

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут технологій

## **ЕЛЕМЕНТНА БАЗА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ  
6.050902 «РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ»

Обговорено та рекомендовано  
на засіданні кафедри  
промислової електроніки.  
Протокол № 7 від 30.03.2016 р.

ЧЕРНІГІВ – 2016

Елементна база радіоелектронних апаратів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050902 «Радіоелектронні апарати». – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 76 с.

Укладачі: ВОЙТЕНКО ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ, канд. техн. наук, доц.  
РЕВКО АНАТОЛІЙ СЕРГІЙОВИЧ, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: ДЕНИСОВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри промислової електроніки

Рецензент: ГОРОДНІЙ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, канд. техн. наук, асистент кафедри промислової електроніки Чернігівського національного технологічного університету

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	4
ВСТУП .....	5
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗИСТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ .....	6
1.1 Прилади та матеріали .....	6
1.2 Теоретичні відомості .....	6
1.3 Порядок виконання роботи .....	17
1.4 Контрольні запитання .....	17
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ ТА НОМІНАЛІВ .....	19
2.1 Прилади та матеріали .....	19
2.2 Теоретичні відомості .....	19
2.3 Порядок виконання роботи .....	38
2.4 Контрольні запитання .....	39
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМУТАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ .....	41
3.1 Прилади та матеріали .....	41
3.2 Теоретичні відомості .....	41
3.3 Електромагнітні реле .....	47
3.4 Порядок виконання роботи .....	50
3.5 Контрольні запитання .....	51
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ .....	52
4.1 Прилади та матеріали .....	52
4.2 Теоретичні відомості .....	52
4.3 Конструювання і розрахунок котушок .....	55
4.4 Намотка котушок .....	57
4.5 Порядок виконання роботи .....	58
4.6 Контрольні запитання .....	59
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВІДНИКІВ .....	60
5.1 Прилади та матеріали .....	60
5.2 Теоретичні відомості .....	60
5.3 Експериментальна частина .....	64
5.4 Порядок виконання роботи .....	65
5.5 Контрольні запитання .....	66
5.6 Задачі до захисту лабораторної роботи .....	66
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	67
Додаток А. Ряди номінальних значень .....	68
Додаток Б. Кольорове маркування резисторів .....	69
Додаток В. Довідкова інформація про вимірювач універсальний Е7-11 ....	70
Додаток Г. Довідкова інформація про деякі електромагнітні реле .....	75

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ЕРЕ – електрорадіоелемент.

ІС – інтегрована схема.

РЕА – радіоелектронний апарат.

ТКО – температурний коефіцієнт опору.

ТКС – температурний коефіцієнт ємності.

## ВСТУП

Незважаючи на розмаїття конструкцій, технологій та функціонального призначення, всі радіоелектронні апарати (РЕА) складаються з тих самих елементів (дискретних, інтегрованих, функціональних), які підбирають і підключають відповідно до вимог технічних умов [12].

Забезпечення якості як вперше розроблених, так й тих РЕА, що обслуговуються, неможливе без знання принципів роботи цих елементів, особливостей їхньої конструкції, а також – функціональних можливостей. Вивчення дисципліни дозволяє отримати, як необхідні теоретичні знання про роботу елементної бази РЕА, так і набути практичних навичок конструювання і розрахунку спеціалізованих елементів. В подальшому, в процесі проектування, виготовлення та експлуатації РЕА це дозволить робити свідомий, науково обґрунтований вибір такої елементної бази, яка забезпечить високу надійність і якість виробів.

Дані методичні вказівки призначені для самостійної підготовки студентів до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Елементна база радіоелектронних апаратів». Лабораторні роботи виконуються на спеціалізованих навчальних стендах і присвячені вивченню конструкцій, маркування та практичному дослідженню характерних особливостей електрорадіоелементів (ЕРЕ).

До складу кожного розділу входять основні відомості та деякі особливості схем вимірювання. Процес підготовки до виконання роботи потребує обов'язкової самостійної роботи з рекомендованою літературою та лекційним матеріалом [8]. Після теоретичної частини наведено список контрольних питань, за допомогою яких оцінюється ступінь опанування теоретичного матеріалу і готовність студента до виконання лабораторної роботи. Далі наводиться перелік завдань, які потрібно вирішити в ході виконання роботи.

Результати виконання робіт оформлюються у вигляді звітів на аркушах формату А4. Звіт повинен містити таку інформацію:

- 1) титульний аркуш встановленого зразку з повною назвою роботи і підписом студента, що виконав звіт;
- 2) короткі відомості про об'єкт вивчення (15...20 рядків), в тому числі – схему підключення під час вимірювань;
- 3) відповіді на контрольні запитання;
- 4) таблиці з результатами вимірювань;
- 5) висновки щодо отриманих результатів.

Пункти 1 – 3 оформлюються і показуються викладачеві на початку заняття, що є умовою допуску до виконання роботи в навчальній лабораторії. Весь звіт надається безпосередньо на захист роботи.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗИСТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ

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

## 1.1 Прилади та матеріали

- 1) Аналогові вимірювальні прилади (Ц43101, Е7-11 або ін.).
- 2) Цифрові вимірювальні прилади (мультиметр, RLC-2 або ін.).
- 3) З'єднувальні провідники.
- 4) Блок живлення (Б5-47 або ін.).
- 5) Набір резисторів різних типів, видів та номіналів.

## 1.2 Теоретичні відомості

Резистором називають ЕРЕ, який в електричному колі чинить активний опір струмові. Резистори призначені для перерозподілу и регулювання 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. Відповідно до цієї класифікації 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.

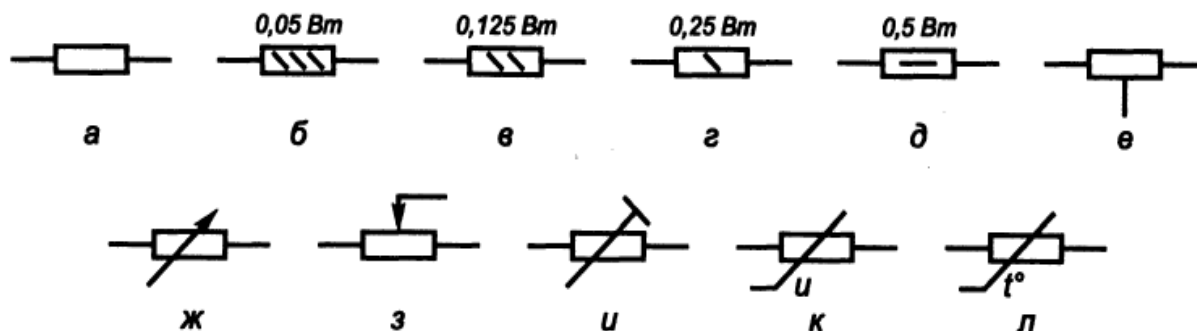
Резистори змінного опору та підстроювальні класифікують також за характером зміни опору залежно від кута повороту рухомої частини контакту. Розрізняють резистори з лінійним, логарифмічним та зворотно-логіфімічним законом зміни опору.

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 зображають так, як показано на рисунку 1.1.



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 1.1 – Умовні зображення резисторів на схемах

Умовні позначення постійних резисторів складаються з букв кириличного 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 резистора.

Як правило, другий елемент позначення резистора дозволяє визначити вид резистивного елемента 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 резисторів та їх характеристики можна докладніше переглянути в [1, 7, 11, 13–15].

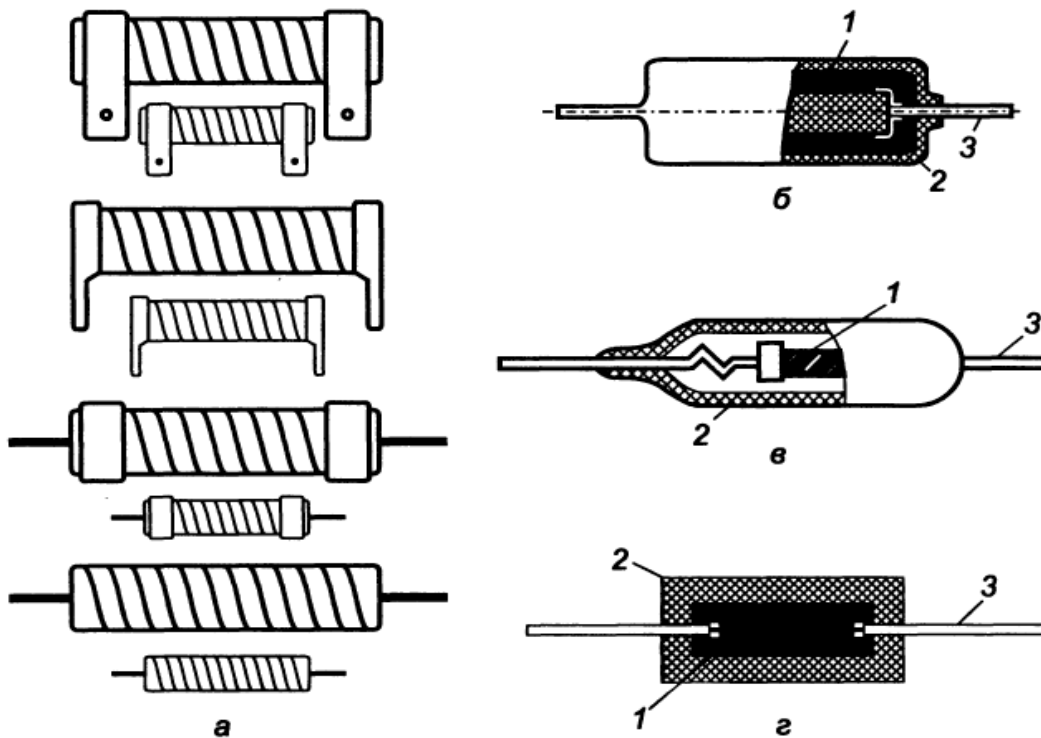
Умовні позначення дискретних резисторів складаються з букв і цифр, які означають назву елемента, номер його розробки, номінальну потужність, номінальний опір, допуски на опір. Наприклад, «Р1-1-0,5-33 кОм ± 10%» означає резистор вуглецевий, номер розробки 1, потужність 0,5 Вт, опір 33 кОм, допуск 10 %.

**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, ситалу або інших матеріалів. Вона має форму суцільного стрижня (для малопотужних елементів) або трубки (для потужних).

Резистивний шар недротяних резисторів (Рисунок 1.2) 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 окисидів 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 1.2 – Недротяні резистори

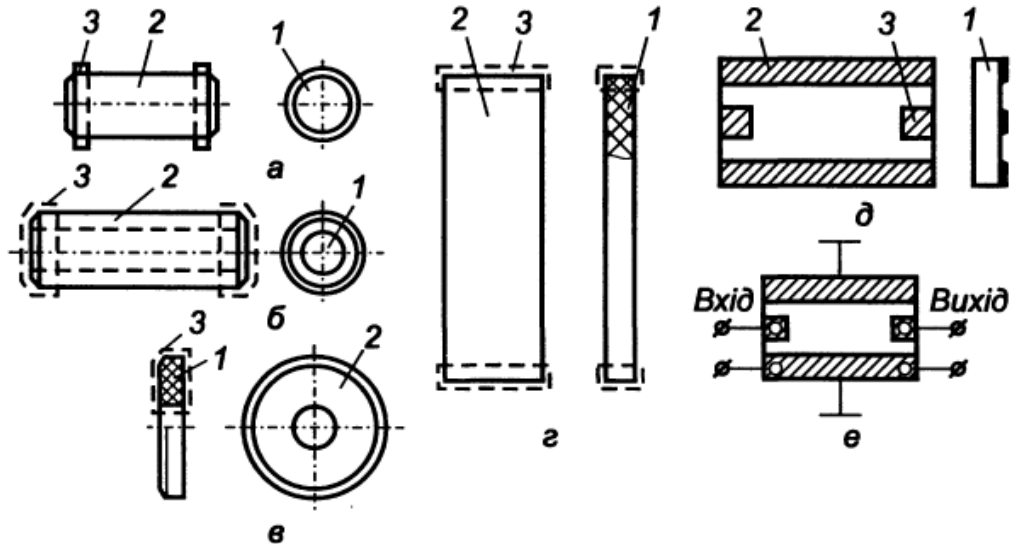
Щоб збільшити опір резисторів, у резистивному шарі прорізають рі-вчачки. Зовнішні виводи резисторів виготовляють з мідного лудженого дроту діаметром 0,5 мм з допуском  $\pm 0,1$  мм або із мідних луджених пластин, які одночасно є елементами кріплення і електричного з'єднання зовнішніх виводів з резистивним 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 1.3) 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 1.3 – Будова високочастотних резисторів

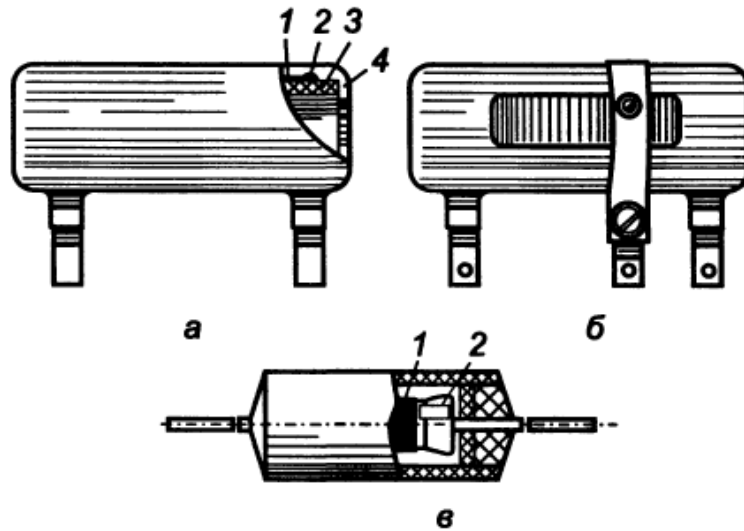
Дротяні резистори, зовнішній вигляд та конструкція яких показані на рисунку 1.4, складаються з круглого (рідше плоского) каркасу з вивідними контактами, на якому розміщена одношарова або багатошарова обмотка. Для захисту від механічних та кліматичних впливів і закріплення витків резистор покривають лаком, емаллю або герметизують. Матеріалами резистивного елемента служать високоомні сплави манганіну (мідь – 86 %, марганець – 12 %, нікель – 2 %), константану (мідь – 60 %, нікель – 40 %) або ніхрому (сплав нікелю з хромом).

Недротяні резистори змінного опору, зовнішній вигляд і конструкція яких зображені на рисунку 1.5, 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 фор-

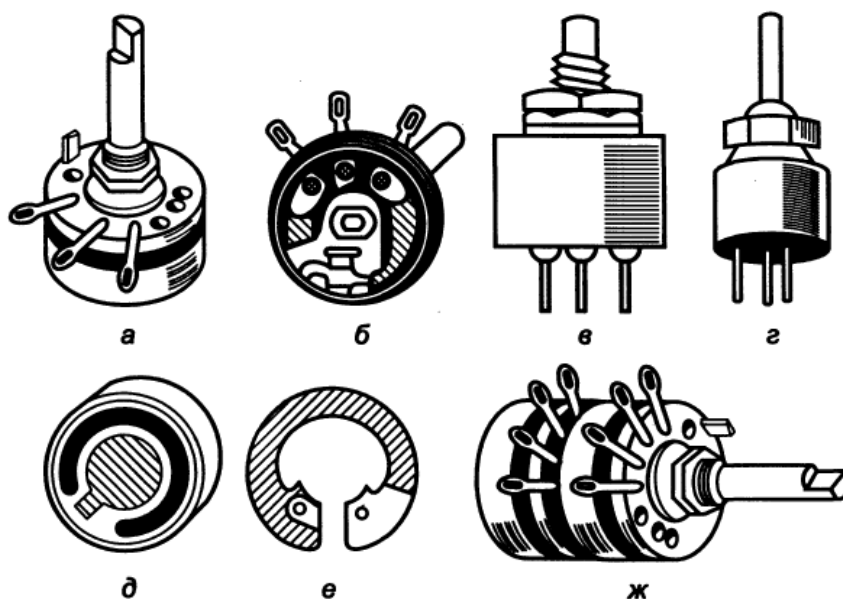
му і поступальне переміщення контактної щітки. Їх корпус звичайно виконують із кераміки, а резистивний елемент впресовують в дугоподібну канавку. Ковзний контакт роблять із спеціальної суміші графіту і сажі.



а, б, в- різні види дротяних резисторів

(1 - намотка, 2 - вивід, 3 - каркас; 4 - склоемаль)

Рисунок 1.4 – 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 1.5 – 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 1.6). 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.

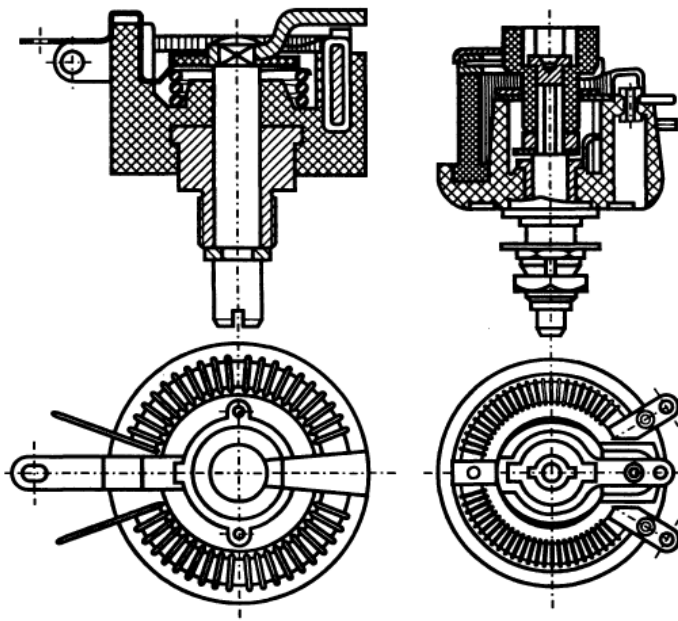


Рисунок 1.6 – Будова дротяних резисторів змінного опору

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>.

**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 слюдяні 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 плівок, 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, мен-

шу – 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 К і М. 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, 11, 13, 15].

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 допуски на номінальні значення опору резисторів маркуються буквами українського чи латинського алфавіту. Вони відповідають міжнародним стандартам позначення і наведені у таблиці 1.1.

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 1.1 – Символьне кодування допуску опору резистора

Відхилення $\pm, \%$	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	30
Українські букви						Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф
Латинські букви	E	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 наведений у додатку Б [13].

В резисторах сучасного зразка з маркуванням, що складається з чотирьох смуг, останньою наноситься смуга золотого або срібного кольору, яка позначає точність, відповідно 5% або 10%. У резисторів з маркуванням у три смуги точність становить 20%. Високоточні резистори маркуються 5-6 смугами. У всіх типах кольорового маркування 1 і 2 смуги означають перші цифри номіналу елемента. Якщо маркування складається з трьох-чотирьох смуг, то третя смуга означає множник. Отримане значення необхідно помножити на значення, закодоване в перших двох смугах. У разі, якщо кольорне маркування резисторів складається з 5 смуг, третя смуга також належить до номіналу опору, четверта в такому випадку буде означати множник, а у п'ятій шпальті закодована точність. Якщо в маркуванні присутня шоста смуга, то вона позначає або температурний коефіцієнт, або

надійність елемента.

Використання кольорового маркування має переваги порівняно з цифровим. По-перше, колірне маркування легше наноситься на виріб, особливо на мініатюрні резистори. По-друге, простіше впровадити автоматичну збірку. Недоліком такого маркування можна назвати те, що при визначенні номіналу резистора необхідно мати під рукою таблицю кодування або скористатися вимірювальним приладом (мультиметром, тестером та ін.). Проте під впливом температури й інших зовнішніх факторів (волога, пил), а також у разі підгоряння маркування вживаного резистора може пошкодитися (почорніти, вицвісти, змінити колір). Вимірювання номіналу не завжди дасть вірний результат, оскільки опір резистора міг змінитися, а у разі перегорання елемента опору прилад покаже «обрив».

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 [15].

*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 [11] 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.



### **1.3 Порядок виконання роботи**

1. Отримати зразки компонентів. Вибрати з них резистори.
2. За зовнішнім виглядом і маркуванням визначити, до якої групи належать ці резистори. Визначити, якщо це можливо, їх номінали, допуски, робочі напруги, потужність та температурні коефіцієнти опору (ТКО).
3. Заповнити наявні дані у таблицю 1.2.
4. За допомогою одного з аналогових приладів (тестера 43101, що входить до складу лабораторного стенда, або Е7-11 (Додаток В)) визначити дійсні значення опорів резисторів.
5. Повторити вимірювання опорів цифровим вимірювачем (цифровий вольтметр В7-27, мультиметр, RLC-2 або ін.).
6. Вирахувати дійсні допуски резисторів (відхилення дійсного опору від маркованого). За дійсний опір взяти значення з цифрового вимірювального прибору.
7. 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 ілюстраціями в довідниках або іншими подібними резисторами з маркуванням.
8. Зробити висновки за ходом виконання лабораторної роботи стосовно досягнутої мети навчання.

### **1.4 Контрольні запитання**

1. Навести класифікацію резисторів щонайменше за сьома ознаками.
2. Визначити спільне та особливе в будові різних типів резисторів.
3. Показати, яким чином утворюються ряди переважних чисел резисторів та яким чином вони пов'язані з допусками.
4. Перерахувати параметри резисторів.
5. Навести символічне маркування резисторів.
6. Визначити переваги та недоліки використання кольорового маркування резисторів.
7. Пояснити принципи кольорового маркування резисторів, його переваги та недоліки.
8. Пояснити методи кодового маркування SMD-резисторів
9. Перелічити основні типи резисторів та області їх використання.
10. Пояснити, яким чином виміряти параметри резисторів.
11. Навести перелік найбільш вживаних типорозмірів SMD-резисторів.
12. Сформулювати перелік кроків для вимірювання опору за допомогою вимірювача універсального Е7-11.
13. Дати відповіді на контрольні запитання 1 та 4 для конкретного зразка резистора.
14. Виміряти опір конкретного зразка резистора за допомогою вимірювача універсального Е7-11.

15. Вирішити задачу (надається під час захисту). Приклад задачі:

А. Навести класифікацію наданого зразка резистора щонайменше за чотирма ознаками.

Б. Навести умовне графічне зображення та позначення цього зразка на електричній схемі.

В. З'ясувати, яким чином зміниться опір зразка, якщо температура зовнішнього середовища

В.1 збільшиться до T1?

В.2 зменшиться до T2?

Г. Скласти схему робочого місця для вимірювання опору резистора.

Д. Для наданої схеми розрахувати потрібні напруги та струми.

*Примітка.* Сформулювати запитання щодо потрібної додаткової інформації.

Таблиця 1.2 – Результати експериментальних досліджень резисторів (приклад заповнення)

№ зр.	Зовнішні ознаки та маркування	Ідентифіковані параметри				Вимірювання		Висновки
		Тип	Номінал	Потужність	Допуск	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	МЛТ 1 кОм±5%	МЛТ	1 кОм	0,25 Вт	±5%	1,03кОм	1,02кОм	придат.
2	Жовт-Фіол-Оранже-Срібл	-	47 кОм	0,5 Вт	±10%	42,1кОм	42,2кОм	неприд.
...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	ПЭВР 22 Ом±5%	ПЭВР	22 Ом	10 Вт	±5%	22,1 Ом	21,9 Ом	придат.

*Примітки.*

1.3 метою найкращого представлення результатів дослідження назви граф, їхня кількість та зміст можуть відрізнятися від наведених у прикладі.

2. У другій графі наводиться будь-яка інформація, що дозволить в подальшому найкращим чином ідентифікувати ЕРЕ (наявні цифри, букви та позначки, опис чи малюнок зовнішнього виду, розміри, колір тощо).

3. У третій графі треба навести тип резистора для того, щоб під час захисту лабораторної роботи можна було б однозначно вказати належність до певного класу за різними ознаками та схарактеризувати властивості.

4. У графах 7 та 8 наводяться результати вимірювань опору резистора щонайменше за допомогою двох приладів (аналогового та цифрового).

5. У дев'ятій графі робиться висновок про можливість використання певного зразка в РЕА.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ ТА НОМІНАЛІВ

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

### 2.1 Прилади та матеріали

- 1) Вимірювач універсальний Е7-11.
- 2) Цифровий вимірювальний прилад RLC-2.
- 3) Лінійка (штангенциркуль).
- 4) 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 налаштування 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 *p-n*-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	К10	КМК, КЛГ, КЛС, КМ, КП, КПС, КД, КДУ, КТ, КТБ, КТН, УПТ, КО, КДО, КМ-С
Керамічні на напругу 1600 В і вище	К15	КВИ, КВЦ, КВДС
Скляні	К21	КС, ДС
Склокерамічні	К22, К23	СКМ, СКМ-Т
Тонкоплівкові	К26	
Слюдяні малої потужності	К31	КСГ, КСО, КСОТ, СГМ,
Слюдяні великої потужності	К32	СГВ, СГО-С, ОСГ, ССГ
Паперові на напругу до 2 кВ, фольгові	К40	КБП, КБГ, ОКБП,
Паперові на напругу 2 кВ і вище, фольгові	К41	ООПБТ, КБП, БМ, БГТ, КВГ, БМТ, КМБП
Паперові металізовані	К42	МБГВ, МБГ, МБГО, МБГТ, МБГЧ, МБМ
Оксидні алюмінієві	К50	КЭ, ЭГЦ, ЭМ
Оксидні танталові, ніобієві і ін.	К51	ЭТ, ЭТН
Об'ємно-пористі	К52	ЭТО
Оксидно-напівпровідникові	К53	КОПП
З повітряним діелектриком	К60	
Вакуумні	К61	В, КВ, ВВ, ВМ
Полістирольні (фольгові)	К71(К70)	МПО, МПГЦ, МПГП, МПГО, ОППТ, ПМ, ПО, МПС, ПОВ
Фторопластові	К72	ФТ, ФГТИ, ФЧ
Поліетилентерефталатні (фольгові)	К73(К74)	ПМГП, КМПМ
Комбіновані	К75	ПКГИ, ПКГТ
Лакоплівкові	К76	
Полікарбонатні	К77	
Поліпропіленові	К78	
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 цилінд-

ричні, 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). Температурний коефіцієнт ємності  $\alpha_c$  характеризує зворотну температурну зміну кожної одиниці ємності за зміни температури на один градус, тобто

$$\alpha_c = \frac{1}{C} \cdot \frac{dC}{dT} \approx \frac{C_2 - C_1}{T_2 - T_1} \cdot \frac{1}{C_1} \text{ [град}^{-1}\text{]}, \quad (2.1)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – ємності при температурі  $T_1$  і  $T_2$ .

ТКЄ може бути додатним (позначається буквою «П» або «Р»), від'ємним («М» або «N»), близьким до нуля («МП» або «NP0») чи ненормованим («Н» або «N»). 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. Позначення та маркування конденсаторів різних за ТКЄ груп наведені у таблиці 2.2.

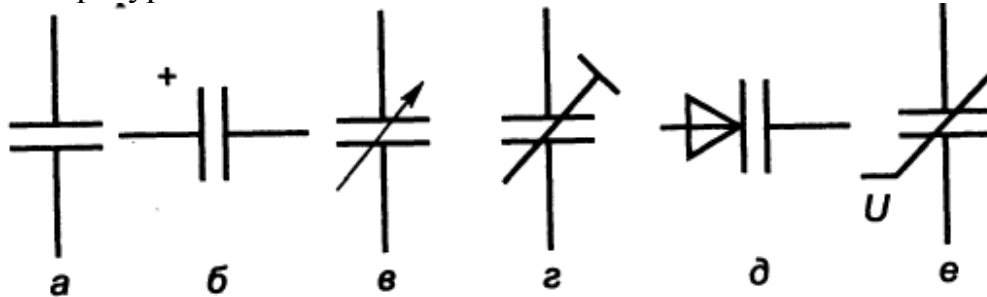
Таблиця 2.2 – Групи конденсаторів за ТКЄ та їх позначення

Позначення		ТКЄ, $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	Буквенний код	Колір маркування
ГОСТ	Міжнар.			
П100	P100	100 (+130...-49)	A	 Чр+Ф 
П33		33	N	 С
МП0	NP0	0 (+30...-75)	C	 ЧН
М33	N030	-33(+30...-80)	H	 К
М75	N080	-75(+30...-80)	L	 Чр
М150	N150	-150(+30...-105)	P	 О
М220	N220	-220(+30...-120)	R	 Ж
М330	N330	-330(+60...-180)	S	 З
М470	N470	-470(+60...-210)	T	 Г
М750	N750	-750(+120...-330)	U	 Ф
М1500	N1500	-500(+250...-670)	V	 О+О 
М2200	N2200	-2200	K	 Ж+О 

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

**Умовні зображення і позначення.** Умовні зображення конденсаторів на схемах наведено на рисунку 2.1.

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 2.1 – 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».

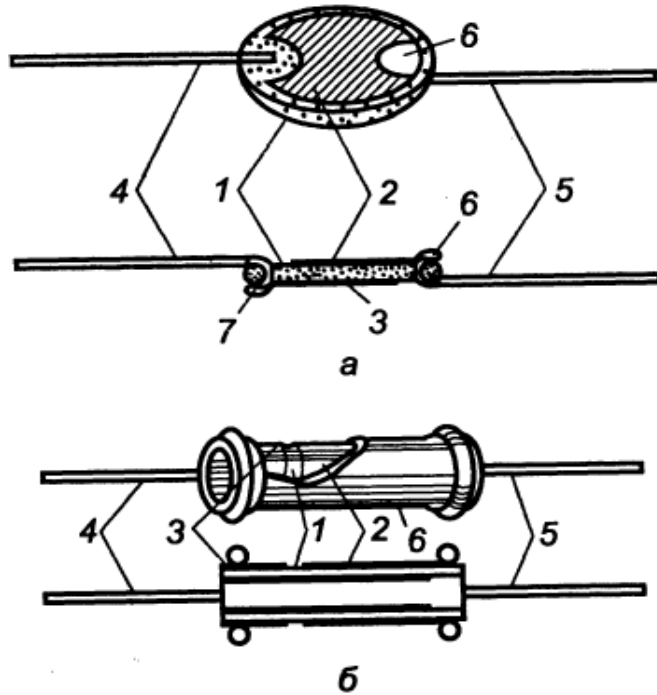
Виготовляють конденсатори з номінальною ємністю із десяткових логарифмічних рядів значень: Е3, Е6, Е12, Е24 (Додаток А). Хоча раніше використовувалися і інші ряди, наприклад номінали кратні п'яти (... , 1, 5, 10, 50, ... ).

**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.

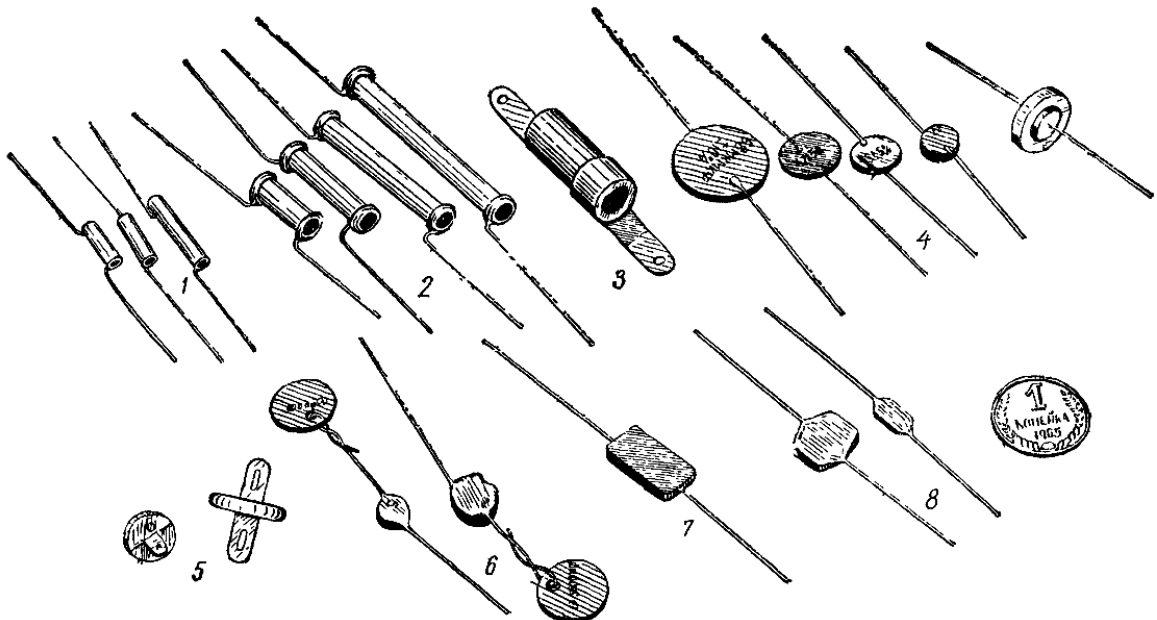
Керамічні конденсатори постійної ємності – це конструкції, в яких керамічна механічна основа одночасно є діелектриком. На неї з обох боків нанесено металеві обкладинки, до яких підключені виводи (рисунок 2.2,

2.3). 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 2.2 – Будова керамічних конденсаторів

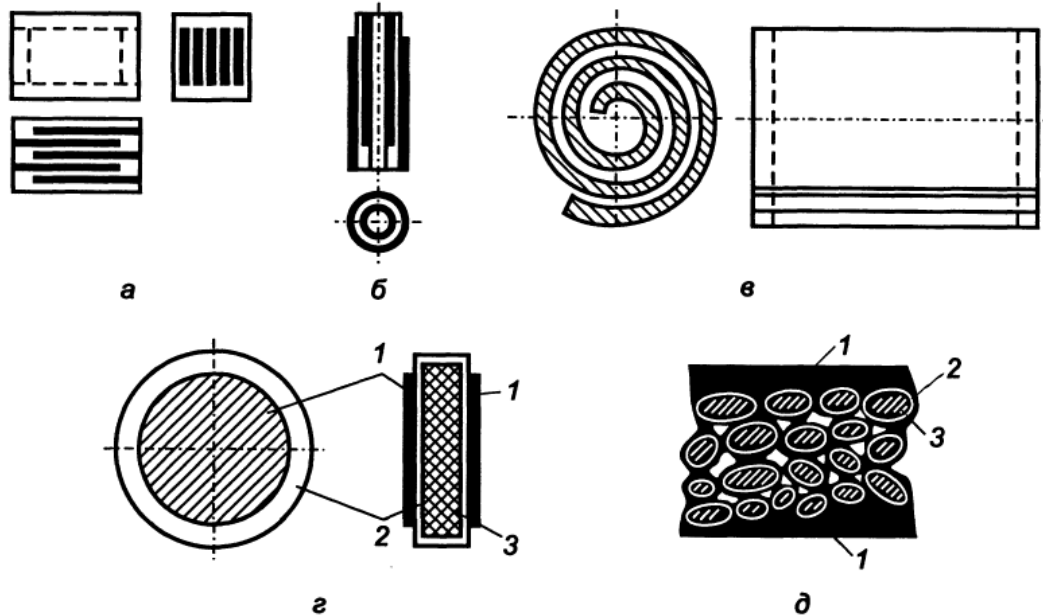


1 – КТ-1; 2 – КТ-2; 3 – КТ-3; 4 – КД; 5 – КДУ; 6 – КПМ; 7 – КС; 8 – КЛС

Рисунок 2.3 – 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 2.4).



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

Рисунок 2.4 – Будова малогабаритних конденсаторів з великою питомою ємністю

Монолітні конденсатори отримують методом спікання багатшарових 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.

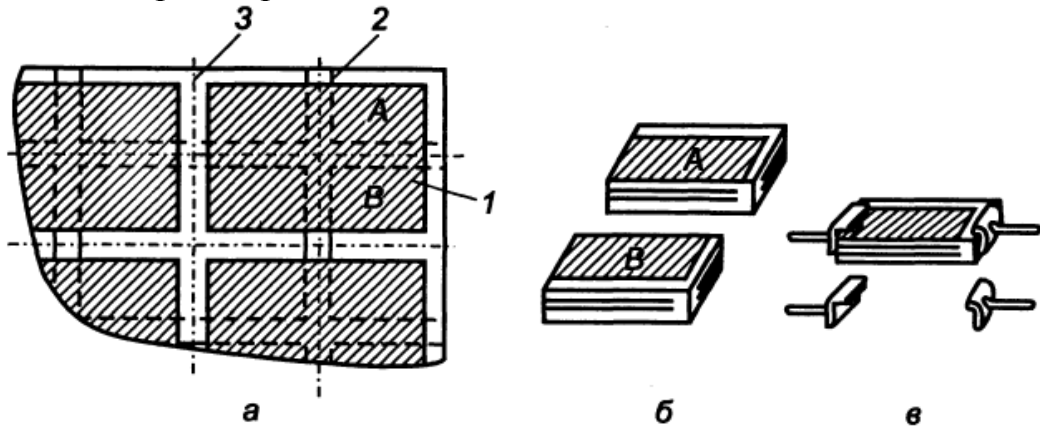
У склоемалевих конденсаторах у якості діелектрика використовують склоемаль, яка відзначається підвищеною теплостійкістю. Отримують її спіканням при температурі від 600 до 800 С багатшарової структури склоемаль - срібна паста, нанесеної на поверхню сталеві пластины. Дротяні зовнішні виводи приєднують до торців багатшарової структури і



отримують конструкцію, зображену на рисунку 2.5.

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

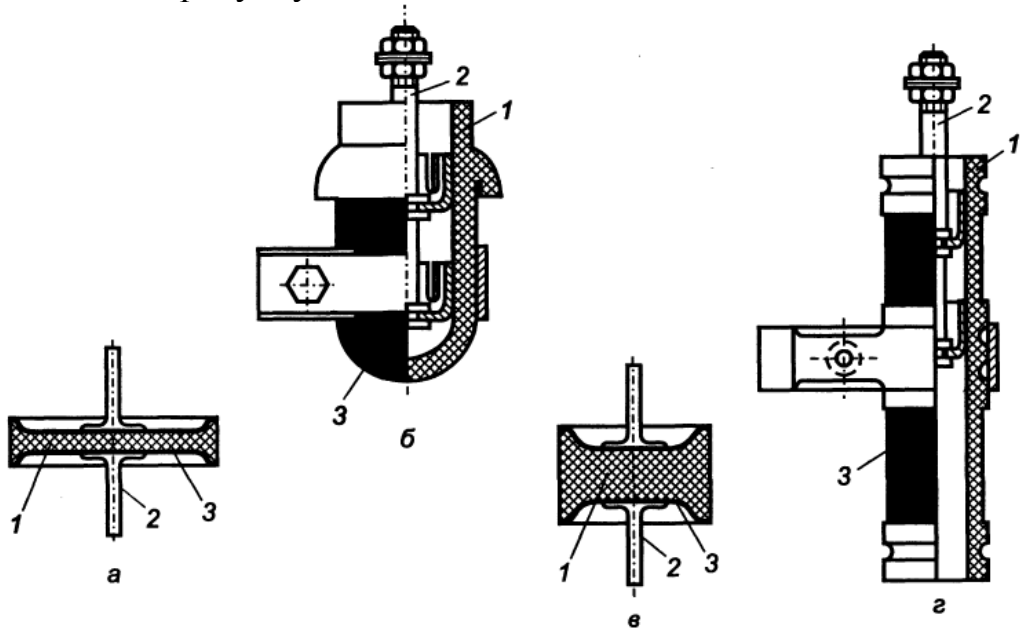
Скляні конденсатори за конструкцією подібні склокерамічним і склоемалевим. Діелектриком в них слугує шар спеціального скла, обкладинки виконані із тонкої фольги. Для захисту від механічних і кліматичних дій конденсатори покриті емаллю.



а - заготовка до різання: 1 - верхня обкладка; 2 - край нижньої обкладки; 3 - лінія розрізу; б - нарізані заготовки; в - конденсатор з припаяними виводами  
Рисунок 2.5 – Будова склоемалевих конденсаторів

Електричні параметри скляних і склокерамічних конденсаторів ідентичні, однак скляні конденсатори можуть працювати за більш високих температурах (до  $+350^{\circ}\text{C}$ ).

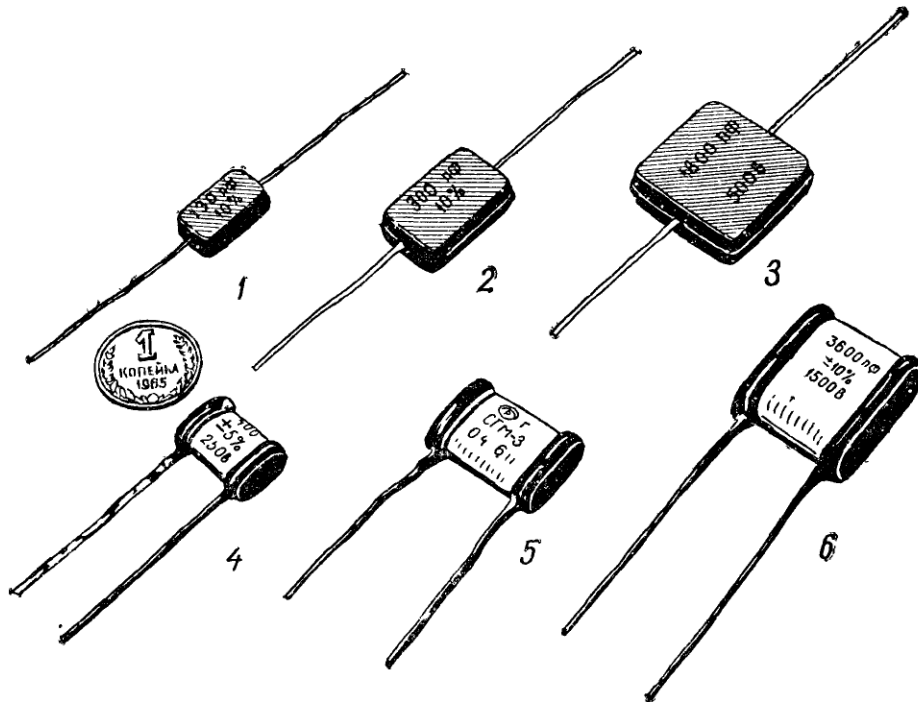
Специфічну конструкцію мають високовольтні керамічні конденсатори, показані на рисунку 2.6.



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

Рисунок 2.6 – Будова високовольтних керамічних конденсаторів  
Слюдяні конденсатори використовуються в якості контурних, пере-

хідних, розділових, блокувальних, а також в різних фільтрах. Вони характеризуються високими електричними показниками і невеликими розмірами. Зовнішній вигляд деяких слюдяних конденсаторів показаний на рисунку 2.7.



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

Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд слюдяних конденсаторів

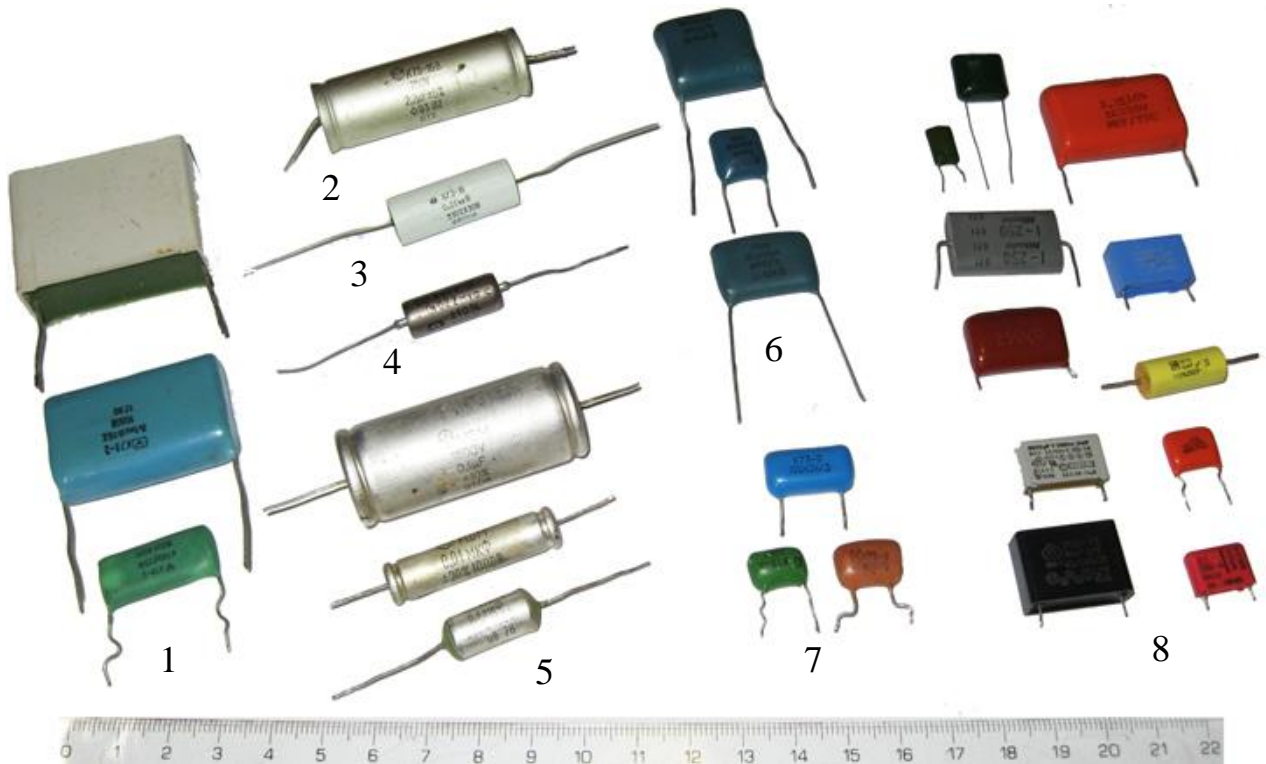
Металопаперові конденсатори характеризуються порівняно малими розмірами. За питомою ємністю вони наближаються до електролітичних, але струм утікання у них менше. Металопаперові конденсатори можуть самовідновлюватися після пробою.

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

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

Зовнішній вигляд деяких металопаперових та плівкових конденсаторів показаний на рисунку 2.8.

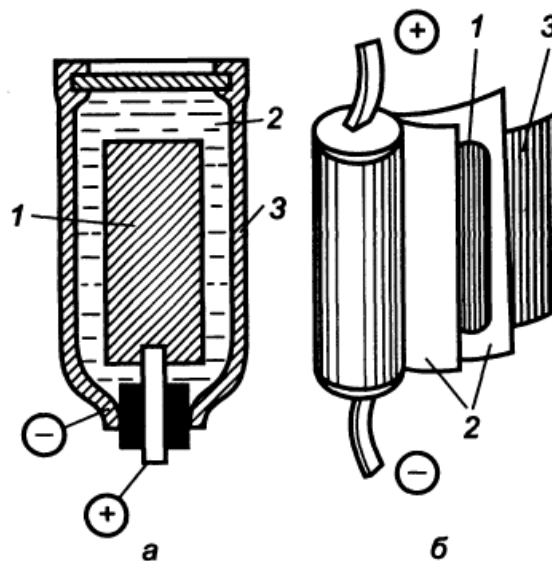
Будова електролітичних конденсаторів, які завдяки тонкій окисній плівці вентильного металу мають велику питому ємність, залежить від їх виду. Розрізняють три основні види електролітичних конденсаторів: з рідким електролітом, з сухим електролітом і окисно-напівпровідникові (тверді). Всі вони є полярними. 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.



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

Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд плівкових та метало паперових конденсаторів

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 2.9, а).



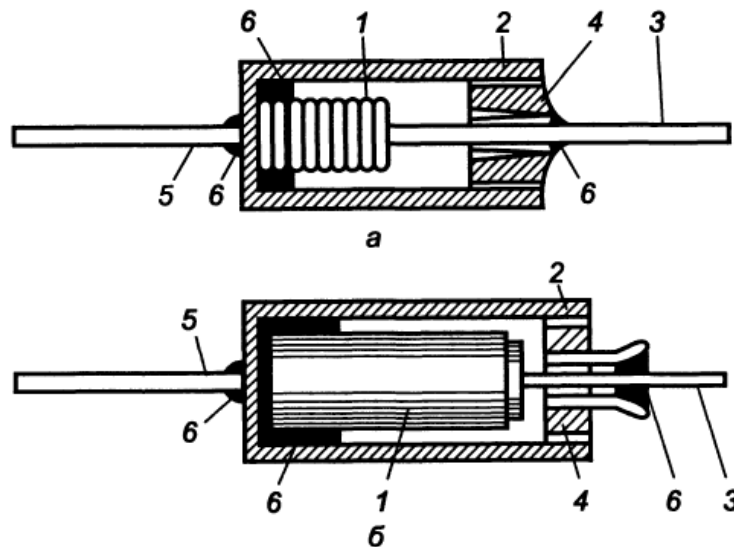
З рідким (а) і сухим (б) електролітом. 1 – анод, 2 – електроліт, 3 – катод

Рисунок 2.9 – Будова електролітичних конденсаторів

В електролітичних конденсаторах з сухим електролітом, які за конс-

трукцією нагадують паперові конденсатори (рисунок 2.9, 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 2.10). 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 2.10 – 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 окисний 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 2.11.

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 виразом (2.2).



1 – К50-35; 2 – К50-29; 3 – К50-24; 4 – К50-12; 5 – К53-4; 6 – К53-14,  
7 – К53-19; К53-10; 8 – іноземного виробництва;  
9 – для поверхневого монтажу

Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд електролітичних конденсаторів

$$C = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon \cdot S}{d} \quad (2.2)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність;

$d$  – товщина діелектрика, м;

$S$  – площа перекриття обкладинок, м<sup>2</sup>.

У таблиці 2.3 приведені значення діелектричної проникності для деяких речовин.

Таблиця 2.3 – Значення діелектричної проникності для речовин

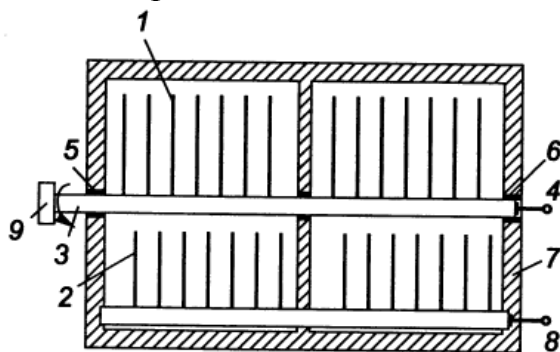
Речовина	Значення $\epsilon$	Речовина	Значення $\epsilon$
Вакуум, повітря, вуглекислий газ	1,0	Графіт	10 – 15
Тефлон	2,1	Кераміка	10 – 20
Нейлон	3,2	Кремній	12
Поліетилен	2,3	Бор	2,0
Полістирол	2,4 – 2,7	Аміак (NH <sub>3</sub> )	17 – 26
Каучук	2,4	Спирт етиловий	27
Бітум, ебоніт	2,5 – 3,0	Метанол	30
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	Плавикова 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 2.12. 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  $\varepsilon \approx 1$ , використовують додатково тверді діелектрики, діелектрична проникність яких  $\varepsilon > 1$ , 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 2.12 – Блок конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням ємністю

Аналогічну будову мають підстроювальні конденсатори з обертовим ротором (рисунок 2.13).

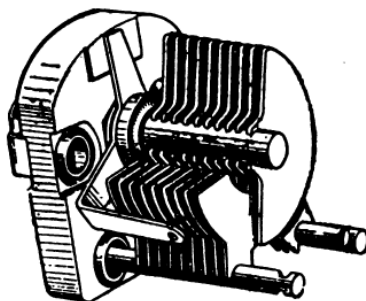
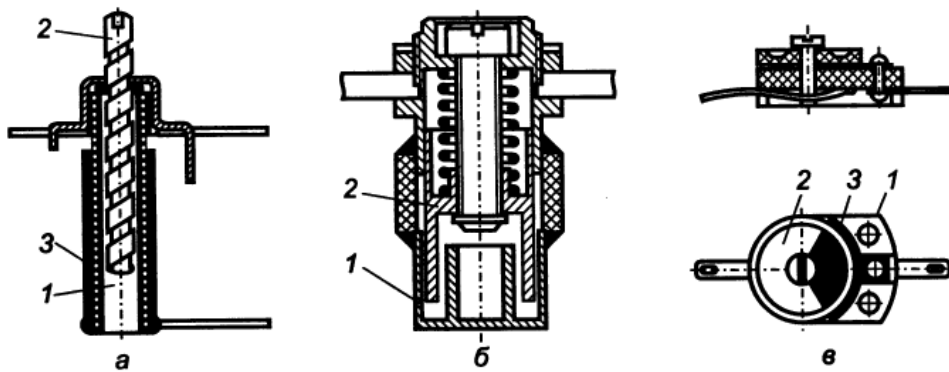


Рисунок 2.13 – Підстроювальний конденсатор з обертовим ротором

Крім конденсаторів з обертовим ротором, існують й інші види підстроювальних конденсаторів: трубчасті, коаксіальні та шайбові (рисунок 2.14, 2.15).



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

Рисунок 2.14 – 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 виразом (2.3) залежить від напруги зворотного зміщення  $U_{зв}$ .

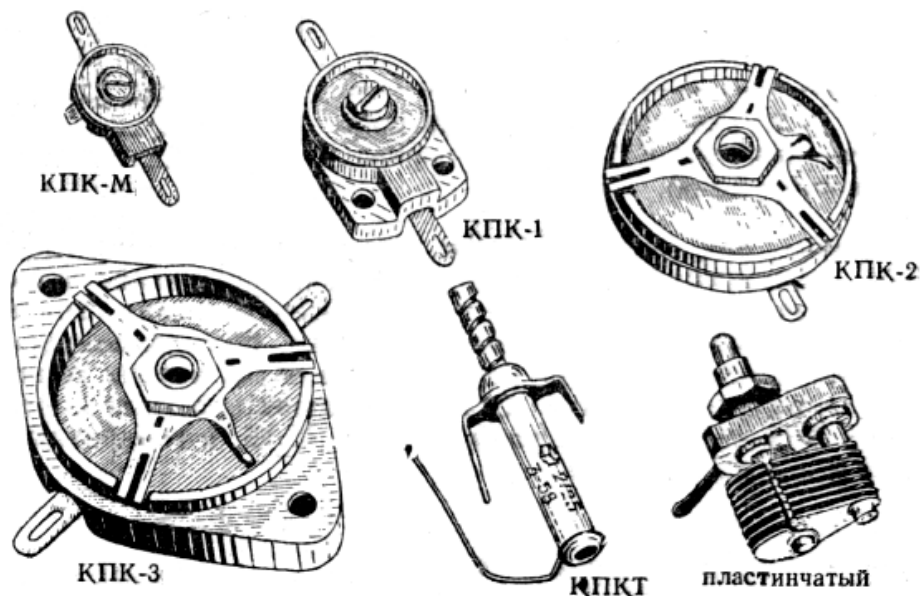


Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд підстроювальних конденсаторів

$$C_{\sigma} = \frac{K}{(U_{зв} + U_K)^n}, \quad (2.3)$$



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. Зарядження та розрядження – 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  $U$  (2.4).

$$|q| = CU. \quad (2.4)$$

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 (2.5).

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad (2.5)$$

де  $\omega$  – циклічна частота зміни струму.

Конденсатор як елемент коливального контуру визначає його резонансну частоту згідно з формулою (2.6).

$$\omega_P = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (2.6)$$

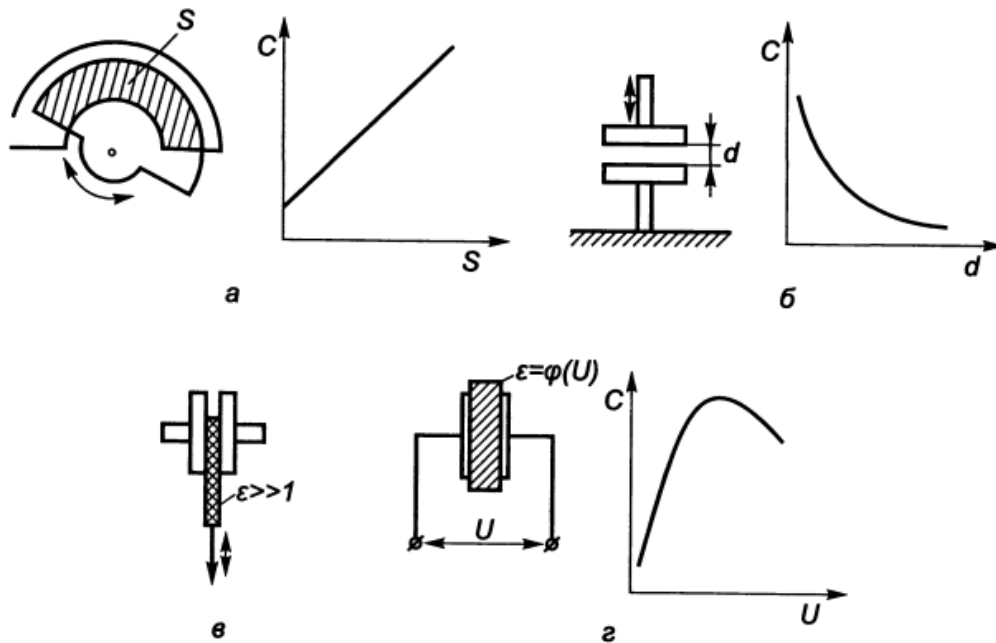
де  $L$ ,  $C$  – індуктивність та ємність коливального контуру.

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 2.16.

Щоб отримати необхідний закон зміни ємності в конденсаторах змінної ємності з механічним керуванням, необхідно забезпечити відпові-

дну 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 обкладках 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 2.16 – Способи зміни ємності конденсаторів

Втрати енергії  $P$  в конденсаторах з підвищенням напруги зростають, оскільки вони прямо пропорційні до квадрата напруги  $U$  згідно з (2.7).

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta_C, \quad (2.7)$$

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 спада-

ти. 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 ємність 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 (2.8).

$$\omega = \frac{1}{C\sqrt{R \cdot r}} \quad (2.8)$$

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 (2.9).

$$\tau = R_{i3}C, \quad (2.9)$$

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 ( $tg\delta = 0,001...0,01$ ).

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  $200 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Зміна ємності цих конденсаторів у робочому діапазоні температур не перевищує їх допуску. Керамічні, скляні та склокерамічні конденсатори випускаються з нормованим ТКЄ. Найбільшу нестабільність від температури мають сегнетокерамічні конденсатори (керамічні конденсатори з ненормованим ТКЄ (таблиця 2.2)).

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  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup> (керамічні).

Конденсатори змінної ємності з механічним керуванням ємністю характеризуються такими параметрами: мінімальною ємністю  $C_{min}$ ; максимальною ємністю  $C_{max}$ ; перекиртям 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 (таблиця 2.2). 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.

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  $100 \text{ нФ}$  виражаються в пікофарадах і позначаються буквою «П» або «р», ємності від  $0,1 \text{ нФ}$  до  $100 \text{ нФ}$  – в нанофарадах і позначаються буквою «Н», «п» або «N» ( $\text{нФ}$ ,  $\text{нF}$ ), а ємності від  $0,1 \text{ мкФ}$  и вище – в мікрофарадах і позначаються буквою, «М» або «μ» ( $\text{мкФ}$ ,  $\mu\text{F}$ ). 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 розташовується перед числом. Наприклад,  $9,1 \text{ нФ}$  позначається 9П1 або 9p1;  $22 \text{ нФ}$  – 22П або 22p;  $150 \text{ нФ}$  – Н15 або n15;  $1800 \text{ нФ}$  – 1Н8 або 1n8;  $0,01 \text{ мкФ}$  – 10Н;  $0,15 \text{ мкФ}$  – М15 або μ15;  $47 \text{ мкФ}$  – 47М або 47μ.

Номінальна 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  $390 \text{ нФ}$ ; 152 –  $1500 \text{ нФ}$  ( $1,5 \text{ нФ}$ ); 223 –  $22000 \text{ нФ}$  ( $22 \text{ нФ}$ ); 1623 –  $162000 \text{ нФ}$  ( $162 \text{ нФ}$ ); 154 –  $150000 \text{ нФ}$  ( $0,15 \text{ мкФ}$ ); 106 –  $10000000 \text{ нФ}$  ( $10 \text{ мкФ}$ ). Номінальну ємність конденсаторів до  $99 \text{ нФ}$  позначають двома підкресленими цифрами. Ємність конденсаторів від  $0,001$  до  $0,9 \text{ мкФ}$  іноді позначають десятковим дробом без першого нуля. Наприклад, код «.01» позначає  $0,01 \text{ мкФ}$ ; «.22» –  $0,22 \text{ мкФ}$ .

На малогабаритних та на імпортованих конденсаторах також використовується символічне маркування допуску та робочої напруги. Може складатися з одного символу чи цифри та символу [11, 13, 15]. Наприклад, маркування напруги **2A** відповідає напрузі  $100 \text{ В}$ , а **1C** –  $16 \text{ В}$ , 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 [11, 13].

Кольорове кодування використовується для маркування номінальної ємності, допуску, номінальної напруги до  $63 \text{ В}$  і групи ТКЄ. Маркування наносять у вигляді кольорових крапок чи смужок [11, 16] (Додаток Б).

### 2.3 Порядок виконання роботи

1. Отримати зразки компонентів. Вибрати з них конденсатори.
2. За зовнішнім виглядом і маркуванням визначити, до якої групи належать відібрані конденсатори. Визначити, якщо це можливо, номінали, допуски, групи за ТКЄ і допустимі напруги.

3. Заповнити наявні дані у таблицю 2.4.
4. Використовуючи вимірювач універсальний E7-11 (Додаток В), визначити дійсні значення ємності і тангенса діелектричних втрат зразків. Виміри виконати на двох частотах: 100 Гц і 1000 Гц.
5. Повторити виміри цих конденсаторів за допомогою приладу RLC-2.
6. Вирахувати дійсні допуски конденсаторів (відхилення дійсної ємності від маркованої).
7. Знайти в довідниках докладну інформацію про досліджувані конденсатори (тип, марку, технологію виготовлення, параметри, сферу застосування). Для конденсаторів, на яких відсутнє або не повне маркування, спиратися на зовнішній вигляд, порівнюючи з відповідними ілюстраціями в довідниках або іншими подібними конденсаторами з маркуванням.
8. Зробити висновки за ходом виконання лабораторної роботи стосовно досягнутої мети навчання.

#### **2.4 Контрольні запитання**

1. Навести класифікацію конденсаторів щонайменше за п'ятьма ознаками.
2. Визначити спільне та особливе в будові різних типів конденсаторів.
3. Показати, яким чином утворюються ряди переважних чисел конденсаторів та яким чином вони пов'язані з допусками.
4. Перерахувати параметри конденсаторів.
5. Навести символічне маркування конденсаторів.
6. Визначити переваги та недоліки використання кольорового маркування конденсаторів.
7. Пояснити принципи кольорового маркування конденсаторів, його переваги та недоліки.
8. Пояснити методи кодового маркування SMD-конденсаторів
9. Перелічити основні типи конденсаторів та області їх використання.
10. Пояснити, яким чином виміряти параметри конденсаторів.
11. Навести перелік найбільш вживаних типорозмірів SMD-конденсаторів.
12. Сформулювати перелік кроків для вимірювання ємності за допомогою вимірювача універсального E7-11.
13. Пояснити значення терміна *ESR*.
14. Пояснити значення терміна *impedance*.
15. Вирішити задачу (надається під час захисту).

Таблиця 2.4 – Результати експериментальних досліджень конденсаторів (приклад заповнення)

№ зр.	Зовнішні ознаки та маркування	Ідентифіковані параметри				Вимірювання		Висновки
		Тип	Номинал	Напруга	Допуск	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	МБМ-1,0мкФ ±10% 160В	МБМ	0,1 мкФ	160 В	±10%	0,11 мкФ	0,105 мкФ	придат.
...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	Рисунок 7	КД-2а	33 пФ	500 В	±5%	32 пФ	33 пФ	придат.
8	Рисунок 8	КПК-М	8/30 пФ	350 В	-	7/29 пФ	7/30 пФ	придат.



*Примітки.*

1. З метою найкращого представлення результатів дослідження назви граф, їхня кількість та зміст можуть відрізнятися від наведених у прикладі.

2. У другій графі наводиться будь-яка інформація, що дозволить в подальшому найкращим чином ідентифікувати ЕРЕ (наявні цифри, букви та позначки, опис чи малюнок зовнішнього виду, розміри, колір тощо).

3. У третій графі треба навести тип конденсатора для того, щоб під час захисту лабораторної роботи можна було однозначно вказати належність до певного класу за різними ознаками та схарактеризувати властивості.

4. У графах 7 та 8 наводяться результати вимірювань ємності конденсатора щонайменше за допомогою двох приладів (аналогового та цифрового).

5. У дев'ятій графі робиться висновок про можливість використання певного зразка в РЕА.



## 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМУТАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

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

### 3.1 Прилади та матеріали

- 1) Аналогові вимірювальні прилади (Ц43101, Е7-11 або ін.).
- 2) Цифрові вимірювальні прилади (мультиметр, RLC-2 або ін.).
- 3) Імпульсне джерело живлення (Б5-47, Б5-50 або ін.).
- 4) Лінійка (штангенциркуль).
- 5) З'єднувальні провідники.
- 6) Набір комутаційних елементів різних видів, типів та призначень.

### 3.2 Теоретичні відомості

Комутаційними називають пристрої, які здійснюють механічне з'єднання та роз'єднання електричних кіл.

Комутаційні пристрої класифікують за декількома ознаками, зокрема за призначенням, за кількістю контактних пар, за частотою, за напругою, за потужністю тощо.

За призначенням комутаційні пристрої поділяють на нероз'ємні – призначені для постійного з'єднання або надзвичайно рідкісного роз'єднання електричних кіл (з'єднання зварюванням, паянням, склеюванням, накруткою тощо); роз'ємні – призначені для періодичного з'єднання та роз'єднання електричних кіл (роз'єми, панелі тощо); ковзні – призначені для постійного з'єднання електричних кіл через елементи, які переміщуються один відносно одного; розривні – призначені для періодичного з'єднання та роз'єднання електричних кіл зі струмом (вимикачі, перемикачі, реле, геркони). За кількістю контактних пар розрізняють комутаційні пристрої; одноконтактні, які мають одну контактну пару, двоконтактні, які мають дві контактні пари і багатоконтактні, які мають багато контактних пар. За частотою комутаційні пристрої ділять на низькочастотні, високочастотні та надвисокочастотні. За напругою їх поділяють на низьковольтні та високовольтні. Класифікація за потужністю передбачає поділ комутаційних пристроїв на малопотужні та потужні.

Багато названих вище видів комутаційних пристроїв поділяються ще на підвиди. Так, наприклад, перемикачі за способом керування поділяються на перемикачі з ручним та електромеханічним керуванням, а останні, своєю чергою, на електромагнітні перемикачі та перемикачі, що керуються електродвигунами. Вимикачі також поділяються на такі, що вимикаються механічно і за допомогою магнітного поля (геркони). За способом здійснення контакту виділяють стикові і врубні вимикачі та перемикачі.

Умовні зображення і позначення. Приклади умовних зображень комутаційних пристроїв у схемах показано на рисунку 3.1.

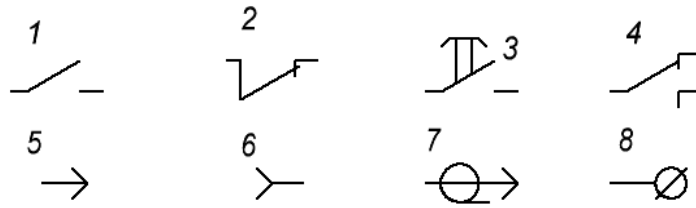


Рисунок 3.1 – Умовні зображення комутаційних пристроїв у схемах:  
 1 – вимикач однополюсний; 2 – розмикальний контакт; 3 – кнопка; 4 – перемикач; 5 – штир; 6 – гніздо; 7 – коаксіальний роз’їм; 8 – клемма

Умовні позначення комутаційних пристроїв складаються з букв і цифр, які вказують на їхні конструктивні та параметричні особливості. Наприклад МРН14-1 означає: малогабаритний роз’їм, низькочастотний, 14 контактів, варіант виконання – 1.

Комутаційні пристрої містять такі елементи конструкції:

- контактну пару, призначену для здійснення контакту між електричними колами;
- пружину, яка забезпечує певне контактне зусилля;
- ізоляційну основу, на якій кріпляться контакти і яка ізолює їх один від одного;
- елементи переміщення і фіксації контактів;
- елементи захисту контактів від атмосферного впливу;
- елементи кріплення в апаратурі;
- виводи, які забезпечують електричне з’єднання контактних пристроїв з апаратурою.

Діючи тим чи іншим способом на елементи контактної пари (наприклад, штир і гніздо), можна їх з’єднати, тобто здійснити між ними електричний контакт і тим самим забезпечити з’єднання під’єднаних до них електричних кіл. Протікання струму через з’єднану контактну пару забезпечує металева провідність в тих місцях контакту, в яких атоми зблизились до відстані близько одиниць ангстрем, які забезпечують безпосередній перехід через нього вільних електронів. Для такого зближення атомів до контакту необхідно прикласти певне контактне і зусилля  $Q_k$ , яке деформує виступи, витісняє із зони контакту адсорбовані плівки, руйнує пасивувальні покриття. Необхідна його величина залежить від конструкції контактних пристроїв і може змінюватися в межах від десятків грамів до десятків кілограмів. Надмірне збільшення контактного зусилля небажане, оскільки пришвидшує зношення контактів.

Крім контактного зусилля, абразивних матеріалів, адсорбованих та пасивувальних плівок на роботу контактних пристроїв впливає перегрівання контактів. Розрізняють дві зони перегрівання: перегрівання точок контакту  $\Delta T_1$  і перегрівання тіла контакту  $\Delta T_2$ . Перегрівання точок контакту можна оцінити за допомогою виразу

$$\Delta T_1 = \frac{I^2 R_n}{8\rho\lambda}, \quad (3.1)$$

де  $I$  – струм через контакт;  
 $R_n$  – його перехідний опір;  
 $\rho$  – питомий електричний опір матеріалу контакту;  
 $\lambda$  – його теплопровідність.

Перегрівання тіла контакту  $\Delta T_2$  можна визначити так:

$$\Delta T_2 = \frac{I^2 R_n}{D\sqrt{\pi\lambda K} + \frac{4\rho}{\pi K D}} \quad (3.2)$$

де  $D$  – діаметр тіла контакту;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередавання з поверхні довжиною 1 см.

Результуючу температуру в точках контактування  $T$  визначають

$$T = T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (3.3)$$

де  $T_0$  – температура довкілля.

Перегрівання точок контакту сприяє утворенню пасивувальних покриттів і викликає зміну перехідного опору контакту, яку можна оцінити:

$$R_n(\Delta T_1) = R_n \left( 1 + \frac{2\alpha\Delta T_1}{3} \right), \quad (3.4)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору матеріалу контакту;  
 $R_n(\Delta T_1)$  – перехідний опір за температури точок контакту;  
 $R_n$  – перехідний опір за нормальної температури.

За ще більших струмів та напруг (сотні міліампер, сотні вольт) під час комутації електричних кіл виникає дуга, яка є результатом іонізації газового проміжку. Вона є особливо небезпечною при розмиканні контактів, оскільки її тривалість більша, ніж при замиканні. Внаслідок дії дуги контакти плавляться, а матеріал з позитивного контакту переноситься на негативний, що спричиняє ерозію.

Комутаційні пристрої характеризуються такими параметрами: контактним опором  $R_k$ ; температурним коефіцієнтом та коефіцієнтом старіння контактного опору  $\alpha_k$  і  $\beta_k$ ; максимальним струмом і напругою  $I_{max}$  та  $U_{max}$ ; мінімальними струмом і напругою дуги  $I_0$  та  $U_0$ ; мінімальною напругою  $U_{min}$ ; електрорушійними силами теплових та струмових шумів  $E_{TK}$  і  $E_{iK}$ ; зносостійкістю  $n_k$ ; паразитними індуктивністю та ємностями  $L_k$  і  $C_{k\omega}$ ,  $C_{kz}$ ; надійністю, яка оцінюється за  $\lambda$ -характеристиками або за граничним контактним зусиллям  $Q_{кр}$ .

Контактний опір є основним параметром контактних пристроїв. Саме його найчастіше наводять в технічній документації. На постійній частоті його значення зумовлено перехідним опором контактів  $R_n$  та опором матеріалу контактів  $R_{mk}$ , тобто

$$R_k = R_n + R_{mk} \quad (3.5)$$

На високих частотах на  $R_k$  додатково впливають паразитна ємність та індуктивність комутаційного пристрою, які зумовлені його конструкцією.

Максимальні струми та напруги контакту на постійній частоті визначаються струмами та напругами утворення дуги. На змінній частоті максимальні струми та напруги зумовлені допустимим перегріванням найтеплочутливіших елементів контактної пристрою.

Мінімальна напруга  $U_{min}$  визначається тією найменшою напругою контактної пристрою, яка може подолати опір адсорбованих і пасивувальних плівок і забезпечити протікання струму.

Тепловий шум комутаційного пристрою визначають теплові флуктуації напрямленого руху вільних електронів. Електрорушійна сила теплового шуму  $E_{TK}$  не залежить від матеріалу контакту, а залежить від його температури  $T$  і опору  $R_k$ :

$$E_{TK} = \sqrt{4kTR_k(f_1 - f_2)}, \quad (3.6)$$

де  $k$  – стала Больцмана;

$f_1 - f_2$  – смуга частот.

Комутаційні пристрої в замкнутому та розімкнутому станах описуються різними схемами заміщення. У замкнутому стані схема заміщення має чотири основні елементи (рисунок 3.2): перехідний опір контактів  $R_n$ , опір матеріалу контактів  $R_{mk}$ , паразитну індуктивність  $L_k$ , та паразитну ємність відносно землі  $C_{k3}$ .

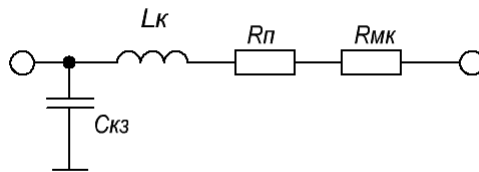


Рисунок 3.2 – Схема заміщення замкнутого комутаційного пристрою

У розімкнутому стані схема заміщення містить п'ять основних елементів (рисунок 3.3): опір ізоляції  $R_{i3}$ , ємність розімкнутих контактів  $C_k$ , опір матеріалу контактів  $R_{mk}$ , паразитну індуктивність  $L_k$  та паразитну ємність контакту відносно землі  $C_{k3}$ .

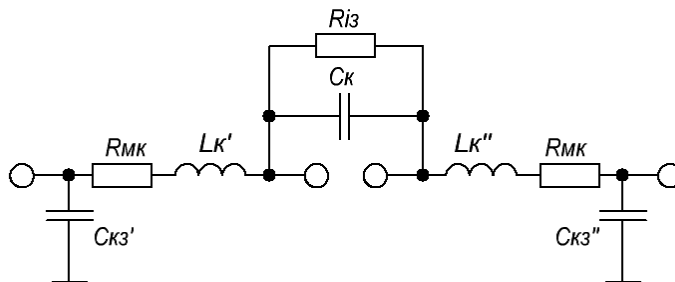


Рисунок 3.3 – Схема заміщення розімкнутого комутаційного пристрою

Зносостійкість комутаційних пристроїв визначається стійкістю до механічного зношування контактних поверхонь. Вона зумовлена кількістю знятого контактного матеріалу за певну кількість перемикачів. Паразитні індуктивність та ємності контактних пристроїв  $L_k$ ,  $C_k$  і  $C_{kz}$  залежать від їх конструкції. Вони визначаються експериментально і становлять величини близько одиниць  $mкГн$  і  $nФ$ , впливають на роботу лише на високій частоті.

Розрізняють чотири основні сфери застосування комутаційних пристроїв.

1. Застосування комутаційних пристроїв як комутаторів для вмикання електричних кіл та їх перемикачів під час роботи апаратури. Типовими прикладами можуть бути перемикачі діапазонів, кіл або режимів, їх характерною особливістю є багаторазове перемикачів ( $10^3 \dots 10^5$  разів) під час роботи апаратури, тобто за наявності струмів та напруг.

2. Використання комутаційних пристроїв як роз'ємів і з'єднувачів, що зумовлено поділом електронної апаратури на блоки, які часто розміщені в різних місцях об'єкта. Під час роботи апаратури вони не комутуються, а кількість електричних з'єднань не перевищує 500. Тому вони руйнуються менше, ніж перемикачі.

3. Застосування комутаційних пристроїв у вигляді нероз'ємних з'єднань, які формуються під час збирання та монтажу апаратури методами зварювання, паяння, склеювання, накрутки тощо.

4. Використання в ролі ковзних контактів, яке зумовлене необхідністю неперервного контакту з рухомим елементом конструкції, у такому разі важливо забезпечити постійність контакту і мінімізацію його шумів.

Додаткову інформацію про комутаційні пристрої можна отримати, наприклад, з [9, 10].

Для опису варіантів (типів) перемикачів використовують терміни «полюс» (англ. *pole*) і «напрямок» (англ. *throw*). Кількість «полюсів» – це кількість електричних кіл, якими керує перемикач. Наприклад, «двохполюсним» є об'єднання двох наборів контактів вимикача, механізм якого керується однією кнопкою. Кількість «напрямоків» – це кількість кіл, які можуть бути замкнуті через один полюс перемикача (таблиця 3.1).

Контакти можуть бути або нормально відкриті (англ. *normally open*, NO), або нормально закриті (англ. *normally closed*, NC).

У перемикачах, які мають кілька напрямків, замикання полюса з новим напрямком може відбуватися до розмикання зі старим (англ. *make-before-break*, MBV), при цьому на мить з полюсом з'єднуються обидва кола; або може відбуватися після розмикання (англ. *break-before-make*, BVV), яке перериває попереднє коло перед замиканням наступного. У другому випадку під час перемикачів полюс деякий час «висить», тобто не з'єднується з жодним з кіл. Вибір типу перемикача – BVV чи MBV – залежить від вимог до функціонування пристрою.

Таблиця 3.1 – Типи перемикачів та їхнє позначення на схемах

Тип перемикача (аббревіатура)	Значення	Опис	Умовне графічне позначення
SPST	Single pole, single throw	Простий вимикач: Два контакти або з'єднані або роз'єднані. Наприклад, вимикач світла	
SPDT	Single pole, double throw	Простий перемикач : С (COM, Common) підключено до L1 або до L2	
DPST	Double pole, single throw	Об'єднання двох SPST перемикачів, керованих одним механізмом	
DPDT	Double pole, double throw	Об'єднання двох SPDT перемикачів, керованих одним механізмом	

Приклади позначень та зовнішнього вигляду деяких комутаційних пристроїв наведені на рисунку 3.4.

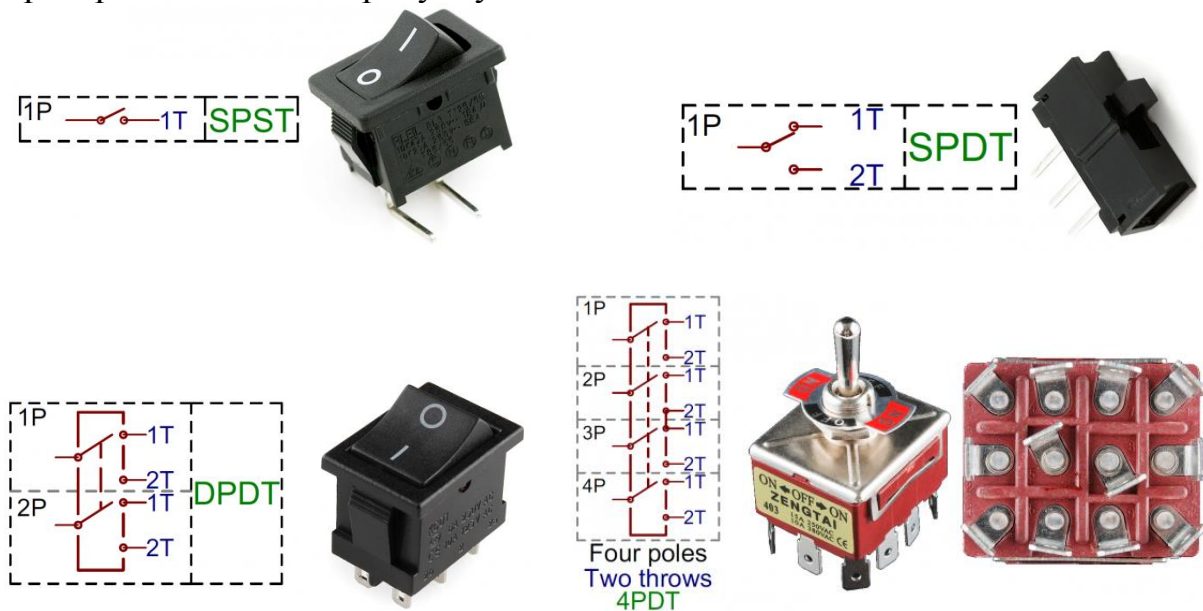


Рисунок 3.4 – Приклади позначень та зовнішнього вигляду комутаційних пристроїв

При переході до інтегрованої елементної бази кількість контактів зменшується здебільшого за рахунок паяних з'єднань між дискретними елементами, з'єднань накруткою, а також часткової заміни перемикачів, реле, герконів оптоелектронними та твердотілими комутаторами.

### 3.3 Електромагнітні реле

Реле – це електричний комутаційний апарат, який автоматично виконує певні перемикання контрольованого ним електричного кола. Загалом реле являє собою електричний або електронний пристрій, у якому при досягненні певного значення вхідної величини, вихідна величина змінюється стрибкоподібно і приймає скінченне число значень. Найчастіше реле є автоматичним пристроєм, який реагує на зміни параметра (температури, тиску тощо) і який у разі досягнення параметром заданої величини замикає або розмикає електричне коло.

Реле складається з релейного елемента (з двома станами стійкої рівноваги) і групи електричних контактів, які замикаються (розмикаються) при зміні стану релейного елемента.

Розрізняють теплові, механічні, електричні, оптичні, акустичні реле, які застосовують в системах автоматичного керування, контролю, сигналізації, захисту, комунікації тощо. В радіоелектронних апаратах поширені електромагнітні реле. Електромагнітне реле – це електромеханічний пристрій, що замикає та/або розмикає механічні електричні контакти в разі подання в обмотку реле електричного струму. Цей струм породжує магнітне поле, яке призводить до переміщення феромагнітного якоря реле, пов'язаного механічно з контактами. Наступне переміщення контактів комутує зовнішнє електричне коло. Зовнішній вигляд деяких електромагнітних реле, які застосовуються в РЕА, показаний на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд електромагнітних реле

Часто реле також називають різноманітні пристрої, які комутують контакти за зміни деякої, не обов'язково електричної величини. Це, наприклад, пристрої, які чутливі до температури (теплові реле), освітленості (фотореле), рівню звукового тиску (акустичні реле) тощо. Також, часто реле називають різні таймери, наприклад, таймер покажчика повороту автомобіля, таймери увімкнення/вимкнення різних приладів та пристроїв, наприклад, побутових приладів (реле часу). Існує клас електронних твердоті-

лих напівпровідникових приладів, які називають оптореле.

Основні частини електромагнітного реле: електромагніт, якір та перемикач. Електромагніт являє собою електричний провід, намотаний на котушку з осердям з магнітного матеріалу. Якір – це пластина з магнітного матеріалу, яка через штовхач керує контактами.

Класифікація реле можлива за декількома напрямками. *За начальним станом контактів* виділяються реле з нормально замкненими контактами, нормально розімкненими контактами; перемикаючими контактами. *За типом керуючого сигналу* виділяються реле змінного та постійного струму. Серед останніх розрізняють нейтральні реле (полярність керуючого сигналу не важлива, реєструється тільки факт його присутності/відсутності). Так звані поляризовані реле чутливі до полярності керуючого сигналу і перемикаються за її зміни. Комбіновані реле реагують як на наявність/відсутність керуючого сигналу, так і на його полярність. Також реле класифікують *за допустимого навантаження на контакти та за часом спрацювання*. В техніці часто використовують електромеханічні *за принципом дії* реле, до яких, окрім найпоширеніших електромагнітних, також належать магнітоелектричні (обмотка разом із контактами рухається відносно осердя), біметалічні термореле, електродинамічні та індукційні. Можна розділити реле й *за величиною, що контролюється* на реле напруги, струму, потужності, пневматичного тиску та реле контролю ізоляції.

Робота електромагнітних реле заснована на використанні електромагнітних сил, які виникають в металевому осерді при проходженні струму по виткам його котушки. Деталі реле монтується на основі та закриваються кришкою. Над осердям електромагніту встановлений рухомий якір (пластина) з одним або декількома контактами (рисунок 3.6). Напроти них знаходяться відповідні парні нерухомі контакти.

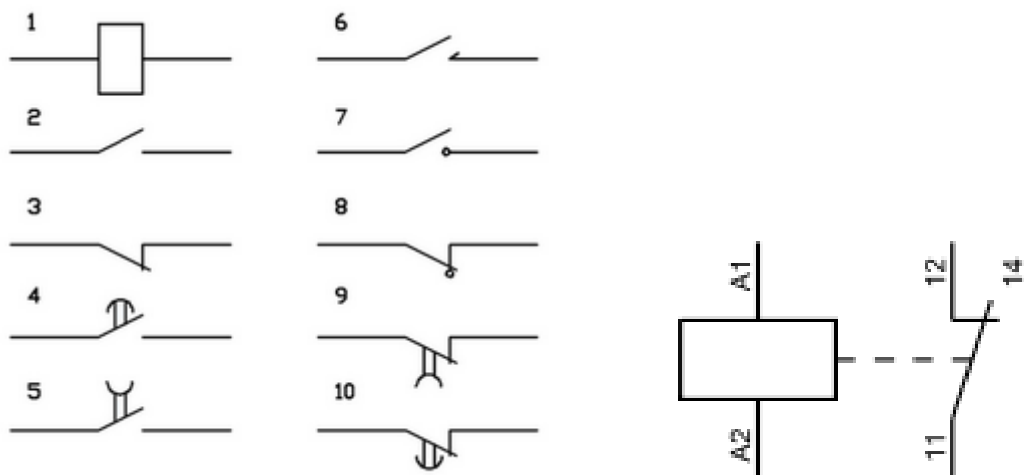


Рисунок 3.6 – Принцип дії реле

В початковому стані якір утримується пружиною. За подачі сигналу керування електромагніт притягує якір та замикає або розмикає контакти в залежності від конструкції реле. Після відключення керуючої напруги пружина повертає якір в початковий стан. В деякі моделі можуть бути вбудовані електронні елементи. Це резистор, підключений до обмотки котушки для більш чіткого спрацювання реле, та (або) конденсатор, паралельний контактам для зниження іскріння та завад.



На схемах реле позначається так, як показано на рисунку 3.7.



1 – обмотка реле (A1, A2 – коло керування), 2 – контакт замикаючий, 3 – контакт розмикаючий, 4 – контакт замикаючий із затримувачем при спрацюванні, 5 – контакт замикаючий із затримувачем при поверненні, 6 – контакт імпульсний замикаючий, 7 – контакт замикаючий без самоповернення, 8 – контакт розмикаючий без самоповернення, 9 – контакт розмикаючий із затримувачем при спрацюванні, 10 – контакт розмикаючий із затримувачем при поверненні, 11 – спільний контакт, 11, 12 – нормально замкнені контакти, 11, 14 – нормально розімкнені контакти.

Рисунок 3.7 – Умовні зображення реле на схемах

Коло, яким керують електрично, аж ніяк не пов'язане з колом керування (в електротехніці це називають сухим контактом). До того ж у колі, яким керують, величина струму може бути набагато більше, ніж у колі керування. Джерелом сигналу керування можуть бути: малопотужні електричні схеми (наприклад, дистанційного керування), різні датчики (світла, тиску, температури тощо), а також інші прилади з малими значеннями струму та напруги. Таким чином, реле може виконувати роль дискретних підсилювачів в електричному колі. Колись реле широко застосовувалися в перших дискретних обчислювальних машинах. Наразі є спроби відродити релейні обчислювальні машини з використанням нанотехнологій.

В наш час реле, в основному, використовують для керування великими струмами. В колах з малими струмами частіше використовують транзистори або тиристори. Дуже широко реле застосовуються в автомобілях та побутовій електротехніці, оскільки реле більш надійні в умовах кидків струму під час запуску електродвигунів та в умовах кидків напруги при відключенні споживачів.

Додаткову інформацію про реле можна отримати, наприклад, з [3, 6]. В додатку Г наведена довідкова інформація про параметри деяких електромагнітних реле.

### 3.4 Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача комплект комутаційних пристроїв для експериментальних досліджень. Вибрати з них реле.
2. По зовнішньому вигляду, маркуванню та за допомогою довідників визначити, до якої групи належать надані комутаційні пристрої. Визначити, якщо це можливо, основні параметри, допустимі напруги, струми цих комутаційних пристроїв.
3. Використовуючи вимірювач RLC E7-11, цифровий або аналоговий мультиметр визначити умовне графічне позначення та замалювати схему підключення виводів наданих комутаційних пристроїв.
4. Використовуючи вимірювач RLC E7-11, цифровий або аналоговий мультиметр, виміряти дійсні значення активного опору та індуктивності обмоток наданих реле.
5. Знайти в довідниках докладну інформацію про досліджувані реле (тип, марку, параметри, сферу застосування). Для реле, на яких відсутнє або не повне маркування, визначити можливий їх тип за зовнішнім виглядом, порівнюючи з відповідними ілюстраціями в довідниках або іншими подібними наданими комутаційними пристроями з маркуванням.
6. Використовуючи імпульсне джерело живлення, зібрати схему (рисунок 3.8) для вимірювання струму та напруги спрацювання досліджуваних реле. На рисунку 3.8: А, Б – клеми котушки реле; 1, 2 та 3, 4 – виводи нормально розімкнених та замкнених контактів, відповідно.

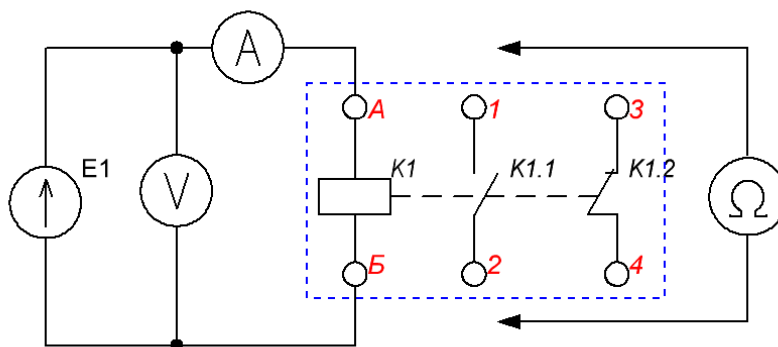


Рисунок 3.8 – Схема дослідження реле

7. Змінювати напругу від  $0\text{ В}$  з кроком  $1\text{ В}$  не швидше одного разу за 5 секунд, одночасно підтримувати струм в колі такий, щоб джерело живлення працювало в режимі стабілізації напруги.
8. Зафіксувати момент спрацювання реле (струм, напруга) або по характерному клацанню, або (краще) за допомогою омметра, який включений паралельно до контактної пари.
9. Таким же самим чином, поступово зменшувати струм і зафіксувати параметри точки відпускання контактів реле.

10. Відповідно до варіанту, заданого викладачем (Таблиця 3.2), на сайті виробника знайти технічну документацію (*Datasheet*) на кнопки демонстраційного набору *Panasonic* [10]. У звіті навести схему підключення, основні параметри та порівняння цих кнопок.

11. У звіті навести відомості про досліджені зразки комутаційних пристроїв, які вдалося з'ясувати: назву, призначення, параметри та схему підключення. Розробити та заповнити таблицю, аналогічну до таблиць 1.2 та 2.3.

12. Зробити висновки за ходом виконання лабораторної роботи.

### 3.5 Контрольні запитання

1. Класифікація комутаційних пристроїв.
2. Будова комутаційних пристроїв.
3. Характеристики комутаційних пристроїв.
4. Параметри комутаційних пристроїв.
5. Основні типи реле та області їх використання.
6. Символьне маркування комутаційних пристроїв.
7. Вимірювання параметрів комутаційних пристроїв.
8. Прилади та методика вимірювання перехідного опору контактів.
9. Прилади та методика вимірювання струмів (напруг) спрацювання та відпускання реле.

10. Вирішити задачу (надається під час захисту). Приклад:

Тумблер з контактами, перехідний опір яких складає  $0,01 \text{ Ом}$ , використовується для подання напруги живлення на РЕА, який проходить випробування в камері штучного клімату при температурі  $60^\circ\text{C}$ . Визначити тепловий шум тумблера в смузі частот  $50 \text{ МГц}$ .

Таблиця 3.2 – Вибір кнопок з демонстраційного набору *Panasonic*

Модель кнопки	Варіант					
	1	2	3	4	5	6
1	EVPAV	EVPAE	EVQP4	EVPAW	EVQP6D	EVQ6P6L
2	EVQPL	EVPAА	EVPAF	EVQPU	EVQP6P	EVQP6Y
3	EVQ6P6	EVQPQ	EVQPA	EVQP2	EVQP7	EVQPF
4	EVQ9P6	EVQPE	EVQPE1	EVPAD	EVQP0	EVPAJ
5	EVQP1	EVQ11	EVQPNF	EVQQ1E	EVQQ1D	EVQQ2

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ

**Мета роботи:** ознайомлення з методикою виготовлення котушок індуктивності, особливостями їх застосування, а також з методами вимірювання їх параметрів.

### 4.1 Прилади та матеріали

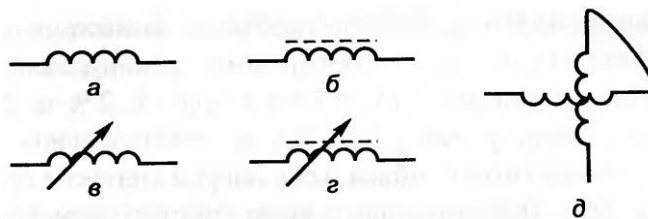
- 1) Вимірювач універсальний Е7-11.
- 2) Цифровий вимірювальний прилад RLC-2.
- 3) Лінійка (штангенциркуль).
- 4) Набір моточних проводів та каркасів.
- 5) клейка стрічка.
- 6) Ніж, кусачки, наждачний папір тощо для зачищення ізоляції провідників.

### 4.2 Теоретичні відомості

Котушки – це намотані або друковані елементи з індуктивним характером опору. Котушки призначені для перетворення енергії змінного електричного поля в енергію змінного магнітного поля і навпаки, створення реактивного індуктивного опору змінному струму.

**Класифікація.** Котушки класифікують за декількома ознаками. За конструктивними ознаками котушки поділяють на циліндричні, тороїдальні, плоскі, одношарові та багатошарові, з осердям і без осердя, екрановані та неекрановані. За використанням котушки поділяють на: контурні, зв'язку і дроселі. Перші використовують у коливальних контурах, другі – для зв'язку електричних кіл, треті – для розділення постійного та змінного струмів. За характером зміни індуктивності котушки бувають постійної індуктивності, Підстроювальні, зі змінною індуктивністю (варіометри), які відрізняються від підстроювальних ширшим діапазоном зміни номіналу.

Умовні зображення котушок на схемах наведені на рисунку 4.1.



а, б – котушки за відсутності та наявності магнітодіелектричного осердя;  
в, г – підстроювальні котушки; д – варіометр

Рисунок 4.1 – Умовні зображення котушок на схемах

Єдині умовні позначення мають лише стандартизовані елементи, якими є котушки з броньовими та тороїдальними осердями. Вони об'єднують назву ЕРЕ, тип осердя, номер уніфікованого ряду, індуктивність, допуск. Наприклад, КІОБ-9а-5-30±5 % означає котушка індуктивності, осердя броньове 9а, номер уніфікованого ряду 5, індуктивність 30 мкГн, допуск

$\pm 5\%$ .

*Будова.* Для виготовлення котушок необхідні такі конструктивні елементи: каркас, намотка, підстроювачі, екран, елементи кріплення, елементи захисту від зовнішніх умов.

Каркас є конструкційною основою котушки. Виготовляють його переважно з пластмаси або кераміки у формі порожнистої трубки з гладкою або нарізаною зовнішньою поверхнею. Нарізання зовнішньої поверхні необхідне для намотки з кроком. Внутрішня поверхня каркаса також може бути гладкою або нарізаною. Нарізання внутрішньої поверхні призначається для підстроювача. Каркас може мати одну або декілька секцій, елементи кріплення до плати. Для потужних котушок використовують ребристі каркаси, які полегшують розсіювання тепла. У пластмасові каркаси запресовують зовнішні виводи, а в керамічних каркасах для них залишають спеціальні пази.

Іноді замість каркаса може використовуватись магнітодіелектричне осердя, як, наприклад, в тороїдальних котушках, або ж котушки можуть виготовлятися безкаркасними. В останньому випадку для забезпечення необхідної жорсткості конструкції для намотки вибирають товстий провід діаметром більше ніж 1 мм, з малою кількістю витків (4...6).

Намотка призначена для створення індуктивного ефекту. В одношарових об'ємних котушках вона може бути суцільною або з кроком. У плоских конструкціях вона має форму спіралі Архімеда. У багатошарових котушках намотка завжди суцільна. Вона може бути секційованою або несекційованою, рядовою, пірамідальною або виконаною "у навал".

*Робота.* Робота котушки ґрунтується на тому, що змінний електричний струм, який протікає по котушці, викликає появу в ній змінної електрорушійної сили самоіндукції, яка перешкоджає зміні струму, створюючи йому реактивний індуктивний опір. Електрорушійна сила самоіндукції прямо пропорційна до швидкості зміни струму  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ :

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (4.1)$$

Коефіцієнт  $L$ , який входить у формулу (5.1), називають коефіцієнтом самоіндукції або індуктивністю котушки.

Реактивний опір  $X_L$  прямо пропорційний до частоти зміни струму і індуктивності котушки:

$$X_L = \omega L \quad (4.2)$$

Феромагнітні осердя стягують магнітні силові лінії змінного електричного струму  $i$ , внаслідок цього, змушують їх більшою мірою перетинати витки котушки, що призводить до збільшення електрорушійної сили самоіндукції, а отже, до збільшення індуктивності котушки. Дія немагнітних осердь протилежна до дії їх феромагнітних аналогів.

Регулювання індуктивності котушки ґрунтується на зміні магнітного потоку, який пронизує її обмотку. Воно може бути здійснено декількома

способами:

- введенням в котушку немагнітного підстроювача, який виштовхує з неї магнітні силові лінії змінного струму;
- введенням в котушку магнітного підстроювача, який збільшує ефективну магнітну проникність;
- зміною щільності між осердям і котушкою;
- зміною магнітної проникності осердя котушки при підмагнічуванні його постійним електричним струмом;
- переміщенням витків, секцій котушок.

*Властивості.* Оскільки котушки працюють на високих частотах і призначені переважно для створення в електричних колах реактивного індуктивного пору змінному струмові, забезпечення між ними електромагнітного зв'язку, високої вибіркової коливальних контурів, то для них основними є частотні характеристики, які виражають залежності їх реактивного та активного опорів, а також опору втрат у власній ємності та добротності від частоти.

Котушки характеризуються такими параметрами: індуктивністю, добротністю, температурними коефіцієнтами індуктивності та добротності, коефіцієнтами старіння індуктивності та добротності, власною ємністю та власною резонансною частотою, надійністю.

Схема заміщення котушки повинна відображати її властивості і містити не тільки індуктивність самої котушки, але і індуктивність виводів, ємність витків та виводів, ємність, зумовлену осердям, втрати енергії в міді, в ємностях, осерді тощо. Але таку схему заміщення можна спростити, якщо обидві складові індуктивності об'єднати в одну індуктивність  $L$  з втратами енергії  $R_L$ , а всі складові ємності – в одну ємність  $C_L$  з втратами енергії  $R_{CL}$ . Тоді така спрощена еквівалентна схема котушки буде мати вигляд, зображений на рисунку 4.2, а.

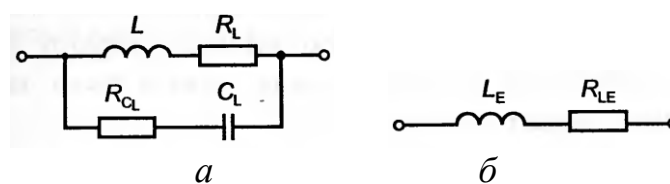


Рисунок 4.2 – Спрощені схеми заміщення котушок

Можна ввести поняття еквівалентної індуктивності котушки, яка відображає спільну дію індуктивності та ємності:

$$\frac{1}{\omega L_E} = \frac{1}{\omega L} - \omega C_L = \frac{1 - \omega^2 L C_L}{\omega L}$$

Так можна знайти еквівалентну індуктивність

$$L_E = L \left( \frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_L^2} \right) \approx L \left( 1 + \frac{\omega^2}{\omega_L^2} \right), \quad (4.3)$$

де  $\omega_L = \frac{1}{\sqrt{LC_L}}$  – частота власного резонансу (формула Томсона).

Аналогічно можна ввести поняття еквівалентного опору втрат:

$$R_{LE} = R_L + \omega^3 L^2 C_L \operatorname{tg} \delta_{CL} \quad (4.4)$$

Тоді схему заміщення котушки можна спростити (рисунок 4.2, б).

*Застосування.* Дискретні котушки застосовують у коливальних контурах, електричних лініях затримки сигналів, фільтрах. Їх використовують для створення на окремих ділянках електричних кіл реактивного індуктивного опору, для забезпечення магнітного зв'язку між електричними колами, для розділення постійного і змінного струмів тощо.

Котушки важко піддаються мікромініатюризації, тому індуктивні елементи в інтегрованих мікросхемах практично відсутні. Винятком є тонкоплівкові гібридні ІС, в яких вони мають форму плоских спіралей Архімеда індуктивністю до 10 мкГн. У напівпровідникових ІС замість котушок застосовують спеціальні схеми на транзисторах, які дають індуктивний ефект. У товстоплівкових гібридних ІС переважно використовують навісні котушки.

### 4.3 Конструювання і розрахунок котушок

Існує декілька методик розрахунків котушок, які відрізняються складністю та точністю отриманих результатів. У котушках розраховують геометричні розміри, індуктивність, кількість витків, діаметр проводу, втрати енергії, добротність. Геометричні розміри котушок визначає їх діаметр  $D$ , довжина  $l$ , глибина намотки  $b$ , діаметр каркаса  $d_k$ . В одношаровій котушці діаметр  $D$  – це діаметр кола, утвореного осьюовою лінією активного перерізу проводу. На високих частотах діаметр котушки  $D$  можна вважати таким, що дорівнює діаметру каркаса  $d_k$ .

Довжина котушки  $l$  – це відстань між осьовими лініями крайніх витків. Відстань між осьовими лініями суміжних витків називають кроком намотки  $\tau$ . Звичайно приймають, що:

$$l = \tau (N - 1), \quad (4.5)$$

або

$$l = d_0 (N - 1), \quad (4.6)$$

де  $N$  – кількість витків.

При нещільній намотці, виконаній з коефіцієнтом нещільності  $\alpha \approx 1,05 \dots 1,3$

$$l = \alpha d_0 (N - 1), \quad (4.7)$$

де  $d_0$  – діаметр проводу з ізоляцією.

Для багатовиткових одношарових котушок приймають, що:

$$l \approx \alpha d_0 N. \quad (4.8)$$

Для багатшарових котушок можна вважати, що зовнішній діаметр котушки  $D$  дорівнює зовнішньому діаметру намотки, а її внутрішній діаметр  $D_0 = d_k$ . У такому разі глибина намотки

$$b = \frac{D - D_0}{2}. \quad (4.9)$$

Середній діаметр котушки:

$$D_c = \frac{D + D_0}{2} = \frac{d_k + D}{2} = D_0 + b. \quad (4.10)$$

Для простої рядової котушки і намотки "у навал" глибина

$$b = \frac{\alpha d_0^2 N^2}{l} = d_0 N. \quad (4.11)$$

Індуктивність одношарових котушок з суцільною намоткою визначають із виразу:

$$L = L_0 N^2 D 10^{-3}, \quad (4.12)$$

де  $L$  [мкГн],  $D$  [см],  $L_0$  – поправковий коефіцієнт, який залежить від відношення  $l/D$  і визначається з графіка, наведеного на рисунку 4.3, або наближено з виразу:

$$L_0 = \frac{10}{l/D + 0,44}. \quad (4.13)$$

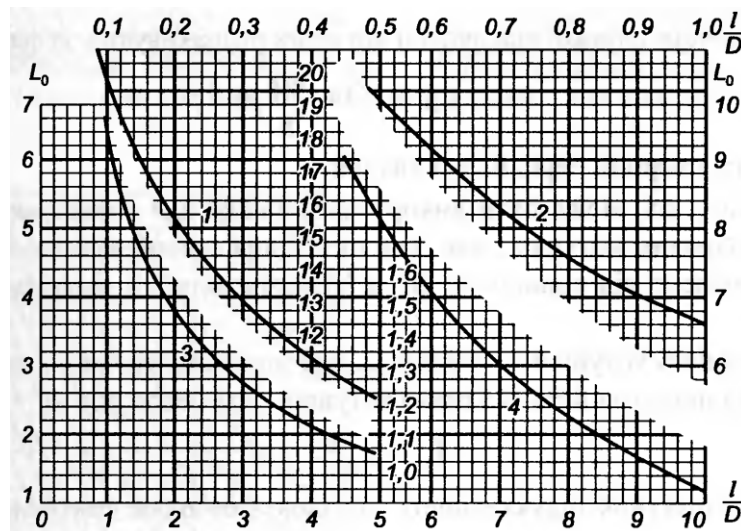


Рисунок 4.3 – Графік залежності  $L_0$  ( $l/D$ ) для одношарових котушок

Індуктивність одношарової котушки, намотаної з кроком, визначають із виразу:

$$L = L' - 2\pi ND (A + D) 10^{-3}, \quad (4.14)$$

де  $L'$  – індуктивність котушки, розрахована за (4.12);  $A$  і  $B$  – поправкові коефіцієнти, які визначаються із графіків, зображених на рисунку 4.4;  $d$  – діаметр проводу без ізоляції.

Додаткову інформацію про котушки індуктивності можна отримати, наприклад, з [3, 12].



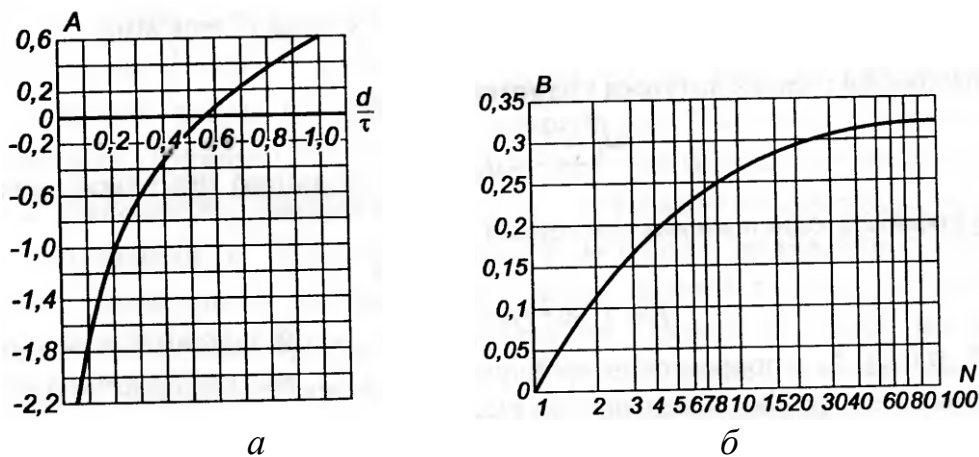


Рисунок 4.4 – Графіки залежностей  $A(d/\tau)$  і  $B(N)$

#### 4.4 Намотка катушок

Одношарові катушки з кроком характеризуються високою добротністю (150...400) та стабільністю; вони в основному застосовуються в контурах КХ і УКХ.

Для підвищення точності намотки проводу використовуються нарізні каркаси, тобто каркаси, на поверхні яких зроблено неглибоку (0,2...0,3d) спіральну канавку. Однак занурення проводу в діелектрик каркасу дещо знижує добротність і стабільність катушки.

Для катушок з високою стабільністю використовують спеціальні способи виготовлення намоток – туго, гаряча й осаджена або нанесена намотки.

Катушки з тугою намоткою намотуються проводом із значним (до 50...60% розривного зусилля) натягом на міцний (зазвичай керамічний) каркас. Кінці проводу закріплюють пайкою на контактних наконечниках. Такий пристрій виключає можливість самовільного переміщення витків при вібраціях та ударах. Додаткове закріплення витків може бути отримано їх гальванічним омідненням.

Катушки з гарячою намоткою намотують проводом, нагрітим до 180–120°C при незначному натягу. Після охолодження отримуємо міцне зчеплення проводу з поверхнею каркасу, чим досягається висока стабільність.

В катушках з осадженою (нанесеною) намоткою витки утворюються шаром металу, нанесеного на поверхню керамічного каркасу методом впалювання з наступним гальванічним нарощуванням. Спільна товщина шару металу складає 0,01–0,03 мм. Такі катушки мають знижену на 10–20% добротність, але відрізняються дуже високою стабільністю.

Катушки без каркасу можуть бути практично виконані за малої кількості витків. Вони відрізняються дещо більш високою добротністю, але мають малу механічну жорсткість і понижену стабільність.

Наближені за властивостями до одношарових пласкі катушки із спіральною намоткою, виконують у вигляді круглої або прямокутної рамки.

Такі котушки особливо часто виготовляють методом друку.

Для котушок з індуктивністю вищою за 15–20 мкГн використовують суцільну одношарову намотку. Необхідність переходу на суцільну намотку визначається діаметром котушки: чим більше діаметр котушки, тим більша індуктивність може бути отримана при намотці з кроком. Орієнтовні значення індуктивності, при яких доцільний перехід на суцільну намотку, приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Гранична індуктивність для намотки с кроком

Діаметр каркасу, мм	6	10	15	20	25
Гранична індуктивність, мкГн	1,8	4	10	20	30

Котушки із суцільною намоткою також відрізняються високою добротністю (150–250) та стабільністю та широко використовуються в контурах для коротких, проміжних і середніх хвиль, якщо потрібна індуктивність не вище 200–500 мкГн.

Для виготовлення котушок з індуктивністю, вищою за 200–500 мкГн, використовують багатошарові намотки.

Доцільність переходу на багатошарову намотку визначається діаметром котушки. Чим більший діаметр котушки, тим за більшої індуктивності треба переходити до багатошарової намотки. Орієнтовні значення індуктивностей, за яких доцільний перехід до багатошарової намотки, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранична індуктивність для багатошарової суцільної намотки

Діаметр каркасу, мм	10	15	20	30	50
Гранична індуктивність мкГн	30	50	100	200	500

Багатошарові намотки можуть бути розділені на прості та складні. Прикладами простих намоток є рядна багатошарова намотка, за якої витки укладаються на каркас правильними рядами, та намотка «кучею» (або «внавал»), за якої немає визначеної закономірності у розміщенні витків та шарів.

Несекціоновані багатошарові котушки з простими намотками відрізняються низькими електричними показниками – низькою добротністю та стабільністю, великою власною ємністю та потребують спеціального каркасу. Вони використовуються лише в контурах для довгих хвиль у якості високочастотних дроселів та в різних корегуючих колах.

#### **4.5 Порядок виконання роботи**

1. Заздалегідь підготувати заготовку каркасу майбутньої котушки індуктивності із старої кулькової ручки з круглим перерізом діаметром від 5 до 10 мм.

2. Розрахувати величину індуктивності, яку можна отримати, намотавши на заготовку каркасу 50 витків проводу діаметром 0,1; 0,3 та 1 мм.

3. Отримати у викладача моточний провід для експериментальних досліджень.
4. Виконати щільну намотку виток до витку згідно з варіантом.
5. Закріпити тимчасово краї намотки, наприклад, липкою стрічкою.
6. Зачистити ізоляцію виводів намотки.
7. Виміряти індуктивність.
8. Зробити висновки за ходом виконання лабораторної роботи.

#### **4.6 Контрольні запитання**

1. Класифікація котушок індуктивності.
2. Будова котушок індуктивності.
3. Характеристики котушок індуктивності.
4. Параметри котушок індуктивності.
5. Основні області використання котушок індуктивності.
6. Виготовлення котушок індуктивності.
7. Прилади та методика вимірювання параметрів котушок індуктивності.
8. Вирішити задачу (надається під час захисту).

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВІДНИКІВ

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

### 5.1 Прилади та матеріали

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

### 5.2 Теоретичні відомості

Питомий електричний опір — опір провідника довжиною  $l$  м, що має постійний по довжині поперечний переріз в  $l$  мм<sup>2</sup>.

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

Основні дані проводів низького опору приведені в таблиці 5.1, а сплавів високого опору — в таблиці 5.2.

Величини, що приведені в таблиці 5.1, 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 [2].

Таблиця 5.1 – 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 5.2 – 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 ізольовані 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 і т. ін.

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

Проводи марок ПЭВКЛ, ПЭВТЛ, ПЭПЛЮ 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 [2].

**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 [2].

**Монтажні проводи**, що використовуються для монтажу радіоелект-

ронної 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 коливанням 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 скловолокнистого обплетення, просякненого кремнійорганічним лаком (наприклад, марка ТМ-250). Вони можуть експлуатуватися за температури до 250°C.

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

Основні дані монтажних проводів приведені у [2].

### **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 (5.1):

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5.1)$$

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 навантаженням 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 (5.2):

$$U_2 = U_1 e^{-\beta l}, \quad (5.2)$$

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

$l$  – довжина кабелю,  $m$ .

Тоді погонне загасання можна розрахувати за формулою (5.3):

$$\beta = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \quad (5.3)$$

де  $U_1$  і  $U_2$  – напруга на початку та 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 [2].

### 5.3 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  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (5.4)$$

Хвильовий опір ВЧ-кабелю з відомими геометричними розмірами можна визначити за приблизними формулою (5.5) для стрічкового (рисунк 5.1а) і формулою (5.6) для коаксіального (рисунок 5.1б) кабелів.

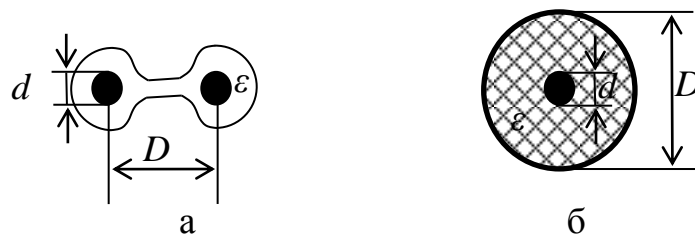


Рисунок 5.1– ВЧ-кабелі:  
а – стрічковий; б – коаксіальний



$$Z_x = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{2D}{d} = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{2D}{d}, \quad (5.5)$$

$$Z_x = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d}, \quad (5.6)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність матеріалу ізоляції.

#### 5.4 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 прогрітисся 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 100 Гц. 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 5.3.
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 5.3 – Результати виконання роботи

№ п/п	Тип про- воду / кабелю	Кіль- кість провід- ників	Кількість жил у провід- нику	Матеріал		Діаметр провідника з ізоляцією / без, мм	Довжина провід- ника, м	R, Ом	Питомий опір, Ом·м	
				жили	ізоляції				$\rho$ (розрах.)	$\rho$ (літ.)
1.										

-----

п.										
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### 5.5 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.

### 5.6 Задачі до захисту лабораторної роботи

- А. Визначити опір провідника довжиною  $l_1$ .
- А1. Сформулювати запитання щодо потрібної додаткової інформації.
- А2. Як зміниться опір цього провідника, якщо температура повітря з наявних  $+20^\circ\text{C}$ :
- А2.1. підвищиться до  $T_2$ ?
- А2.2. знизиться до  $T_3$ ?
- Б. Визначити хвильовий опір ВЧ-кабелю довжиною  $l_2$ .
- Б1. Сформулювати запитання щодо потрібної додаткової інформації.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: Справочник. – М.: Радио и связь. 1995. – 272 с.
2. Белоруссов Н.И. и др. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник. – 5 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.
3. Боярченков М.А., Черкашина А. Г. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. – М.: Высш. школа, 1976. – 383с.
4. Вимірювач універсальний Е7-11. Технічний опис та інструкція з експлуатації.
5. Горячева Г. А., Добромислов Е.Р. Конденсаторы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 88 с.
6. Гуревич В. И. Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. Настольная книга инженера. – М.: Солон-пресс, 2011. – 700 с.
7. Електронний довідник радіоаматора ElectroDroid [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://electrodroid.it/>
8. Елементна база радіоелектронних апаратів. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.050902 – Радіоелектронні апарати/ Укл. В.П.Войтенко. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. [Електронний ресурс] : Режим доступу: [http://Inel\Archive\Kources\2\\_курс\Елементна база РЕА](http://Inel\Archive\Kources\2_курс\Елементна база РЕА)
9. Коммутационные устройства радиоэлектронной аппаратуры/ Г. Я. Рыбин, Б. Ф. Ивакин, Н. В. Вьюков и др.; Под ред. Г. Я. Рыбина. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
10. Малогабаритні комутаційні пристрої фірми Panasonic [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://eu.industrial.panasonic.com/products/input-devices/switches/>
11. Маркировка электронных компонентов. – 9-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2004. — 208 с : ил.
12. Матвійків М.Д. та ін. Елементна база електронних апаратів: Підручник /М.Д.Матвійків, В.М. Когут, О.М. Матвійків. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – 428 с.
13. Нестеренко И.И. Цвет, код, символика электронных компонентов/ Нестеренко И.И. . – М.:СОЛОН, 2004. – 213с.
14. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
15. Садченков Д. А. Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных. Справочное пособие. Том 1. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 208 с.
16. Справочник по электрическим конденсаторам / М. Н. Дьяконов, В. И. Карабанов, В. И. Присняков и др.; Под общ. ред. И. И. Четверткова и В. Ф. Смирнова. – М.: Радио и связь, 1983. – 576 с.

## Додаток А Ряди номінальних значень

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	

## Додаток Б Кольорове маркування резисторів

Таблиця Б.1 – Стандартні кольори ЕІА (4 смужки; допуски  $\pm 2\%$ ,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ )

Колір	1 смужка (фігура)	2 смужка (фігура)	3 смужка (фігура)	4 смужка (допуск)
<b>Чорний</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b><math>10^0</math></b>	
<b>Коричневий</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b><math>10^1</math></b>	
<b>Червоний</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b><math>10^2</math></b>	<b><math>\pm 2\%</math></b>
<b>Оранжевий</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b><math>10^3</math></b>	
<b>Жовтий</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b><math>10^4</math></b>	
<b>Зелений</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b><math>10^5</math></b>	
<b>Синій</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b><math>10^6</math></b>	
<b>Фіолетовий</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b><math>10^7</math></b>	
<b>Сірий</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b><math>10^8</math></b>	
<b>Білий</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b><math>10^9</math></b>	
<b>Золотий</b>			<b><math>10^{-1}</math></b>	<b><math>\pm 5\%</math></b>
<b>Сріблястий</b>			<b><math>10^{-2}</math></b>	<b><math>\pm 10\%</math></b>

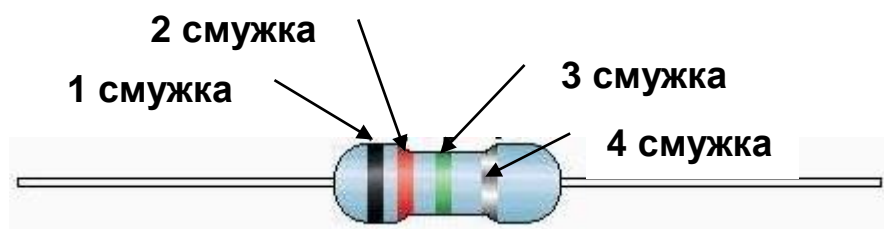


Рисунок Б.1 – Кольорове маркування резисторів

## Додаток В

### Довідкова інформація про вимірювач універсальний Е7-11

*Примітка.* До початку роботи з приладом необхідно ознайомитися з технічним описом та інструкцією з експлуатації вимірювача Е7-11 [4].

Прилад Е7-11 (рисунок В.1) призначений для вимірювання індуктивності, ємності, опору та інших основних параметрів різних ЕРЕ та застосування у розробці, експлуатації та ремонті РЕА.



Рисунок В.1 – Зовнішній вигляд вимірювача універсального Е7-11

Основні технічні характеристики вимірювача універсального Е7-11 наведені в Таблиці В.1.

Таблиця В.1 – Технічні характеристики вимірювача універсального Е7-11

Діапазон вимірюваного опору		0,1 Ом...10 МОм
Вимірювані параметри		
На частоті	Ємність	Індуктивність
100 Гц	100 пФ...1000 мкФ	10 мкГн...1000 Гн
1000 Гц	0,5 пФ...100 мкФ	0,3 мкГн...100 Гн
Тангенс кута втрат	0,005...0,1	
Добротність	0,1...30	

Основні похибки вимірювання на відповідних піддіапазонах не перевищують значень, зазначених в таблиці В.2. Більш докладну інформацію можна взяти з [4].

У формулах основної похибки, наведених у таблиці В.2, числові зна-

чення вимірюваних опорів зазначені в  $\Omega$ , ємностей – в  $n\Phi$ , індуктивностей – в  $мкГн$ . Похибки вимірювання ємності, індуктивності та опору гарантуються тільки за відліку результату вимірювання на шкалах «МНОЖИТЕЛЬ» не менше 0,100. Похибки вимірювань ємності від 0,5 до 10  $n\Phi$ , індуктивності від 0,3 до 10  $мкГн$ , опору від 0,1 до 1  $\Omega$  гарантуються за значення «МНОЖИТЕЛЬ» навіть і меншого за 0,100.

Таблиця В.2 – Основні похибки вимірювання

Величина що вимірюється	Межі вимірювання	Номер піддіапазону			Основна похибка
		0	100 $\Gamma\zeta$	1000 $\Gamma\zeta$	
Ємність при $Q \geq 1$ або при $tg \delta \leq 0,1$	0,5...1000 $n\Phi$ ;	–	7	6...7	$\pm(1+20/C)\%$
	1000 $n\Phi$ ...10 $мк\Phi$ ;		3...6	2...5	$\pm 1\%$
	10...1000 $мк\Phi$		1...2	1	$\pm 2\%$
Індуктивність при $Q \geq 1$ або при $tg \delta \leq 0,1$	0,3...100 $мкГн$ ;	–	1	1	$\pm(2+10/L)\%$
	100 $мкГн$ ...10 $Гн$ ;		1...5	2...6	$\pm 1\%$
	10...1000 $Гн$		6...7	7	$\pm 2\%$
Опір	0,1...10 $\Omega$ ;	1	1	1	$\pm(2+2/R)\%$
	10 $\Omega$ ...1 $МО\Omega$ ;	2...6	2...5	2...6	$\pm(1+2/R)\%$
	1...10 $МО\Omega$	7	7	–	$\pm(2+2/R)\%$

### **В.1 Підготовка та загальні вказівки до проведення вимірювань**

Перемикач «СЕТЬ ВКЛ.» поставте у верхнє положення. При цьому повинна загорітися індикаторна лампочка. Вимірювач готовий до роботи через 15 хв. Якщо потрібно, перевірте працездатність вимірювача в різних режимах вимірювання, користуючись [4].

Процес вимірювання полягає у врівноваженні мостової вимірювальної схеми з метою досягнення нею балансу, що визначається за індикатором балансу. Порядок врівноваження схеми описується нижче. Стану балансу мосту відповідає нульове показання стрілочного приладу.

За балансу мосту стрілка індикатора не завжди збігається з нульовою рисою шкали. Врівноважуючи міст в цьому випадку почерговим обертанням ручок шкал реактивності і втрат, потрібно отримати мінімум показань індикатора при поступовому збільшенні чутливості до величини, що забезпечує індикацію зміни відліку вимірюваної величини не менше, ніж на половину основної похибки вимірювання. Внаслідок надмірної чутливості на окремих ділянках діапазону вимірювань прагнути до досягнення мінімуму при максимальній чутливості індикатора не слід.

Відлік результату вимірювання ємності, індуктивності та опору проводиться за загальним відліковим пристроєм «МНОЖИТЕЛЬ», що має дві шкали. Показання однієї шкали змінюються сходинками, іншої – плавно. Показання обох шкал утворюють єдиний рядковий цифровий відлік. Відлік, зображений на рисунку В.2, а, повинен бути прочитаний як 0,275.

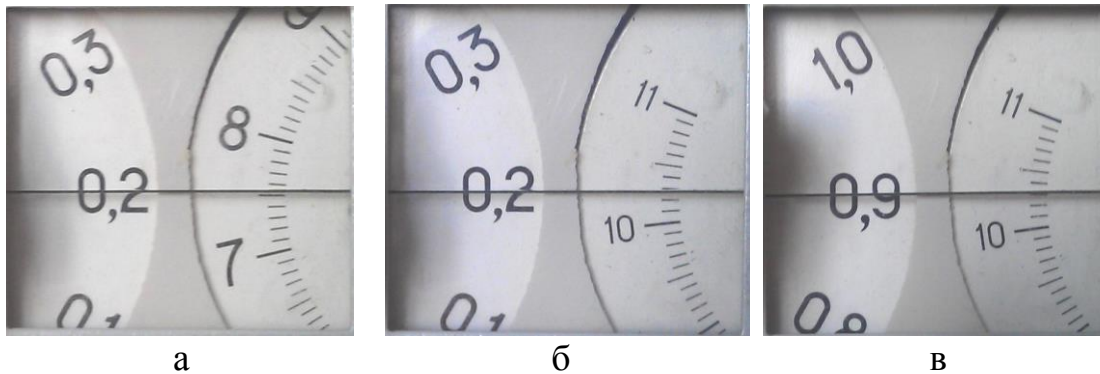


Рисунок В.2 – Відлік результатів вимірювань  $L$ ,  $C$ ,  $R$

Якщо показання на плавній шкалі більше або дорівнює 10, то це означає, що одиниця повинна бути перенесена (додана) у попередній розряд відліку, тобто відлік, зображений на рисунку В.2, б, слід прочитати як 0,303. Аналогічно відлік, представлений на рисунку В.2, в, відповідає значенню 1,003.

### **В.2 Вимірювання опорів на змінному струмі.**

Підключіть вимірюваний об'єкт до затискачів сполучного кабелю  $L$ ,  $C$ ,  $R$ .

Перемикач « $L$ ,  $C$ ,  $R_{\sim}$ ,  $R_{\underline{\quad}}$ » встановіть в положення « $R_{\sim}$ », перемикач «Частота Hz» – в положення, яке відповідне частоті, на якій передбачається проводити вимірювання (при установці перемикача в положення «100» загоряється сигнальна лампочка « $C$ ,  $L \times 10$ »).

Перемикач «ПРЕДЕЛЫ» поставте в крайнє ліве положення (перша межа).

Ручку «ЧУВСТВИТ.» встановіть в крайнє праве положення.

Виберіть потрібну межу вимірювання. Для цього обертанням ручки «ПРЕДЕЛЫ» по черзі міняйте встановлену межу до тих пір, поки знак напруги розбалансу на індикаторі балансу не зміниться на протилежний. Це і буде потрібна для вимірювань межа.

Збалансируйте міст обертанням ручок «МНОЖИТЕЛЬ», поступово збільшуючи чутливість до величини, що забезпечує індикацію розбалансу на  $1/2$  похибки вимірювання для цієї величини.

Виміряна величина опору дорівнює добутку відліку за шкалами «МНОЖИТЕЛЬ» на значення опору, яке відповідає обраній межі і вказане в таблиці на передній панелі приладу.

Наприклад, відлік за шкалами «МНОЖИТЕЛЬ» – 0,127. Межа вимірювання – 3. Відповідно до таблиці йому відповідає значення 1  $\kappa\text{Ом}$ . Отже, виміряна величина опору буде  $R = 0,127 \times 1 \kappa\text{Ом} = 127 \text{ Ом}$ .

### **В.3 Вимірювання ємності і тангенса кута втрат**

Підключіть вимірюваний об'єкт до сполучних кабелів приладу.

Поставте:

перемикач « $L$ ,  $C$ ,  $R_{\sim}$ ,  $R_{\underline{\quad}}$ » в положення « $C$ »;

перемикач « $Q > 0,5$ ,  $Q < 0,5 \text{ tg } \delta$ » в положення « $\text{tg } \delta$ »;



перемикач «Частота Hz» в положення, відповідне частоті, на якій будуть вестися вимірювання;  
 перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в крайнє **праве** положення (сьома межа);  
 шкалу «tg δ» на нульове значення;  
 ручку «ЧУВСТВИТ.» в крайнє праве положення.

Виберіть потрібну межу вимірювання. Для цього на шкалі «МНОЖИТЕЛЬ» встановіть відлік 1,090. Натисніть кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА» і обертанням ручки «ПРЕДЕЛЫ» вліво міняйте встановлену межу до тих пір, поки знак фази напруги розбалансу на індикаторі приладу не зміниться на протилежний. Це буде межа, на якій повинні проводитися вимірювання.

Відпустивши кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА», зробіть урівноваження моста. Для цього зменшуйте показання шкали перемикача «МНОЖИТЕЛЬ» до отримання мінімуму показань індикатора балансу, потім обертанням плавної шкали «МНОЖИТЕЛЬ» знайдіть положення, при якому мінімум стане ще менше. Якщо обертання плавної шкали не змінює показань індикатора, перейдіть до врівноваження моста за втратами. Знайшовши мінімум, знову поверніться до врівноваження за ємністю. Регулювання повторюються при поступовому збільшенні чутливості до величини, що забезпечує індикацію зміни відліку по шкалах не менше половини основної похибки вимірювання.

Досягнувши мінімуму за такої чутливості, зробіть відлік результату вимірювання. Виміряна величина ємності дорівнює відліку за шкалою «МНОЖИТЕЛЬ», помноженому на значення ємності, вказане в таблиці передньої панелі для відповідного положення перемикача «ПРЕДЕЛЫ».

Якщо вимірювання проводилося на частоті 100 Гц, відлік результату вимірювання ємності повинен бути збільшений у 10 разів.

При вимірі ємностей нижче 1000 нФ слід уводити поправку на початкову ємність мостової схеми: зменшити результат вимірювання на величину початкової ємності [4].

Виміряна величина тангенса кута втрат відлічується безпосередньо по шкалі «tg δ».

#### **В.4 Вимірювання індуктивності та добротності**

Підключіть вимірюваний об'єкт і зробіть установку перемикачів:  
 «L, C, R~, R\_» у положення «L»;  
 «Q>0,5, Q<0,5 tg δ» у положення «tg δ»;  
 «ЧАСТОТА Hz» в положення, відповідне частоті, на якій повинні проводитися вимірювання;  
 «ПРЕДЕЛЫ» в крайнє **ліве** положення.  
 Ручку «ЧУВСТВИТ.» Поставте в крайнє праве положення.  
 Виберіть потрібну межу вимірювання.  
 Для цього:  
 встановіть на шкалі відліку «МНОЖИТЕЛЬ» показання 1,090;

натисніть кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА»;

обертаючи вправо ручку перемикача «ПРЕДЕЛЫ», знайдіть межу, при якій знак фази напруги розбалансу на стрілочному приладі зміниться на протилежний;

відпустивши кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА» і перевівши перемикач « $tg \delta$ » у положення «Q», зробіть урівноваження мостової схеми, домігшись почерговим обертанням ручок шкали «МНОЖИТЕЛЬ» і шкали «Q» мінімальних свідчень індикатора балансу при поступовому збільшенні чутливості до величини, що забезпечує індикацію розбалансу на  $1/2$  величини основної похибки вимірювання;

зробіть відлік результату вимірювання.

Якщо відлік результату вимірювання на шкалі «МНОЖИТЕЛЬ» вийшов з двома або трьома нулями попереду, потрібно, не змінюючи відліку за шкалою «Q», перевести перемикач меж на одне або два положення відповідно вліво і повторити вимір на цій межі.

Виміряна величина індуктивності дорівнює відліку за шкалою «МНОЖИТЕЛЬ», помноженому на значення індуктивності, вказане в таблиці на лицьовій панелі, відповідно до положення перемикача «ПРЕДЕЛЫ».

При вимірах на частоті  $100 \text{ Гц}$  відлік вимірювання індуктивності повинен бути збільшений у 10 разів.

У виміряну величину індуктивності нижче  $100 \text{ мкГн}$  слід увести поправку на початкову індуктивність мостової схеми [4].

Виміряна величина добротності відраховується безпосередньо за відповідною шкалою «Q».

При вимірюванні об'єктів з низькою добротністю ( $Q < 1$ ) виникають деякі труднощі в правильному пошуку балансу моста. При врівноваженні моста в цьому випадку слід дотримуватися методики, описаної в [4].

При вимірюванні котушок з феромагнітними осерддями вимірювання величини індуктивності і добротності або тангенса кута втрат залежать від напруги на котушці. В цьому випадку рекомендується проводити вимірювання за зменшеної або строго певної напруги генератора. Регулювання напруги генератора виконується ручкою «Uген» на задній стінці корпусу приладу.

Для багатьох ЕРЕ, параметри яких залежать від напруги зсуву на них або від струму, що протікає через них, на вимірюваний об'єкт необхідно подавати напругу зсуву або струм підмагнічування. В якості прикладу можна навести електролітичні та металопаперові конденсатори, котушки з феромагнітними осерддями, варікапи та ін. Прилад дозволяє проводити такі вимірювання тільки за умови використання зовнішніх джерел напруги постійного струму і допускає подачу напруги зсуву до  $30 \text{ В}$  і струму до  $30 \text{ мА}$ . Контроль режимів, що задаються за постійним струмом, повинен здійснюватися також зовнішніми приладами [4].

## Додаток Г

### Довідкова інформація про деякі електромагнітні реле

Таблиця Г.1 – Параметри деяких реле РЭС-6

Виконання (паспорт)	Кількість і тип кон- тактів	Опір об- мотки, Ом	Струм, мА		Робочий струм, мА
			спрацювання, не більше	відпускання, не менше	
РФ0.452.100	2п	2500 ± 250	20	3	25 ÷ 27
РФ0.452.101		1250 ± 125	26	5	33 ÷ 35
РФ0.452.102		850 ± 85	32	6	40 ÷ 42
РФ0.452.103		550 ± 55	35	8	44 ÷ 46
РФ0.452.104		300 ± 30	50	10	63 ÷ 65
РФ0.452.105		200 ± 20	65	15	90 ÷ 92
РФ0.452.106		125 ± 12,5	70	18	96 ÷ 98
РФ0.452.107		60 ± 6	100	20	128 ÷ 130
РФ0.452.108		5000 ± 500	15	2	19 ÷ 21
РФ0.452.109		30 ± 3	130	25	165 ÷ 168

Опір контакту складає 0,6 Ом.

Таблиця Г.2 – Параметри реле РЭС-10

Виконання (паспорт)	Опір обмот- ки, Ом	Струм, мА		Робочий струм, мА	Робоча напруга, В
		спрацюван- ня, не біль- ше	відпускан- ня, не мен- ше		
РС4.524.300	3825 - 5175	6	0,8	7...12	-
РС4.524.305	1360 - 1840	10	1,3	12...18	-
РС4.524.308	108 - 132	35	5,0	-	7...15
РС4.524.311	108 - 132	35	5,0	-	7...15
РС4.524.316	1360 - 1840	10	1,3	12...18	-
РС4.524.301	3825 - 5175	8	1,1	9,5...12	-
РС4.524.302	530 - 724	22	3,0	-	24...36
РС4.524.303	108 - 132	50	7,0	-	9...15
РС4.524.304	40 - 50	80	11,0	-	5,5...10
РС4.524.312	108 - 132	50	7,0	-	9...15
РС4.524.313	3825 - 5175	8	1,1	9,5...12	-
РС4.524.314	536 - 724	22	3,0	-	24 ... 35
РС4.524.315	40 - 50	80	11,0	-	5,5...10
РС4.524.317	19 - 23	125	15,0	-	-
РС4.524.319	536 - 724	23	3,0	-	24...32

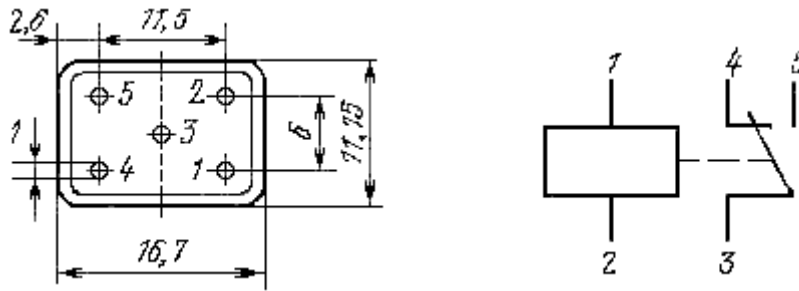


Рисунок Г.1 – Розміщення контактів реле РЭС-10

Таблиця Г.3 – Параметри реле РЭС-22

Виконання (паспорт)	Опір обмотки, Ом	Струм, мА		Робоча напруга, В
		спрацювання, не більше	відпускання, не менше	
РФ4.500.125	2380 - 3080	11,0	2,0	54 - 66
РФ4.500.129	158 - 210	36,0	8,0	10.8 - 13.2
РФ4.500.130	2250 - 3875	10,5	2,5	43.2 - 52.8
РФ4.500.131	552 - 780	20,0	4,0	21.6 - 26.4
РФ4.500.163	595 - 805	21,0	3,0	27 - 33
РФ4.500.225	485 - 748	19,0	6,0	21.6 - 26.4
РФ4.500.231	595 - 805	21,0	3,0	27 - 33
РФ4.500.233	158 - 210	36,0	8,0	10.8 - 13.2

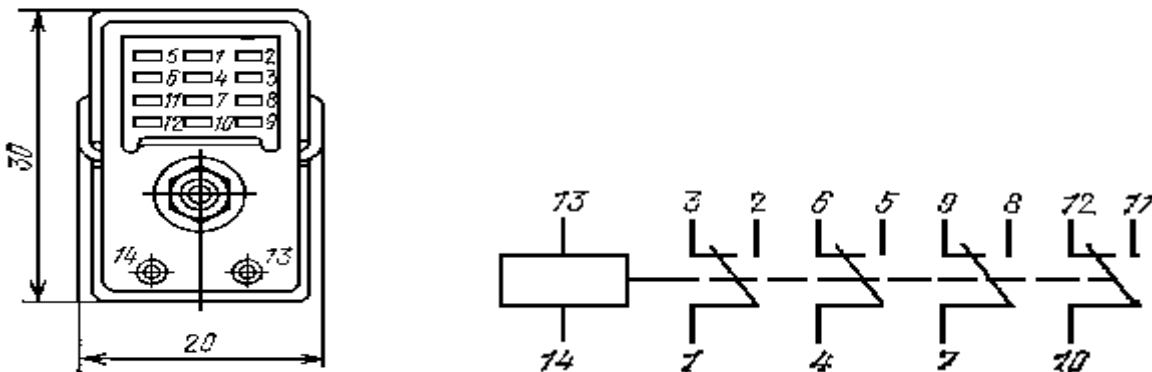


Рисунок Г.2 – Розміщення контактів реле РЭС-22

Таблиця Г.3 – Параметри реле РЭС-22

Виконання (паспорт)	Опір обмотки, Ом	Струм, мА		Робоча напруга, В
		спрацювання, не більше	відпускання, не менше	
РС4.569.000	1330 - 2185	8,3	0,8	24 - 30
РС4.569.423	1580 - 2185	8,0	1,6	22 - 36
РС4.569.424	640 - 960	12,0	2,2	16 - 20

**Реле G2R-1A-T DC12 (Omron):**

Coil Voltage VDC Nom: 12 В

Contact Current Max: 10 А

Coil Type: DC

Operating Power Nom: 530 мВт

Coil Resistance: 275 Ом

Coil Current: 43.6 мА