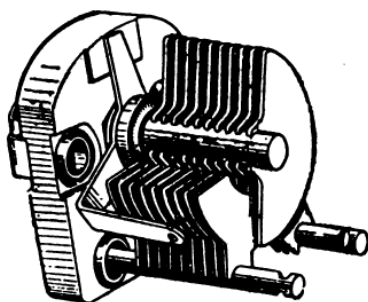
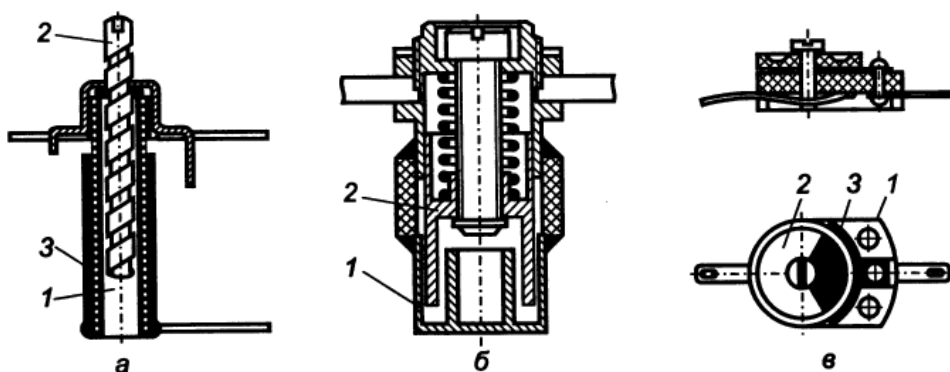


Рисунок 2.14 – Підстроювальний конденсатор з обертовим ротором

Крім підстроювальних конденсаторів з обертовим ротором, існують ще підстроювальні, трубчасті, коаксіальні та шайбові конденсатори (рисунок 2.15, 2.16).



а - трубчасті, б – коаксіальні, в - шайбові.  
1 - статор; 2 - ротор; 3 - металізація

Рисунок 2.15 – Будова підстроювальних конденсаторів

Циліндричні підстроювальні конденсатори невеликої ємності (до 10...20 пФ) складаються з трубчастого статора і суцільного циліндричного ротора, осьове переміщення якого забезпечує гвинт з великим кроком нарізання. Підстроювальні конденсатори великої ємності виготовляють з твердим діелектриком або з ротором і статором у вигляді декількох коаксіальних циліндрів.

Одним з різновидів конденсаторів змінної ємності з електричним керуванням є варикапи – напівпровідникові діоди з великою площею р-п-переходу. Їх бар'єрна ємність  $C_{\sigma}$  згідно з формулою (2.2) залежить від напруги зворотного зміщення  $U_{зв}$ .

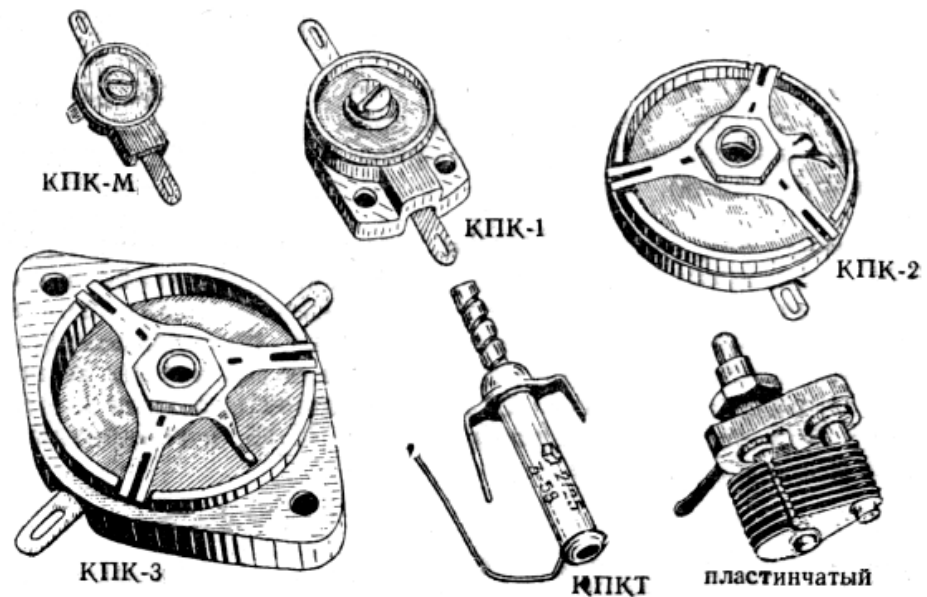


Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд підстроювальних конденсаторів

$$C_{\sigma} = \frac{K}{(U_{зв} + U_K)^n}, \quad (2.2)$$

де:  $K$  – стала, яка залежить від опору напівпровідника;

$U_K$  – контактна напруга;

$n$  – коефіцієнт, який залежить від структури діода та дорівнює  $1/2$  або  $1/3$ .

Тому, змінюючи напругу зворотного зміщення, можна змінити бар'єрну ємність варикапа.

Другим різновидом конденсаторів змінної ємності з електричним керуванням є вариконди – конденсатори, діелектриком яких є сегнетоелектрики, діелектрична проникність яких залежить від напруженості електричного поля за законом, близьким до параболічного [5]. Конструкція варикондів аналогічна до конструкції керамічних дискових конденсаторів.

**Робота та параметри конденсаторів.** Основне призначення конденсатора – накопичувати та віддавати електричний заряд. Заряджання та розряджання – це основний режим роботи конденсатора. Під зарядом

конденсатора розуміють абсолютне значення заряду однієї з його обкладинок. Для того, щоб надати конденсатору заряд, його необхідно на короткий час увімкнути в коло постійного струму. У такому разі на обкладці конденсатора, з'єднаній з позитивним полюсом джерела струму, яку покидають електрони, накопичується позитивний заряд, а на другій, куди надійшли електрони – негативний. Накопичення заряду  $q$  прямо пропорційне до добутку ємності конденсатора  $C$  на напругу  $U$  (2.3).

$$|q| = CU. \quad (2.3)$$

Якщо джерело постійної напруги забрати, то заряди на обкладинках конденсатора будуть тривалий час утримувати один одного.

У колі змінного струму конденсатор весь час перезаряджається, створюючи опір змінному струмові за формулою (2.4).

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad (2.4)$$

де  $\omega$  – циклічна частота зміни струму.

Конденсатор як елемент коливального контуру визначає його резонансну частоту згідно з формулою (2.5).

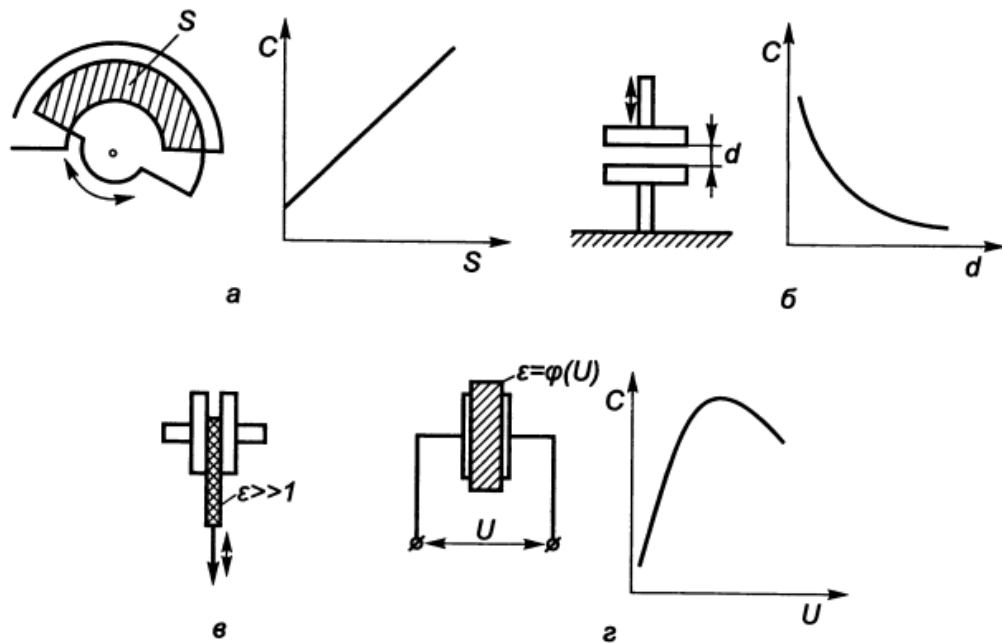
$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (2.5)$$

де  $L, C$  – індуктивність та ємність коливального контуру.

Зміна значення накопиченого заряду, реактивного ємнісного опору, резонансної частоти та інших залежних від ємності параметрів вимагає зміни значення самої ємності, для чого можуть бути застосовані способи, показані на рисунку 2.17.

Щоб отримати необхідний закон зміни ємності в конденсаторах змінної ємності з механічним керуванням, необхідно забезпечити відповідну форму роторних пластин. У підстроювальних циліндричних конденсаторах для цієї мети можна використовувати напівциліндричні поверхні або змінити одну з них на конічну.

Для конденсаторів постійної ємності, зокрема електролітичних та змінної ємності з механічним керуванням ємність від напруги не залежить або незначно зменшується із збільшенням напруги, як у конденсаторах з бар'єрним шаром. Останнє пояснюється тим, що накопичення на обкладинках зарядів відбувається непропорційно до напруги тому, що раніше накопичені заряди гальмують надходження нових. Ємність варикапів та варикондів від напруги істотно залежить і ця залежність покладена в основу роботи цих елементів конденсаторами змінної ємності.



*а - зміною площі покриття обкладинок; б - зміною відстані між обкладинками; в - введенням та виведенням діелектрика між обкладки; г - зміною діелектричної проникності діелектрика*

*Рисунок 2.17 – Способи зміни ємності конденсаторів*

Втрати енергії  $P$  в конденсаторах з підвищенням напруги зростають, оскільки вони прямо пропорційні до квадрата напруги  $U$  згідно з формулою (2.6).

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta_C, \quad (2.6)$$

де  $\operatorname{tg} \delta_C$  – тангенс кута діелектричних втрат конденсатора, який теж зростає з підвищенням напруги.

Температурні характеристики ємності конденсаторів постійної ємності, зокрема, і електролітичних, а також змінної ємності з механічним керуванням, визначаються переважно температурними залежностями відносної діелектричної проникності діелектричних прокладок  $\epsilon$ , яка залежно від виду поляризації може з підвищенням температури зростати або спадати. Відповідно змінюється сама ємність.

Температурну залежність ємності конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням визначають температурні залежності діелектричної сталої повітря і відстані між пластинами. З підвищенням температури ємність таких конденсаторів переважно зменшується. За наявності між пластинами твердого діелектрика характер температурної зміни ємності може бути протилежним.

Частотні характеристики ємності конденсаторів значною мірою зумовлені їх конструкцією, з якою пов'язані паразитні ємності та індуктивності, та частково залежністю діелектричної проникності від частоти, яка визначається механізмом поляризації. Вказані чинники призводять до того, що з підвищенням частоти єм-

ність конденсаторів зростає, але на дуже високих частотах вона може з підвищенням частоти знижуватись за рахунок зменшення діелектричної проникності.

Як відомо, втрати енергії в конденсаторах мають дві складові втрати в діелектрику та втрати у металевих частинах (обкладинках, виводах). Результуючі втрати дорівнюють сумі складових та записуються як  $tg\delta$

Частотна залежність втрат у конденсаторі виражається частотними залежностями складових втрат. З підвищенням частоти зростають втрати в металевих елементах конструкції і поступово зменшуються, змінюючись за складним законом, втрати в діелектрику. Сумарні втрати з підвищенням частоти зростають, проходячи максимум і мінімум.

Мінімуму втрат відповідає частота, яку можна визначити з виразу (2.7).

$$\omega = \frac{1}{C\sqrt{R \cdot r}} \quad (2.7)$$

де:  $r$  – опір, еквівалентний втратам у металевих елементах конденсатора;  
 $R$  – опір, еквівалентний втратам в діелектрику.

Важливими для конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням є функційні характеристики, які виражають залежності ємності від кута повороту ротора. Залежно від величини кута повороту ротора розрізняють конденсатори з нормальним кутовим діапазоном, при якому повний кут повороту дорівнює  $180^\circ$ , з розширеним кутовим діапазоном, при якому кут більше  $180^\circ$  і зі зменшеним кутовим діапазоном, при якому кут дорівнює  $90^\circ$ .

За законом зміни ємності залежно від кута повороту ротора і відповідно частоти коливального контуру, конденсатори змінної ємності з механічним керуванням поділяють на прямоємнісні (лінійні), прямохвильові (квадратичні), прямочастотні та логарифмічні (середньолінійні).

Властивості конденсаторів постійної ємності характеризують такими основними параметрами: номінальною ємністю, допуском на ємність, електричною міцністю, реактивною потужністю, опором ізоляції, втратами енергії або добротністю, власною індуктивністю, коефіцієнтом старіння ємності, температурним коефіцієнтом ємності, інтенсивністю відмов.

Конденсатори належать до стандартизованих елементів електронної апаратури, в яких номінальні значення ємності і допуски на номінали стандартизуються. Числові значення номіналів визначаються рядами стандартних номіналів (додаток А) Сучасні конструкції конденсаторів забезпечують номінали ємностей від одиниць пікофарад до сотень тисяч мікрофарад і допуски в межах від  $\pm 0,1$  до  $\pm 50\%$ . Для конденсаторів змінної ємності і підстроювальних номінальні значення ємності не встановлюють.

Електрична міцність конденсаторів характеризується номінальною, випробувальною та пробивною напругами. Номінальна напруга – це максимальна напруга, за якої конденсатор може працювати в заданому діапазоні температур упродовж гарантованого терміну служби. Випробувальна напруга – це максимальна напруга, за якої конденсатор може працювати без пробиття

упродовж часу від одиниць секунд до одиниць хвилин. Пробивна напруга – це максимальна напруга, за якої відбувається пробій діелектрика.

Номінальна напруга більшості дискретних конденсаторів не перевищує 1500 В.

Реактивна потужність  $P_p$  характеризує навантажувальну здатність конденсатора під час роботи на високій частоті (більше 1000 Гц) і високій напрузі (більше 1000 В).

У малопотужній електронній апаратурі конденсатори майже завжди працюють за невеликих змінних напруг, тому для них реактивна потужність не є характерним параметром.

Опір ізоляції  $R_{i3}$  – це опір між обкладинками конденсатора. Його визначає якість діелектричної прокладки. За малого опору ізоляції виникають високі струми утікання. Найбільший опір ізоляції (десятки тисяч мегаом) мають плівкові конденсатори, найменший – електролітичні. Їх характеризує не опір ізоляції, а струм утікання.

Якість ізоляції часто характеризують сталою часу  $\tau$ , яка визначається добутком опору ізоляції в мегаомах на ємність в мікрофарадах згідно з формулою (2.8).

$$\tau = R_{i3}C, \quad (2.8)$$

Стала часу визначає в секундах час саморозряду конденсатора, тобто час зменшення напруги на ньому в  $e$  разів. Стала часу сучасних конденсаторів становить тисячі секунд.

Опір ізоляції істотно залежить від температури і вологості. Зі збільшенням температури і вологості він зменшується.

Втрати енергії в малопотужних конденсаторах переважно мають дві складові: поляризаційну і втрати, зумовлені провідністю діелектрика. Втрати в обкладинках і виводах таких конденсаторів достатньо малі і ними іноді нехтують.

Втрати знижують добротність коливальних контурів, погіршують вибірковість схем, впливають на стабільність параметрів.

Втрати енергії в конденсаторі характеризують тангенсом кута втрат  $tg\delta$ , де  $\delta$  – це кут, який доповнює кут зсування фаз між напругою і струмом у конденсаторі до  $90^\circ$ . Величину, обернену до втрат, називають добротністю конденсатора  $Q$ .

Сучасні дискретні конденсатори (крім електролітичних) характеризуються дуже малими втратами ( $tg\delta = 0,001\dots 0,01$ ).

Власна індуктивність  $L_c$  – це паразитний параметр конденсатора. Вона складається з індуктивності робочого елемента конденсатора та індуктивності внутрішніх і зовнішніх з'єднувальних провідників. Для різних типів конденсаторів її значення лежить у межах від одиниць до ста наногенрі.

Наявність власної індуктивності  $L_c$  збільшує еквівалентну ємність конденсатора, призводить до сильної її залежності від частоти і спричиняє виникнення резонансних явищ в конденсаторі. Максимальні робочі частоти

сучасних дискретних конденсаторів лежать в межах від десятків до сотень мегагерц.

Температурний коефіцієнт ємності ТКЄ характеризує зміну кожної одиниці ємності при зміні температури на один градус Цельсія. Значення ТКЄ стандартних конденсаторів загального призначення, як правило, не перевищує  $200 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Зміна ємності цих конденсаторів у робочому діапазоні температур не перевищує їх допуску. Керамічні, скляні та склокерамічні конденсатори випускаються з нормованим ТКЄ. Найбільшу нестабільністю від температури мають сегнетокерамічні конденсатори (керамічні конденсатори з ненормованим ТКЄ (див. рисунок 2.1)).

Коефіцієнт старіння ємності характеризує незворотні зміни ємності конденсатора з часом.

Надійність конденсаторів визначає середня кількість раптових відмов  $\lambda$  за 1 год роботи в нормальних умовах. Основним видом раптових відмов є пробій діелектрика. Інтенсивність відмов стандартних низьковольтних конденсаторів загального призначення лежить у межах від  $10^{-5}$  (електролітичні) до  $10^{-7} \text{ год}^{-1}$  (керамічні).

Конденсатори змінної ємності з механічним керуванням ємністю характеризуються такими параметрами: мінімальною ємністю  $C_{min}$ ; максимальною ємністю  $C_{max}$ ; перекриттям по ємності; точністю встановлення ємності  $\Delta C/C$ , яка лежить у межах від 0,05 до 0,1 % та ін.

**Маркування конденсаторів.** На конденсаторах достатньо великих габаритів позначаються: тип, номінальна робоча напруга, номінальна ємність і відхилення, що допускаються від номінальної ємності у відсотках. Крім того, ставиться марка заводу-виробника, місяць і рік виготовлення. Якщо конденсатори даного типу випускаються тільки одного класу точності, то допуск не маркується. На слюдяних і склоемалевих конденсаторах вказується група ТКЄ. Група ТКЄ керамічних конденсаторів зазвичай позначається кольоровим кодом – фарбуванням корпусу у відповідний колір.

ТКЄ може бути додатнім (позначається буквою «П» або «Р»), від'ємним («М» або «N»), близьким до нуля («МП» або «NP0») чи ненормованим («Н»). Після букви зазначається цифрове значення ТКЄ.

Для маркування малогабаритних конденсаторів відповідно введені кодовані позначення ємності і допустимих відхилень ємності від номінального значення. Вони складаються з цифр, що позначають номінальну величину ємності, букви, що позначає одиницю виміру ємності, і букви, що позначає допустиме відхилення ємності від номінальної величини. Ємності до 100 пФ виражаються в пікофарадах і позначаються буквою «П» або «р», ємності від 0,1 нФ до 100 нФ — в нанофарадах і позначаються буквою «Н», «n» або «N»(нФ, nF), а ємності від 0,1 мкФ и вище – в мікрофарадах і позначаються буквою, «М» або «μ»(мкФ, μF). Ці букви ставляться замість десяткової коми дробу, котра виражає величину ємності. Якщо номінальна ємність виражається цілим числом, то буква, що позначає одиницю виміру, ставиться після цього числа. Якщо ж номінальна величина ємності виражається десятковим дробом, менше одиниці, то нуль цілих і кома із маркування виключаються, і символічне позначення одиниці виміру розташову-

ється перед числом. Наприклад, 9,1 пФ позначається 9П1 або 9p1; 22 пФ – 22П або 22p; 150 пФ – Н15 або n15; 1800 пФ – 1Н8 або 1n8; 0,01 мкФ – 10Н; 0,15 мкФ – М15 або μ15; 47 мкФ – 47М або 47μ.

Номинальна ємність зарубіжних конденсаторів часто кодується трьома чи чотирма цифрами, остання з яких позначає порядок (число нулів) в значенні ємності в пікофарадах. Наприклад, код 391 позначає 390 пФ; 152 – 1500 пФ (1,5 нФ); 223 – 22000 пФ (22 нФ); 1623 – 162000 пФ (162 нФ); 154 – 150000 пФ (0,15 мкФ); 106 – 10000000 пФ (10 мкФ). Номинальну ємність конденсаторів до 99 пФ позначають двома підкресленими цифрами. Ємність конденсаторів від 0,001 до 0,9 мкФ іноді позначають десятковим дробом без першого нуля. Наприклад, код «.01» позначає 0,01 мкФ; «.22» – 0,22 мкФ.

На малогабаритних та на імпортованих конденсаторах також використовується символічне маркування допуску та робочої напруги. Може складатися з одного символу чи цифри та символу [10 – 12]. Наприклад, маркування напруги **2A** відповідає напрузі 100 В, а **1C** – 16 В, а маркування допуску **K** відповідає значенню  $\pm 10\%$ , а **Z** – «-20..+80)% ».

Маркування дати виготовлення передбачає двозначний чи чотирьохзначний код позначення. Позначається рік і місяць виготовлення конденсатору або рік і тиждень виготовлення [10-12].

Кольорове кодування використовується для маркування номинальної ємності, допуску, номинальної напруги до 63 В і групи ТКЄ. Маркування наносять у вигляді кольорових крапок чи смужок [10 – 12].

## 2.3 Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача радіоелементи. Вибрати з них конденсатори.
2. По зовнішньому вигляду та маркуванню визначити до якої групи відносяться відібрані конденсатори. Визначити, якщо це можливо, номінали, допуски (чи групи по ТКЄ) і допустимі напруги цих конденсаторів.
3. Використовуючи вимірник RLC – E7-11 визначити дійсні значення ємності і тангенса діелектричних втрат конденсаторів. Виміри виконати на двох частотах: 100Гц і 1000Гц. За можливістю визначити температурну залежність ємності конденсаторів.
4. Повторити виміри цих конденсаторів за допомогою приладу RLC-2.
5. Врахувати дійсні допуски конденсаторів (відхилення дійсної ємності від маркованої).
6. Знайти в довідниках докладну інформацію про досліджувані конденсатори (тип, марку, технологію виготовлення, параметри, сферу застосування). Для конденсаторів, на яких відсутнє або не повне маркування, визначити можливий їх тип по зовнішньому вигляду, порівнюючи з відповідними картинками в довідниках або іншими подібними конденсаторами з маркуванням.
7. Зробити висновки по ходу виконання лабораторної роботи.



## 2.4 Контрольні запитання

1. Класифікація конденсаторів.
2. Будова конденсаторів.
3. Ряди та допуски конденсаторів.
4. Параметри конденсаторів.
5. Основні типи конденсаторів та їх області використання.
6. Символьне маркування конденсаторів.
7. Кодове маркування конденсаторів.
8. Кольорове маркування конденсаторів.
9. Вимірювання параметрів конденсаторів.
10. Прилади для вимірювання ємності та її методика вимірювання.

## **3 Лабораторна робота №3**

### **ВИВЧЕННЯ РЕЗИСТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ**

**Мета роботи:** ознайомлення з основними типами резисторів, особливостями їх використання, способами маркування, а також з методами вимірювання їх параметрів.

#### **3.1 Прилади і матеріали**

- 1) Два комбіновані вимірювальні прилади Ц43101.
- 2) Цифровий мультиметр.
- 3) Чотири з'єднувальні провідники.
- 4) Блок живлення Б5-47.
- 5) Набір резисторів різних типів, видів та номіналів.

#### **3.2 Теоретичні відомості**

Резистором називають елемент електронної апаратури, який в електричному колі чинить активний опір струмові.

Резистори призначені для перерозподілу и регулюванню електричної енергії між елементами схеми.

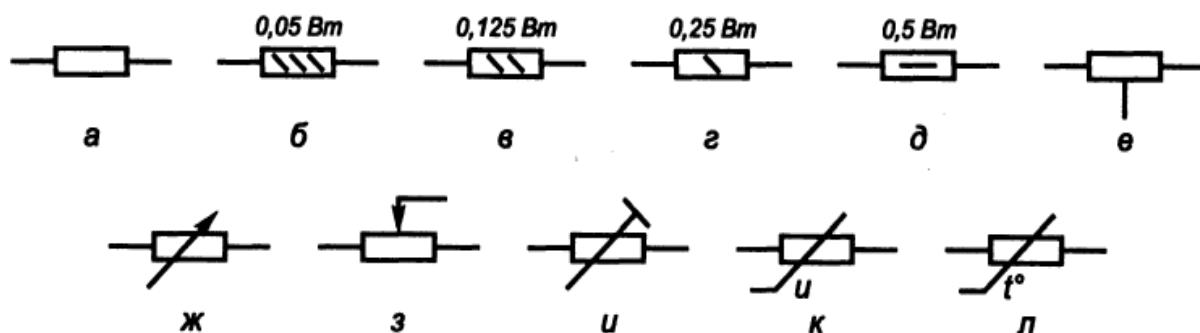
**Класифікація резисторів.** Резистори класифікують за багатьма ознаками, зокрема за способом створення резистивного елемента, типом, опором, зміною опору, допуском, частотою, напругою, потужністю.

За способом створення резистивного елемента розрізняють дротяні та недротяні резистори. Згідно класифікація розрізняють п'ять типів резисторів: вуглецеві, металоплівкові і металоокисні, плівкові композиційні, об'ємні композиційні та дротяні. За опором резистори поділяють на низькоомні, опір яких лежить у межах від одиниць до декілька тисяч ом і високоомні, опір яких перебуває в межах від 10 кОм до декілька гігаом. За зміною опору резистори ділять на резистори постійного опору, конструкція яких не передбачає зміни опору, а також резистори змінного опору, конструкція яких передбачає зміну опору та підстроювальні, конструкція яких передбачає незначну і нечасту, але точнішу зміну опору для його підстроювання. Резистори змінного опору та підстроювальні класифікують також за характером зміни опору залежно від кута повороту рухомої частини контакту. Розрізняють резистори з лінійним, логарифмічним та зворотно-логіфімічним законом зміни опору.

За допуском резистори поділяють на резистори загального призначення і прецизійні, за частотою на низькочастотні та високочастотні, за напругою на низьковольтні і високовольтні. За потужністю дискретні резистори поділяють на потужні і малопотужні.

За призначенням всі резистори поділяють на елементи загального призначення і спеціальні. Розрізняють такі види спеціальних резисторів: варистори, активний опір яких залежить від значення прикладеної напруги; варактори, реактивний опір яких залежить від величини прикладеної напруги; терморезистори, опір яких значною мірою залежить від температури; фоторезистори, опір яких залежить від освітленості; тензорезистори, опір яких залежить від механічних напружень. Терморезистори ще поділяють на термістори, опір яких з підвищенням температури спадає, і позистори, опір яких з підвищенням температури зростає.

**Умовні зображення і позначення.** На схемах дискретні резистори зображують так, як показано на рисунку 3.1.



*а - нерегульований; б, в, г, д - різні значення номінальної потужності розсіювання; е - нерегульовані з відведенням; ж - регульований (реостат); з - регульований(потенціометр); и - підстроювальний; к - варистор; л - терморезистор*

*Рисунок. 3.1 – Умовні зображення резисторів на схемах*

Умовні позначення постійних резисторів складаються з букв російського алфавіту з додаванням до них, в деяких випадках, цифрових знаків. Цифри, що стоять після дефісу, позначають порядковий номер розробки і визначають параметри та конструктивне виконання резистору.

Як правило, другий елемент позначення резистора дозволяє визначити вид резистивного елементу резистора. Наприклад, якщо перші символи «С» або «СП», то далі цифра 1 позначає вуглецевий і борвуглецевий, цифра 2 – металодіелектричний і металоокисний, 3 – композитний плівковий, 4 - композитний об'ємний, 5 – дротяний. Якщо перші символи «Р», «РП» або «НР», то далі цифра 1 позначає недротяний резистор а цифра 2 – дротяний.

Зустрічаються резистори, як зі старими, так і з новими умовними позначеннями. Один і той же тип резистору може мати різні умовні позначення в залежності від дати виготовлення.

Позначення основних типів різноманітних резисторів та їх характеристики можна докладніше переглянути в літературі [7-12].

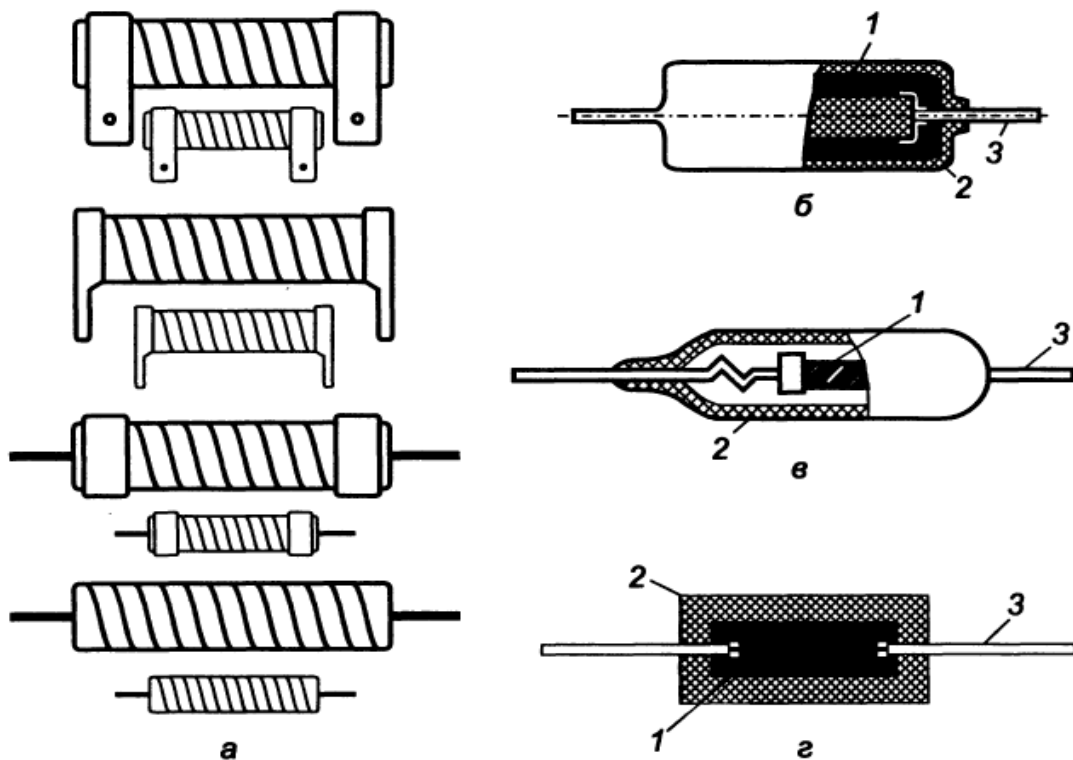
Умовні позначення дискретних резисторів складаються з букв і цифр, які означають назву елемента, номер його розробки, номінальну потужність, номінальний опір, допуски на опір. Наприклад, «Р1-1-0,5-33 кОм ± 10%» означає ре-

зистор вуглецевий, номер розробки 1, потужність 0,5 Вт, опір 33 кОм, допуск 10 %.

**Будова резисторів.** Дискретні резистори мають власне закінчене конструктивне виконання, яке містить такі елементи: основу, резистивний елемент, зовнішні виводи, елементи з'єднання із зовнішніми виводами, елементи захисту від зовнішніх умов, елементи кріплення в апаратурі, рухомий контакт і елементи переміщення та фіксації (для змінних та підстроювальних резисторів).

Основу резисторів виготовляють із кераміки, скла або ситалу. Вона має форму суцільного стрижня (для малопотужних елементів) або трубки (для потужних).

Резистивний шар недротяних резисторів (рисунок 3.2) може бути виготовлений у вигляді тонкої плівки із вуглецю, металів, їх сплавів, із окисів і з'єднань металів, а також у вигляді товстої плівки із композиції, яка складається із функціональної складової, що представляє собою дрібнодисперсійні частки металу (Pd, Ag, W) або оксидів металів та конструкційної складової, яка являє собою дрібнодисперсійні частки скла (скляна фріта), температура плавлення якої нижче температури спікання.



*а - зовнішній вигляд, б, в, г – будова: 1 - резистивний елемент;  
2 - опресування; 3 - зовнішні виводи*

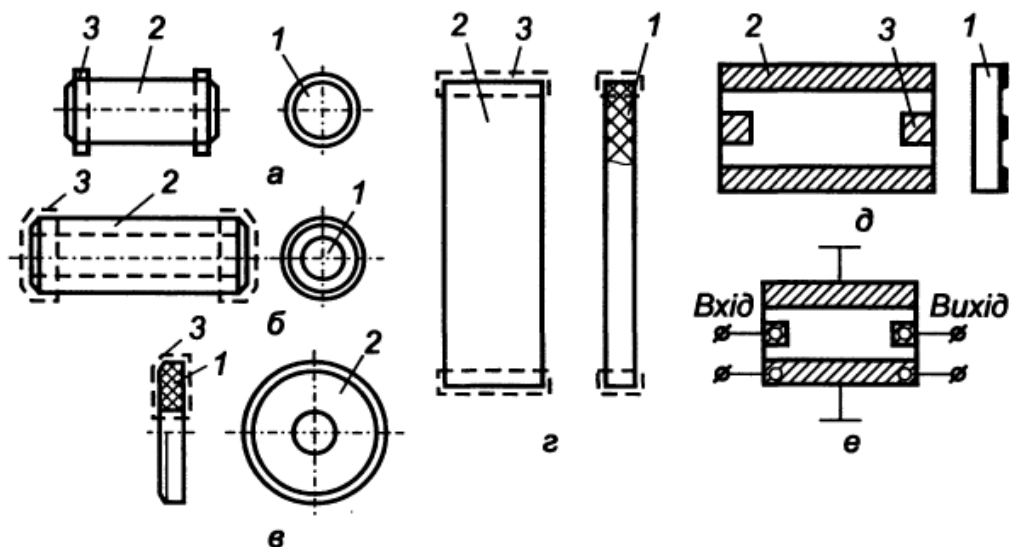
*Рисунок 3.2 – Недротяні резистори*

Щоб збільшити опір резисторів, у резистивному шарі прорізають рівчачки. Зовнішні виводи резисторів виготовляють з мідного лудженого дроту діаметром 0,5 мм з допуском  $\pm 0,1$  мм або із мідних луджених пластин, які одночасно є елементами кріплення і електричного з'єднання зовнішніх виводів з резистивним

елементом. У плівкових резисторах зовнішні виводи припаюють до ковпачків, які міцно притискають до резистивної плівки. У об'ємних композиційних резисторах дротяні виводи впресовують безпосередньо в резистивний елемент. Захист резистивного елемента і прилеглої до нього частини виводів здійснюється емаллями та лаками, а якщо необхідно забезпечити вищу надійність – корпусами.

Високовольтні резистори мають зовнішні виводи у вигляді болтів і гайок, які дають змогу послідовно з'єднувати їх, забезпечуючи у такий спосіб високі робочі напруги.

Конструкції високочастотних резисторів (рисунок 3.3) забезпечують малі паразитні ємності та індуктивності.



*а - малопотужних; б - потужних; в - шайбових, г - пластинчастих; д - безреактивний поглинач потужності; е - схема його увімкнення (1 - керамічна основа; 2- резистивний елемент; 3 - контактний шар)*

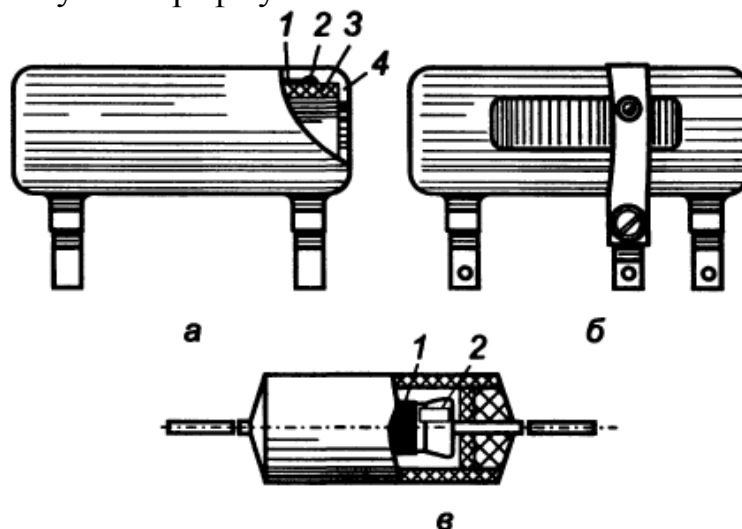
*Рисунок. 3.3 – Будова високочастотних резисторів*

Дротяні резистори, зовнішній вигляд та конструкція яких показані на рисунку 3.4, складаються з круглого (рідше плоского) каркасу з вивідними контактами, на якому розміщена одношарова або багатошарова обмотка. Для захисту від механічних та кліматичних впливів і закріплення витків резистор покривають лаком, емаллю або герметизують. Матеріалами резистивного елемента служать високоомні сплави манганіну (мідь - 86 %, марганець - 12 %, нікель - 2 %), константану (мідь - 60 %, нікель - 40 %) або ніхром (сплав нікелю з хромом).

Недротяні резистори змінного опору, зовнішній вигляд і конструкція яких зображені на рисунку 3.5, можуть мати поверхневий або об'ємний резистивний елемент.

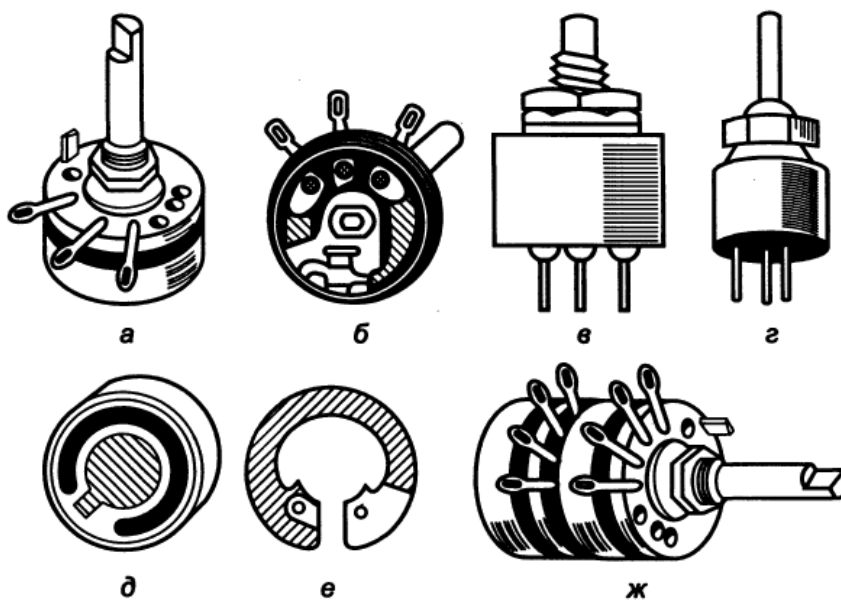
Резистори з поверхневим резистивним елементом складаються з ізоляційної основи, на якій розміщений резистивний елемент, трьох вивідних контактів і елементів переміщення та кріплення. Сам резистивний елемент може бути виконаний у вигляді підкови, кільця або прямокутної пластини.

Резистори з підковоподібним або кільцевим резистивним елементом звичайно мають круглу форму і обертальне переміщення контактної щітки. Резистори з прямокутним резистивним елементом мають прямокутну форму і поступальне переміщення контактної щітки. Їх корпус звичайно виконують із кераміки, а резистивний елемент впресовують в дугоподібну канавку. Ковзний контакт роблять із спеціальної суміші графіту і сажі.



*а, б, в- різні види дротяних резисторів  
(1 - намотка, 2 - вивід, 3 - каркас; 4 - склоемаль)*

*Рисунок. 3.4 – Зовнішній вигляд та конструкція дротяних резисторів постійного опору*



*а і б- поверхневий резистивний елемент; в/г - об'ємний резистивний елемент;  
а, в, г, ж-зовнішній вигляд; б, д, е- будова*

*Рисунок. 3.5 – Зовнішній вигляд і будова недротяних резисторів змінного опору*

Дротяні резистори змінного опору складаються із кільцеподібного каркасу із односторонньою обмоткою, по ребру якої переміщається контактна щітка (рисунок 3.6). Каркас може бути виготовлений із пластини, яку після намотування

проводу скручують у кільце, або у вигляді суцільного кільця, на яке намотують обмотку. Каркас першого типу виготовляють із листових ізоляційних матеріалів (текстоліту, склотекстоліту) або металів (алюмінію, латуні), які перед намоткою ізолюють.

Каркаси другого типу виготовляють із пластмаси, кераміки або металу. Для намотки застосовують проводи із високоякісних сплавів (манганіну, константану, ніхром) в емалевій ізоляції.

Струмознімач змінних резисторів складається із пружинного повзунка і контактної щітки. З нерухомим виводом на корпусі його з'єднують за допомогою додаткової щітки або спіральної пружини. Надійний контакт щітки з контактною доріжкою забезпечує вибір відповідного матеріалу щітки, її розмірів та контактного зусилля. Повзунок виготовляють звичайно із пружних матеріалів (бронза, сталь), а щітку – із матеріалів, стійких до стирання і окиснення (константан, ніхром - спеціальні контактні сплави). Значення контактного тиску звичайно лежить у межах від 10 до 40 г/мм<sup>2</sup>.

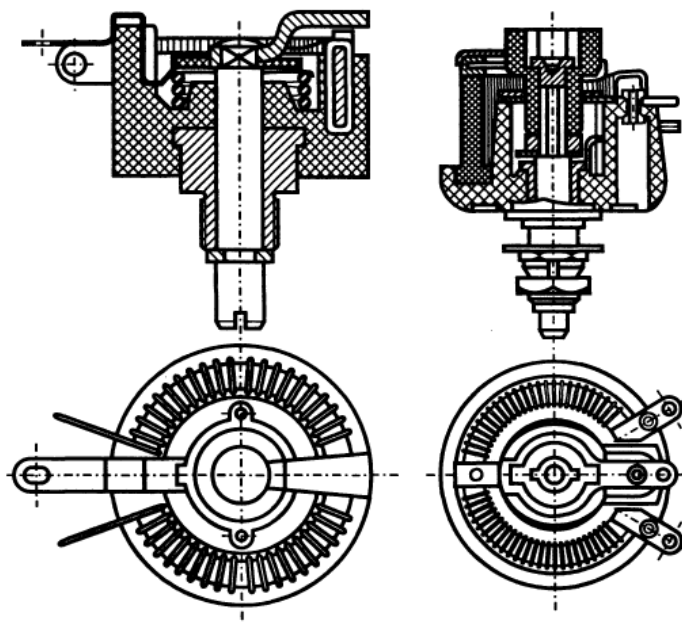


Рисунок. 3.6 – Будова дротяних резисторів змінного опору

**Спеціальні резистори** переважно виготовляють з різноманітних провідникових та напівпровідникових матеріалів. *Терморезистори* бувають мідно-марганцеві, кобальт-марганцеві, мідно-кобальт-марганцеві, титано-барієві, кремній-окисні тощо. Їх форми, габарити і конструктивні особливості дуже різноманітні: їх виготовляють у вигляді дисків, мініатюрних бусинок, плоских прямокутників тощо.

*Фоторезистори* найчастіше виготовляють з сірчистих і селенистих сполук кадмію і свинцю ( $CdS$ ,  $CdSe$ ,  $PbS$ ,  $PbSe$ ). Світлочутливий елемент може бути як полі-, так і монокристалічним, у вигляді пресованої пластини або напиленої плівки. Корпуси цих приладів мають шлюдяні або скляні вікна, призначені для пропускання світла.

Струмопровідним елементом *варисторів* звичайно є карбід кремнію з керамічною зв'язкою. Виготовляють їх у вигляді стрижнів або дисків.

*Варакторами* часто називають *варикапи*, які використовують у схемах, щоб отримати регульований реактивний ємнісний опір. З цього випливає, що їх конструкція аналогічна до конструкції варикапів – конденсаторів, побудованих на р-п-переході.

*Тензорезистори* виготовляють з металів і напівпровідників. Найчастіше вони мають форму дротинки або плівки, нанесених на еластичну підкладку.

**Робота резистора та його параметри.** Фізична суть процесів у резисторах визначається двома основними чинниками: протіканням струму і перетворенням електричної енергії в теплову. У спеціальних резисторах додатково відбувається перетворення інших видів енергії (світлової, теплової, пружної) в електричну.

У дискретних елементах резистивні шари виготовляють з тонкого дроту або тонких металевих плівок, окисів металів, вуглецю, композицій, до яких входять провідникові та діелектричні включення. В провідниках основними носіями струму є вільні електрони, у напівпровідниках та діелектриках – електрони та дірки, їх основними параметрами є концентрація та рухливість. Вони значною мірою залежать від матеріалу, температури, напруженості електричного поля, механічних напружень та інших чинників.

Резистори загального призначення характеризуються такими параметрами: номінальним опором, допуском на номінальний опір, номінальною потужністю розсіювання, граничною робочою напругою, граничною робочою частотою, температурним коефіцієнтом опору, коефіцієнтом старіння, електрорушійною силою шумів, інтенсивністю відмов.

*Номінальним опором* називають вказане на резисторі значення опору, яке є середнім для цієї сукупності. Номінальні опори резисторів стандартизовані. Згідно зі стандартом числові значення номінальних опорів визначаються рядами переважних чисел. Вони лежать у межах від одиниць ом до десятків мегаом.

*Допуском* називають встановлене стандартом для кожного ряду резисторів граничне відхилення опору від номінального значення. Для резисторів загального призначення вони лежать у межах від 5 до 20 %. Для прецизійних резисторів – у межах від 0,05 до 5 %.

*Номінальною потужністю розсіювання* називають максимально допустиму потужність, яку резистор може розсіювати при неперервному електричному навантаженні і заданій температурі довкілля, не змінюючи параметри більше від норми, встановленої технічними умовами. Її величина залежить від типу та розміру елементів. Для резисторів загального призначення номінальні потужності розсіювання лежать у межах від 0,125 до 10 Вт. Від номінальної потужності і температури довкілля залежить допустиме електричне навантаження резисторів.

*Граничною робочою напругою* називається та найбільша напруга, яка за оптимальних умов експлуатації, будучи короткочасно прикладеною до виводів резистора, не спричиняє порушення його працездатності. Її величина залежить від конструкції та розмірів елементів. Для різних типів резисторів гранична напруга лежить в межах від одиниць вольт до кіловольт.

*Граничною робочою частотою* називають ту найбільшу частоту, на якій опір резисторів не виходить за межі встановленого допуску. Для різних типів недротяних резисторів вона знаходиться в межах від одиниць мегагерц до одиниць



гігагерц. Для резисторів змінного опору і дротяних вона є нижчою, ніж для недротяних елементів постійного опору.

*Температурний коефіцієнт опору* характеризує температурну стабільність резисторів. Він визначається зворотною відносною зміною опору за зміни температури на 1 °С. Температурний коефіцієнт опору залежить від структури і матеріалу резистивного шару та конструкції резистивного елемента. Для різних типів резисторів він лежить у межах від:  $-(2...20)10^{-4}$  до  $+(2...20)10^{-4}$  1/°С. Дротяні резистори мають менші температурні коефіцієнти опору, ніж недротяні.

*Коефіцієнт старіння опору* характеризує часову стабільність резисторів. Він визначається незворотною відносною зміною опору елементів за одиницю часу. Коефіцієнт старіння переважно залежить від структури і матеріалу резистивного шару. Для різних типів він лежить в межах від  $10^{-4}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  %/рік.

Властивості резисторів визначають також *теплові* та *струмові шуми*. Перші з них є результатом теплових флуктуацій напрямленого руху носіїв струму, другі - наслідком розсіювання носіїв дефектами. Напруга теплового шуму не залежить від резистивного матеріалу, а є лише функцією температури і опору резистора.

Напруга струмового шуму прямо пропорційна до прикладеної до резистора напруги. Для різних типів резисторів коефіцієнт струмового шуму лежить в межах від 0,2 до 20 мкВ/В.

Напруга струмових шумів значно більша від напруги теплових шумів і має неперервний спектр, найбільші складові якого лежать в ділянці низьких частот. Відношення діючого значення напруги шуму до прикладеної до резистора напруги називають електрорушійною силою шумів  $E_{ш}$ .

Шум виникає також у нерухомих контактах зовнішніх виводів з резистивним елементом, і ще більше в рухомих контактах резисторів змінного опору (шум повертання). Тому у повний шум резистора входять шуми як в самому резистивному елементі, так і в його контактах.

Важливим параметром є *інтенсивність відмов*, яка характеризує надійність резисторів за раптових відмов. Інтенсивність відмов дискретних резисторів коливається у межах від  $10^{-7}$  до  $10^{-8}$  відмов за годину.

Більшу інтенсивність відмов мають резистори змінного опору, меншу – постійного опору. Причиною цього є наявність в перших рухомого контакту.

Дротяні резистори за надійністю займають проміжне місце між недротяними резисторами постійного опору і резисторами змінного опору.

Інтенсивність відмов залежить також від режиму і умов експлуатації резисторів. Якщо режими жорсткіші, умови експлуатації погіршуються і інтенсивність відмов зростає.

Резистори змінного опору характеризують певними специфічними параметрами: повним (номінальним) опором, формою функціональної характеристики, її похибкою, протяжністю ділянки плавного регулювання, мінімальним опором, номінальною потужністю, напругою шумів повертання, моментом повертання, роздільною здатністю, паразитною ємністю і індуктивністю.

Низку особливих параметрів мають також спеціальні резистори.

**Маркування резисторів.** В загальному випадку букво-цифрові коди, що використовуються для маркування постійних резисторів, можуть позначати тип і типорозмір резистора; показувати марку матеріалу, з якого виготовляються корпус резистора та його струмопровідний шар; позначати конструктивне виконання і конструктивні особливості, значення опору і максимально можливого відхилення від номіналу; номінальну потужність розсіювання; максимальне значення е.р.с шумів; дату виготовлення резистору; фірмовий знак заводу-виробника і вид приймання резисторів замовником чи ВТК.

У відповідності з вимогами державних стандартів букво-цифрові коди можуть складатися із трьох, чотирьох і п'яти знаків. Ці коди, як правило, включають дві букви і цифру, три цифри і букву або чотири цифри і букву. При цьому букви замінюють кому десяткового знаку.

Номінальне значення опору і допустиме відхилення, що нанесені на корпус резистору, визначають його якісні показники. Номінальний опір резисторів стандартизований і визначається математичними рядами, котрі мають наступні умовні позначення: E6, E12, E24, E96, E192. Вони приведені в додатку А. Цифра в позначенні ряду E визначає кількість значущих цифр - номіналів в кожному десятковому інтервалі. Наприклад, у ряду E12 міститься по дванадцять номіналів опорів в діапазонах від 1 до 9,9 Ом, від 10 до 99 Ом та в наступних розрядах.

Номінальне значення опору позначається, як правило, цифрами з вказуванням основних одиниць вимірів і символів  $\Omega$  і Ом позначаються великими буквами латинського алфавіту K і M. Так, резистор з опором 2,2 Ом може бути промаркований **2,2; 2,2  $\Omega$ ; 2,2 Ом; 2,2E; 2E2; 2R2**. Резистор з опором 220 Ом може мати маркування **220; 220  $\Omega$ ; 220E; K22**. Резистор з опором 220 кОм може мати маркування **220 кОм; 220K; M22; 220 к $\Omega$** .

Приклади букво-цифрового маркування номінальних опорів резисторів, що прийняті багатьма країнами світу і відповідають рекомендаціям міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) приведені в літературі [7-12].

Відхилення номінальних значень опорів, що допускаються, позначаються цифрами и вимірюються у відсотках Наприклад,  $\pm 2\%$ ;  $\pm 5\%$ , або просто цифрами 2; 5; 10. Раніше такі відхилення, як  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  позначувалися цифрами без знака %, а також вертикальними рисками (класи точності) – одною чи двома, відповідно. Відхилення  $\pm 20\%$  взагалі не вказувались.

В теперішній час відхилення номінального значення опору резисторів, що допускаються, маркуються буквами російського алфавіту чи буквами латинського алфавіту. Вони відповідають міжнародним стандартам позначення і приведені у таблиці 3.1.

Букви допуску та номіналу розміщують так, щоб між ними не було плутанини. Зазвичай першою йде буква множника номінального опору, а потім буква допуску. Значення опору, що виражене в омах, множать на відповідний множник, який кодується буквами: R(E), K, M, T і відповідає: 1,  $10^3$ ;  $10^6$ ;  $10^9$ . Наприклад маркування **K22J** вказує, що це резистор опором 220 Ом і допуском  $\pm 5\%$ , а маркування **39KM** – 39 кОм  $\pm 20\%$ .

Таблиця 3.1 – Символьне кодування допуску опору резистора

Відхилення ±, %	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	30
Російські букви						Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	ф
Латинські букви	Е	L	R	P	U	B	C	D	F	G	J, I	K	M	N

Резистори також можуть маркуватися *кольоровим кодом* шляхом нанесення на корпус резистора кольорових кілець. Кільця зсунуті до одного з виводів резистору і розташовуються зліва направо. Якщо розміри резистора не забезпечують відступу, то ширина першого кільця приблизно в два рази ширше решти. Число кілець може бути від трьох до шести. Приклад кольорового маркування приведений у додатку Б [9].

Маркування дати виготовлення резисторів передбачає двозначний код позначення, в тих випадках, коли необхідно позначити рік і місяць виготовлення резистору і чотирьохзначний код для позначення року і тижня виготовлення резистору у вигляді чотирьох цифр. В останньому випадку, перші дві цифри є останніми двома цифрами року, а наступні дві цифри вказують номер тижня. В теперішній час дата виготовлення малогабаритних резисторів маркується двохсимвольним кодом [10].

*SMD резистори* маркуються різними способами. Спосіб маркування залежить від типорозміру резистора і допуску. Резистори типорозміром 0402 не маркуються. Резистори з допуском 2%, 5% и 10% всіх типорозмірів маркуються трьома цифрами, перші дві з яких позначають мантису (тобто значущі цифри, номінал резистора без множника), а остання — показник степеня по основі 10 для визначення множника (фактично, кількість нулів, що треба дописати після перших двох цифр). За необхідністю до значущих цифр може додаватися буква R для позначення десяткової коми. Наприклад, маркування «513» означає, що резистор має номінал  $51 \times 10^3$  Ом, що дорівнює 51 кОм. Позначення «100» вказує, що номінал резистора дорівнює 10 Ом, а позначення «000» вказує, що номінал резистора дорівнює 0 Ом – тобто ми маємо перемичку.

Резистори з допуском 1% типорозміром від 0805 і вище маркуються чотирма цифрами, перші три з яких позначають мантису, а остання — показник степені за основою 10 для задавання номіналу резистора в омах. Буква R також слугує для позначення десяткової коми. Наприклад, маркування «7501» означає, що резистор має номінал  $750 \times 10^1$  Ом, що дорівнює 7,5 кОм.

Резистори з допуском 1% типорозміру 0603 маркуються з використанням таблиці EIA-96 [9] двома цифрами і одною буквою. Цифри задають код, за яким із таблиці визначають мантису, а буква — показник ступеня за основою 10 для визначення номіналу резистору в омах. Наприклад, маркування «10C» означає, що резистор має номінал  $124 \times 10^2$  Ом, що дорівнює 12,4 кОм.

### 3.3 Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразки компонентів. Вибрати із них резистори.
2. По зовнішньому вигляду і маркуванню визначити, до якої групи відносяться ці резистори. Визначити, якщо це можливо, їх номінали, допуски і робочі напруги.
3. За допомогою тестера 43101, що входить в склад лабораторного стенда, визначити дійсні значення опорів резисторів.
4. Повторити вимір опорів цифровим мультиметром.
5. Врахувати дійсні допуски резисторів (відхилення дійсного опору від маркованого). За дійсний опір взяти значення з цифрового вимірювального прибору.
6. Знайти в довідниках докладну інформацію про досліджувані резистори (тип, марку, технологію виготовлення, параметри, сферу застосування). Для елементів, на яких відсутнє або не повне маркування, визначити можливий їх тип по зовнішньому вигляду, порівнюючи з відповідними картинками в довідниках або іншими подібними резисторами з маркуванням.
7. Отримати у викладача зразок (чи зразки) резисторів для подальших досліджень (наприклад - МЛТ-0,5 200 Ом).
8. Використовуючи високовольтне джерело живлення Б5-47, що входить до складу лабораторного стенду, зібрати схему (рисунок 3.7) для вимірювання температурної залежності та визначення максимальної потужності, що розсіюється на резисторі. На рисунку 3.7: резистор R1 – зразок для дослідження, 1, 2, 3, 4, 5 – клеми високовольтного джерела живлення Б5-47, що входить до складу лабораторного стенду, P1, P2 – два будь-яких тестера 43101, що входить до складу лабораторного стенду.

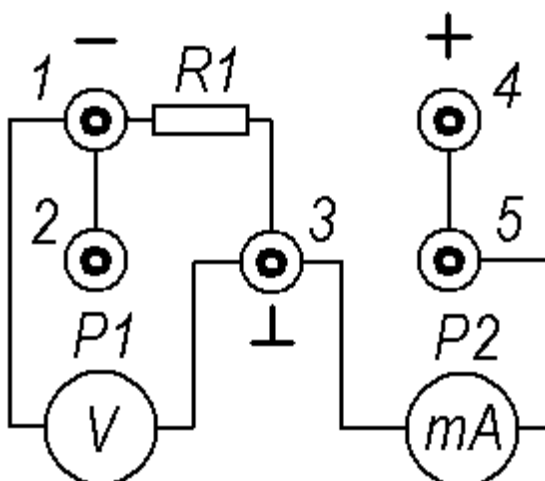


Рисунок 3.7 – Схема лабораторної установки.

9. Розрахувати номінальний режим роботи резистора (напругу та струм, виходячи з номінальної потужності та опору) Змінюючи напругу від 0В (з кроком 5В, не швидше одного разу за 10 секунд) і фіксуючи струм в колі,

скласти таблицю залежності струму від напруги, що прикладена до резистора. В цій же таблиці відмічати поведінку зразка (зміна кольору, поява запаху, диму, світіння, руйнування тощо)

10. За отриманими даними побудувати залежність (графік) опору резистора від потужності (температури), що підведена до нього. Відмітити на графіку зону допустимого (номінального) режиму роботи.

11. Зробити висновки по ходу виконання лабораторної роботи.

### **3.4 Контрольні запитання**

1. Класифікація резисторів.
2. Будова резисторів.
3. Ряди та допуски резисторів.
4. Параметри резисторів.
5. Символьне маркування резисторів.
6. Кодове маркування резисторів.
7. Кольорове маркування резисторів.
8. Основні типи резисторів та області їх використання.
9. Вимірювання параметрів резисторів.
10. Прилади для вимірювання опору та методика його виміру.

## 4 Лабораторна робота №4 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** практичне ознайомлення з характеристиками провідникових матеріалів проводів, шнурів та кабелів і методикою вимірювання їх параметрів.

### 4.1 Прилади і матеріали

- 1) Універсальний вимірювач RLC-2.
- 2) Лінійка (рулетка).
- 3) Мікрометр (штангенциркуль).
- 4) Ніж, кусачки, наждачний папір і т. ін. для зачищення ізоляції провідників.
- 5) Набір провідників.

### 4.2 Теоретичні відомості

Питомий електричний опір — опір провідника довжиною  $l$  м, що має постійний по довжині поперечний переріз в  $1 \text{ мм}^2$ .

Температурний коефіцієнт опору — коефіцієнт, що дорівнює відносній зміні опору під час зміни температури на 1 градус.

Основні дані проводів низького опору приведені в таблиці 4.1, а сплавів високого опору — в таблиці 4.2.

Величини, що приведені в таблиці 4.1, є середніми, дійсні ж значення залежать від ступеня чистоти матеріалу, термообробки і т. ін.

За характером використання сплави високого опору поділяються на:

— сплави для виготовлення еталонів опорів, магазинів, шунтів і опорів для добавлення. Сюди відносяться: манганін, що має дуже малий температурний коефіцієнт опору, високий питомий опір і малу термо-ЕРС в контакті з міддю;

— сплави для виготовлення реостатів і баластних опорів. (Нікелін, нейзильбер, реотан, константан).

— сплави для нагрівальних пристроїв. Найкращим матеріалом для виготовлення цих пристроїв є ніхром.

**Мідні обмотувальні проводи** призначені для виготовлення обмоток трансформаторів, дроселів, реле, котушок індуктивності і т. ін. Ці проводи можуть мати покриття: емалеве, із волокнистих матеріалів і комбіновану ізоляцію із емалі і волокнистих матеріалів.

Основні марки обмотувальних проводів, характеристика їх ізоляції та їх основні дані можна знайти у літературі [13].

Таблиця 4.1 — Основні властивості провідників

Матеріал	Питомий опір при 20°, Ом*мм <sup>2</sup> /м	Температурний коефіцієнт опору, 1/град	Температура плавлення, град.	Густина, г/см <sup>3</sup>
Алюміній	0,0280	0,0049	660	2,7
Бронза фосфориста	0,1150	0,0040	900	8,8
Вольфрам	0,0550	0,0045	3416	19,3
Вугілля	0,33 – 1,85	0,0006	—	—
Латунь	0,03 – 0,06	0,0020	900	8,5
Мідь електротехнічна	0,0175	0,0040	1080	8,9
Нікель	0,100	0,0060	1453	8,9
Олово	0,1150	0,0042	230	7,3
Платина	0,1000	0,0030	1770	21,4
Ртуть	0,9580	0,0009	-39	13,6
Свинець	0,2100	0,0040	330	11,4
Сталь	0,0980	0,0062	1520	7,8
Срібло	0,0160	0,0038	960	10,5
Сталь	0,0980	0,0062	1520	7,8
Тантал	0,1550	0,0031	2900	16,6
Хром	0,0270	—	—	6,6
Цинк	0,0590	0,0035	420	7,0

Таблиця 4.2 – Основні властивості сплавів високого опору

Сплави	Питомий опір при 20° Ом*мм <sup>2</sup> /м	Температурний коефіцієнт опору (в межах 0 – 300°), 1/град	Максимальна робоча температура, град	Температура плавлення, град	Густина, г/см <sup>3</sup>
Константан	0,44 – 0,52	±0,000005	500	1270	8,9
Манганін	0,40 – 0,50	+0,000050	100	1200	8,5
Нейзильбер	0,28 – 0,35	+0,000300	150	1000	8,4
Нікелін	0,39 – 0,45	+0,000020	150	—	8,8
Ніхром	1,00 – 1,10	+0,000150	900	1400	8,2
Реотан	0,45 – 0,52	+0,000400	150	—	—
Фехраль	1,10 – 1,30	+0,000100	900	1460	7,2
Хромель	1,45	+0,000050	1000	1500	7,1

Емалева ізоляція характеризується кращими електроізоляційними властивостями, ніж волокниста. Емальовані проводи знаходять найбільш широке використання. Якщо під час виготовлення обмотки чи в процесі роботи котушки провід піддається підвищеним механічним діям, то використовуються проводи з додатковою обмоткою із бавовняного волокна, капронового волокна, натурального шовку чи шовку лавсан. При слабких механічних діях можна використовувати проводи, що ізолювані високоміцною емаллю (марки ПЭВ, ПЭМ, ПЭВТЛ,

ПЭТВ) чи капроном (марка ПКР). Ці проводи мають менший зовнішній діаметр, ніж проводи з волокнистою ізоляцією. Проводи марки ПЭВТЛ характеризуються більшим опором ізоляції та порівняно малим тангенсом кута діелектричних втрат ( $\operatorname{tg} \delta$ ).

Електроізоляційні властивості капронового волокна і натурального шовку трохи вище, ніж у бавовняного волокна. Капронове волокно перевищує натуральний шовк по стійкості до витирання і більш стійке до дії таких розчинників як бензин, бензол, трансформаторне масло и т. ін.

Найбільше теплостійкими є проводи, що ізольовані скловолокном з просякненням кремнійорганічними лаками (марки ПСДК і ПСДКТ).

Проводи марок ПЭВКЛ, ПЭВТЛ, ПЭПЛО можна залужувати без попереднього зачищення ізоляції, а проводи марки ПЭВТЛ — без використання флюсів.

Для виготовлення безкаркасних рамок стрілочних приладів випускаються емальовані проводи марки ПЭВД з додатковим термопластичним покриттям із лаків на полівінілацетатній основі. Під час нагрівання обмотки до температури від 160 до 170°C протягом 3 – 4 год. витки склеюються.

**Високочастотні обмотувальні проводи** (літцендрати) призначені для виготовлення високочастотних котушок з високою добротністю. Ці проводи складаються з пучка емальованих провідників діаметром від 0,05 до 0,2 мм, що перевиті особливим чином. Весь пучок частіше всього покривається волокнистою ізоляцією. Із-за особливого розташування провідників у пучку ослаблюється поверховий ефект (скін-ефект) і тому зменшується опір проводу для струмів високої частоти.

Випускаються високочастотні обмотувальні проводи наступних марок: ЛЭЛ – без додаткової ізоляції; ЛЭЛД – з обмоткою із шовку лавсан в два шари; ЛЭЛО – з обмоткою із шовку лавсан в один шар; ЛЭП – без додаткової ізоляції; ЛЭПКО – з обмоткою із капронового волокна; ЛЭШД – з обмоткою із натурального шовку в два шари; ЛЭШО – з обмоткою із натурального шовку в один шар.

Проводи марок ЛЭП и ЛЭПКО перед залужуванням не треба зачищати.

Основні дані деяких високочастотних обмотувальних проводів приведені у літературі [13].

**Обмотувальні проводи високого опору** використовуються для виготовлення дротяних резисторів і шунтів. Виробляються з манганіну, константану та ніхрому. Термостійкість цих проводів також, як і мідних, визначається матеріалом ізоляції.

Основні марки обмотувальних проводів високого опору та їх параметри приведені у літературі [13].

**Монтажні проводи**, що використовуються для монтажу радіоелектронної та іншої апаратури, можуть бути з поліхлорвініловою (ПВХ), резиновою чи волокнистою ізоляцією.

Проводи з волокнистою ізоляцією використовуються для монтажу апаратури, що працює за нормальних умов, коли виключена можливість конденсації води в апараті і не передбачені різкі кліматичні зміни.

Проводи в поліетиленовій, ПВХ і резиновій ізоляції можуть експлуатуватися в умовах підвищеної вологості з різкими коливаннями температури.



Монтажні проводи з ізоляцією із кремнійорганічної резини виготовляються перерізом від 0,75 до 95 мм<sup>2</sup> і призначені для роботи за напруги до 380 В і температурою до 180°C.

Дуже хорошими електроізоляційними властивостями і високою термостійкістю характеризуються проводи з ізоляцією з фторопластової плівки і скловолоннистого обплетення, просякненого кремнійорганічним лаком (наприклад, марка ТМ-250). Вони можуть експлуатуватися за температури до 250°C.

За конструкцією струмопровідної жили монтажні проводи можуть бути однопровідними негнучкими і багатожильними гнучкими, у яких струмопровідні жили звиті із тонких мідних дротів.

Основні дані монтажних проводів приведені у літературі [13].

### **Високочастотні кабелі**

Основні електричні характеристики ВЧ-кабелів: хвильовий опір, погонна ємність, погонне загасання, коефіцієнт вкорочення і робоча напруга.

*Хвильовий опір* кабелю по аналогії з хвильовим опором коливального контуру можна визначити з виразу (4.1):

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (4.1)$$

де  $L$  і  $C$  — погонні індуктивність і ємність кабелю.

Хвильовий опір кабелю визначається його конструкцією. Відношення напруги до струму в будь-якій точці кабелю дорівнює хвильовому опору (за навантаженню на опір, що дорівнює хвильовому).

*Погонна ємність* кабелю – ємність одиниці довжини кабелю ( $n\Phi/m$ ).

*Затухання кабелю* характеризує втрати енергії, що передається по кабелю. Із-за втрат амплітуда напруги  $U_2$  в кінці кабельної лінії менше амплітуди напруги  $U_1$  на початку лінії. Напругу  $U_2$  можна визначити за виразом (4.2):

$$U_2 = U_1 e^{-\beta l}. \quad (4.2)$$

де:  $\beta$  – погонне загасання,  $\partial B/m$ ;

$l$  – довжина кабелю,  $m$ .

Тоді погонне загасання можна розрахувати за формулою (4.3):

$$\beta = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \quad (4.3)$$

де  $U_1$  і  $U_2$  – напруга на початку і в кінці відрізка кабельної лінії довжиною 1 м.

*Коефіцієнт вкорочення* показує, у скільки разів довжина хвилі в кабелі менше довжини хвилі у вільному просторі.

*Робоча напруга кабелю* – максимальна напруга між жилами кабелю за якої кабель може працювати тривалий час.

Найбільш часто використовуються *коаксіальні* (концентричні) кабелі. Однопровідниковий коаксіальний кабель складається із внутрішнього провідника, що покритий ізоляцією з малими втратами на високих частотах, і розташованого концентрично по відношенню до нього зовнішнього провідника, який зазвичай виготовляється у вигляді обплетення із тонкої мідної проволочки.

*Двохпровідникові* високочастотні кабелі складаються із двох паралельних чи закручених проводів з екраном чи без нього. Використовуються також стрічкові кабелі у вигляді двох паралельних проводів, що знаходяться в пластмасовій ізоляції на фіксованій відстані один від іншого. Промисловістю випускається стрічковий кабель типу КАТВ з хвильовим опором 300 Ом.

Електричні характеристики високочастотних кабелів та їх конструктивні дані приведені у літературі [13].

### 4.3 Експериментальна частина

Питомий електричний опір  $\rho$  вимірюється в «Ом·м», також може вимірюватися в позасистемних одиницях – «Ом·см» і «Ом·мм<sup>2</sup>/м».

Опір провідника  $R$  з питомим опором  $\rho$ , довжиною  $l$  і площею поперечного перерізу  $S$  :

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (4.4)$$

Хвильовий опір ВЧ-кабелю з відомими геометричними розмірами можна визначити за приблизними формулою (4.5) для стрічкового (рисунок 4.1а) і формулою (4.6) для коаксіального (рисунок 4.1б) кабелів.



Рисунок 4.1– ВЧ-кабелі:  
а – стрічковий; б – коаксіальний

$$Z_x = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{2D}{d} = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{2D}{d}, \quad (4.5)$$

$$Z_x = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d}, \quad (4.6)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність матеріалу ізоляції.

#### 4.4 Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразки провідників.
2. Візуально визначити, якщо можливо, тип проводів, кількість жил, матеріал ізоляції проводу та жил(и).
3. Виміряти довжину та діаметр провідника. Якщо провідник в ізоляції, виміряти також діаметр разом з ізоляцією. Для виміру діаметру без ізоляції необхідно зачистити жилу, позбавивши її ізоляції механічним шляхом.
4. Увімкнути RLC-2 в мережу і дати прогрітися від 2 до 3 хв.
5. Виконати калібрування прибору. Для входження в режим калібрування натиснути та утримувати кнопку S1 до другого звукового сигналу. Коротким натисненням на цю ж кнопку обирається режим калібрування: *Open* (вільні щупи) чи *Short* (замкнуті щупи). Спочатку виконати калібрування *Open*. Для цього треба розмістити щупи прибору в такому положенні, в якому вони будуть під час виконання замірів та для запуску калібрування натиснути кнопку S2, дочекатися кінця процедури. Потім виконати калібрування *Short*, для чого замкнути щупи коротким товстим мідним провідником та запустити калібрування, аналогічно як і для *Open*, тільки попередньо вибравши вид калібрування *Short*.
6. Виконати вимірювання опору провідників на частоті 100Гц. Якщо у складі проводу декілька незалежних провідників, взяти середнє значення їх опору. Зі щупами приладу необхідно поводитися дуже обережно, щоб не пошкодити їх. Також треба слідкувати за чистотою контактів щупів, якістю зачищення провідника та надійністю контакту(добре стиснути щупи) між щупами та провідником, оскільки це дуже впливає на перехідний опір контакту. За несприятливих умов цей опір може бути більший за опір провідника.
7. Занести данні по кожному проводу в таблицю 4.3.
8. Розрахувати питомий опір провідника.
9. Для невідомих провідників по питомому опору із довідника визначити можливий матеріал жили.
10. Для ВЧ-кабелів розрахувати хвильовий опір або, якщо він відомий з маркування, визначити діелектричну проникність матеріалу ізоляції між провідниками.

Таблиця 4.3 – Результати виконання роботи

№ п/п	Тип проводу / кабелю	Кількість провідників	Кількість жил у провіднику	Матеріал		Діаметр провідника з ізоляцією / без, мм	Довжина провідника, м	R, Ом	Питомий опір, Ом·м	
				жили	ізоляції				$\rho$ (розрах.)	$\rho$ (літ.)
1.										
-----										
п.										

#### **4.5 Контрольні запитання**

1. Фізична природа електропровідності металів.
2. Температурна залежність питомого опору металевих провідників.
3. Вплив домішок і структурних дефектів на питомий опір металів.
4. Електричні властивості металевих сплавів.
5. Опір провідників на високих частотах.
6. Контактні явища і термоелектрорушійна сила.
7. Класифікація провідникових матеріалів.
8. Матеріали високої провідності.
9. Надпровідникові метали і сплави.
10. Сплави високого опору і сплави для термопар.
11. Кабелі, проводи, шнури.
12. Мідні обмотувальні проводи.
13. Монтажні проводи.
14. Високочастотні кабелі.
15. Припої.

## Перечень послань

- 1) *Пасынков В.В.* Материалы электронной техники/ *Пасынков В.В., Сорокин В.С.* - М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.
- 2) *Тареев Б.М.* Физика диэлектрических материалов/ *Тареев Б.М.* - М: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
- 3) *Казарновский Д.М.* Испытание электроизоляционных материалов/ *Казарновский Д.М., Тареев Б.М.* - М: Энергоиздат, 1963. – 315 с.
- 4) Справочник по электротехническим материалам: в 3 т. Т. 1/ под ред. Ю. В. Корицкого и др.—3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1986.—368 е.: ил.
- 5) *Матвійків М.Д.* Елементна база електронних апаратів: підруч./ *М.Д.Матвійків, В.М. Когут, О.М. Матвійків.* - 2-ге вид. - Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007. - 428 с.
- 6) *Горячева Г.А.* Конденсаторы: справочник/ *Горячева Г.А., Добромислов Е.Р.* – М.: Радио и связь, 1984. – 88 с.
- 7) *Гендин Г.С.* Все о резисторах: справочник/ *Гендин Г.С.* – М.: Горячая линия – Телеком, 1999. – 192 с.
- 8) *Аксенов А.И.* Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: справочник/ *Аксенов А.И., Нефедов А.В* - М.: Радио и связь, 1995. - 272 с:
- 9) *Садченков Д.А.* Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных: справ. пособ./ *Садченков Д.А.* - М.: СОЛОН-Р, 2002. - 208 с.
- 10) *Мукосеев В.В.* Маркировка и обозначение радиоэлементов. Системы цветовой и буквенно-цифровой маркировки отечественных и зарубежных электронных элементов: справочник /*Мукосеев В.В., Сидоров И.Н.*- М.: Радио и связь, 1999. - 349с.( Массовая радиобиблиотека. Вып. 1240.)
- 11) Маркировка электронных компонентов. — 9-е изд., стер. - М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2004. — 208 с : ил.
- 12) *Нестеренко И.И.* Цвет, код, символика электронных компонентов/ *Нестеренко И.И.* . – М.:СОЛОН, 2004. -213с.
- 13) Справочник радиолюбителя/ *Р. М. Терещук, Р. М. Домбругов, Н.Д. Босый, С.И. Ногин, В.П. Боровский, А.Б. Чаплинский.* В 2 ч. - изд. 6-е.– К.: Техніка, 1970. – Ч. 1. - 696 с.

## Додаток А




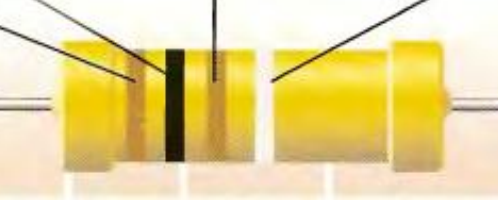
Таблиця А.1 – Стандартні ряди номінальних значень

Ряд	Номінальні значення											
<b>Е3</b>	1,00				2,2				4,7			
<b>Е6</b>	1,00		1,5		2,2		3,3		4,7		6,8	
<b>Е12</b>	1,00	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
<b>Е24</b>	1,00	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
<b>Е48</b>	1,00	1,05	1,10	1,15	1,21	1,27	1,33	1,40	1,47	1,54	1,62	1,69
	1,78	1,87	1,96	2,05	2,15	2,26	2,37	2,49	2,61	2,74	2,87	3,01
	3,16	3,32	3,48	3,65	3,83	4,02	4,22	4,42	4,64	4,87	5,11	5,36
	5,62	5,90	6,19	6,49	6,81	7,15	7,50	7,87	8,25	8,66	9,09	9,53
<b>Е96</b>	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,13	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30
	1,33	1,37	1,40	1,43	1,47	1,50	1,54	1,58	1,62	1,65	1,69	1,74
	1,78	1,82	1,87	1,91	1,96	2,00	2,05	2,10	2,15	2,21	2,26	2,32
	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,74	2,80	2,87	2,94	3,01	3,09
	3,16	3,24	3,32	3,40	3,48	3,57	3,65	3,74	3,83	3,92	4,02	4,12
	4,22	4,32	4,42	4,53	4,64	4,75	4,87	4,99	5,11	5,23	5,36	5,49
	5,62	5,76	5,90	6,04	6,19	6,34	6,49	6,65	6,81	6,98	7,15	7,32
	7,50	7,68	7,87	8,06	8,25	8,45	8,66	8,87	9,09	9,31	9,53	9,76
<b>Е192</b>	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14
	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,32
	1,33	1,35	1,37	1,38	1,40	1,42	1,43	1,45	1,47	1,49	1,50	1,52
	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,72	1,74	1,76
	1,78	1,80	1,82	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,96	1,98	2,00	2,03
	2,05	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18	2,21	2,23	2,26	2,29	2,32	2,34
	2,37	2,40	2,43	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,61	2,64	2,67	2,71
	2,74	2,77	2,80	2,84	2,87	2,91	2,94	2,98	3,01	3,05	3,09	3,12
	3,16	3,20	3,24	3,28	3,32	3,36	3,40	3,44	3,48	3,52	3,57	3,61
	3,65	3,70	3,74	3,79	3,83	3,88	3,92	3,97	4,02	4,07	4,12	4,17
	4,22	4,27	4,32	4,37	4,42	4,48	4,53	4,59	4,64	4,70	4,75	4,81
	4,87	4,93	4,99	5,05	5,11	5,17	5,23	5,30	5,36	5,42	5,49	5,56
	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97	6,04	6,12	6,19	6,29	6,34	6,42
	6,49	6,57	6,65	6,73	6,81	6,90	6,98	7,06	7,15	7,23	7,32	7,41
	7,50	7,59	7,68	7,77	7,87	7,96	8,06	8,16	8,25	8,35	8,45	8,56
	8,66	8,76	8,87	8,98	9,09	9,20	9,31	9,42	9,53	9,65	9,76	9,88

Рисунок Б.1 – Кольорове маркування резисторів

Резисторы. Цветовая маркировка						
Цвет полосы (точки)	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	Множитель	Допуск	ТКС, %/°C
Золотой				0,01Ω	± 5%	
Серебряный				0,1Ω	± 10%	
Черный		0	0	1Ω	± 20%	
Коричневый	1	1	1	10Ω	± 1%	100
Красный	2	2	2	100Ω	± 2%	50
Оранжевый	3	3	3	1kΩ		15
Желтый	4	4	4	10kΩ		25
Зеленый	5	5	5	100kΩ	± 0,5%	
Голубой	6	6	6	1MΩ	± 0,25%	10
Фиолетовый	7	7	7	10MΩ	± 0,1%	5
Серый	8	8	8	100MΩ	± 0,05%	
Белый	9	9	9			1

Пример обозначения	
2 кОм ±1%	
	
10 кОм ±2% 100 %/°C	
	
2 кОм ±5%	
	
100 Ом ±10%	