

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

з дисциплін

«Елементна база електронних пристроїв»

«Електроніка і мікросхемотехніка»

Харків
ХНАДУ
2019

Укладачі: О.А. Дзюбенко
 І.С. Трунова
Кафедра автомобільної електроніки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСИВНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи: ознайомитися із класифікацією, конструкцією й принципами маркування пасивних компонентів, навчитися визначати їхні основні параметри за допомогою довідкової літератури й вимірювальних приладів.

Резистори постійного й змінного опору

Резистором називається пасивний елемент РЕА, призначений для створення в електричному колі необхідної величини опору, що забезпечує перерозподіл і регулювання електричної енергії між елементами схеми.

Резистори, які випускаються вітчизняною промисловістю класифікуються по різних ознаках. Залежно від характеру зміни опору резистори розділяють на постійні – значення опору фіксоване; змінні – зі змінним значенням опору.

Залежно від призначення резистори діляться на загального призначення й спеціальні (прецизійні, надпрецизійні, високочастотні, високовольтні, високомегаомні).

Резистори загального призначення використовуються як навантаження активних елементів, поглиначів, дільників у колах живлення, елементів фільтрів, шунтів, в RC-колах формування імпульсних сигналів і ін. Діапазон номінальних опорів цих резисторів 1 Ом...10 МОм, номінальні потужності розсіювання – 0,125...100 Вт. Відхилення опору від номінального значення, що допускаються ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 %.

Прецизійні й надпрецизійні резистори відрізняються високою стабільністю параметрів і високою точністю виготовлення (допуск $\pm 0,0005$... $0,5$ %). Такі резистори застосовуються в основному у вимірювальних приладах, системах автоматики, розрахунково-вирішувальних пристроях. Діапазон цих резисторів значно ширший, ніж резисторів загального призначення.

Високочастотні резистори відрізняються малими власними індуктивністю і ємністю й призначені для роботи у високочастотних колах, кабелях і хвилеводах.

Високовольтні резистори розраховані на роботу при великих (від одиниць до десятків кіловольтів) напругах.

Високомегаомні резистори мають діапазон номінальних опорів від десятків мегаом до одиниць тераом. Високомегаомні резистори застосовуються в колах з робочою напругою до 400 В і звичайно працюють у режимі малих струмів. Потужності розсіювання їх невеликі (до 0,5 Вт).

Залежно від способу захисту від зовнішніх факторів резистори діляться на неізолювані, ізолювані, герметизовані та вакуумні.

Неізолювані резистори з покриттям або без нього не допускають торкання своїм корпусом шасі апаратури.

Ізолювані резистори мають ізоляційне покриття (лак, компаунд,

пластмаса) і допускають торкання корпусом шасі й струмоведучих частин радіоелектронної апаратури (РЕА).

Герметизовані резистори мають герметичну конструкцію корпусу, яка виключає вплив навколишнього середовища на його внутрішній простір. Герметизація здійснюється за допомогою обпресування спеціальним компаундом.

Вакуумні резистори мають резистивний елемент, який поміщено у скляну вакуумну колбу.

По способу монтажу резистори підрозділяються на резистори для поверхневого й друкованого монтажу, для мікромодулів і інтегральних мікросхем.

По матеріалу резистивного елемента резистори діляться на дровоті, недротяні, металофольгові.

Дровоті – резистори, в яких резистивним елементом є високоомний дріт (виготовляється з високоомних сплавів: константан, ніхром, нікелін).

Недротяні – резистори, в яких резистивним елементом є плівки або об'ємні композиції з високим питомим опором.

Металофольгові – резистори, у яких резистивним елементом є фольга певної конфігурації.

Недротяні резистори можна розділити на тонкоплівкові (товщина шару в нанометрах), товстоплівкові (товщина в частках міліметра), об'ємні (товщина в одиницях міліметра).

Тонкоплівкові резистори підрозділяються на металодіелектричні, металоокисні й металізовані з резистивним елементом у вигляді мікрокомпозиційного шару з діелектрика й металу, або тонкої плівки окису метала, або сплаву метала; вуглецеві й боровуглецеві, елемент, що проводить, яких являє собою плівку піролітичного вуглецю або борорганічних з'єднань.

До товстоплівкових відносять лакосажові, керметні й резистори на основі провідних пластмас. Провідні резистивні шари товстоплівкових об'ємних резисторів являють собою гетерогенну систему (композицію) з декількох фаз, одержувану механічним змішанням провідного компонента, наприклад графіту або сажі, металу або окису метала, з органічними або неорганічними наповнювачами, пластифікаторами або затверджувачем. Після термообробки утворюється монолітний шар з необхідним комплексом параметрів.

В об'ємних резисторах у якості сполучного компонента використовують органічні смоли або склоемалі. Провідним компонентом є вуглець.

У резистивних керметних шарах основним провідним компонентом є металеві порошки і їх суміші, що представляють собою керамічну основу з рівномірно розподіленими частками металу.

Відповідно до діючої системи скорочених і повних позначень скорочена умовна позначка, що привласнюється резисторам, повинна складатися з наступних елементів:

перший елемент – буква або комбінація букв, що позначають підклас резисторів (Р – резистори постійні; РП – резистори змінні; НР – набір резисторів);

другий елемент – цифра, що позначає групу резисторів по матеріалу резистивного елемента (1 – недротяні; 2 – дровові або металофольгові);

третій елемент – реєстраційний номер конкретного типу резистора.

Між другим і третім елементами ставиться дефіс. Наприклад, постійні недротяні резистори з номером 4 або змінні недротяні резистори з номером 46 слід писати P1-4 і PП1-46 відповідно.

Повна умовна позначка складається зі скороченого позначення, варіанта конструктивного виконання (при необхідності), значень основних параметрів і характеристик резистора, кліматичного виконання й позначення документа на поставку.

Параметри й характеристики для постійних резисторів вказуються в наступній послідовності:

- номінальна потужність розсіювання;
- номінальний опір і буквене позначення одиниці виміру;
- відхилення опору, що допускається, у відсотках (допуск);
- група за рівнем шумів (для недротяних резисторів);
- група за температурним коефіцієнтом опору (ТКО).

Наприклад, постійний недротяний резистор з реєстраційним номером 4, номінальною потужністю розсіювання 0,5 Вт, номінальним опором 10 кОм, з допуском $\pm 1\%$, групою за рівнем шумів – А, групи ТКС - Б, всекліматичного виконання - В, позначається: P1-4-0,5-10 кОм $\pm 1\%$ А-Б- В ОЖО.467.157ТУ.

Кодоване позначення номінальних опорів складається із трьох або чотирьох знаків, що включають дві цифри й букву або три цифри й букву. Буква коду з російського або латинського алфавіту позначає множник, що становить опір, і визначає положення коми десяткового знака. Букви R, K, M, G, T позначають відповідно множники 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} .

Таблиця 1.1. Кодовані позначення припустимих відхилень опорів

| Допуск, % | Кодоване позначення | Допуск, % | Кодоване позначення | Допуск, % | Кодоване позначення |
|-------------|---------------------|------------|---------------------|-----------|---------------------|
| $\pm 0,001$ | E | $\pm 0,05$ | X | ± 2 | G |
| $\pm 0,002$ | L | $\pm 0,1$ | B | ± 5 | J |
| $\pm 0,005$ | R | $\pm 0,25$ | C | ± 10 | K |
| $\pm 0,01$ | P | $\pm 0,5$ | D | ± 20 | M |
| $\pm 0,02$ | U | ± 1 | F | ± 30 | N |

Наприклад, 5R1, 150K, 2M2 позначають 5,1 Ом, 150 кОм, 2,2 МОм відповідно.

Повне позначення відхилення, що допускається, складається із цифр, а кодоване з букв (табл. 1.1).

По існуючій раніше системі (ГОСТ 13453-68), перший елемент скороченого позначення – буква (С – резистор постійний, СП – резистор змінний). Другий елемент – цифра, що позначає тип резисторів за матеріалом резистивного шару (1 – недротяні тонкошарові вуглецеві й борвуглецеві; 2 – недротяні тонкошарові металодіелектричні й металоокисні; 3 – недротяні композиційні плівкові; 4 – недротяні композиційні об'ємні; 5 – дровові; 6 –

недротяні тонкошарові металізовані). Третій елемент – число, що позначає порядковий номер виробу.

Наприклад, С2-33 позначає резистор постійний недротяний тонкошаровий металодіелектричний, реєстраційний номер 33.

Маркування на резисторах по даній системі також буквено-цифрова. Вона містить: вид, номінальну потужність, номінальний опір, допуск і дату виготовлення. При малих розмірах резисторів може застосовуватися не повне, а скорочене (кодоване) позначення номінальних опорів і допусків (табл. 1.1, 1.2).

Таблиця 1.2. Система позначення номінальних опорів резисторів

| Одиниця виміру | Кодоване позначення одиниці виміру | Межі номінальних опорів | Приклад повного позначення | Приклад відповідного скороченого позначення |
|----------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|
| Ом | Е | до 99 | 0,47 Ом 4,7 Ом | Е47 4Е7 |
| кОм | К | 0,1...99 | 470 Ом 4,7 кОм | К470 4К7 |
| МОм | М | 0,1...99 | 470 кОм 4,7 МОм | М47 4М7 |
| ГОм | Г | 0,1...99 | 470 МОм 4,7 ГОм | Г47 4Г7 |
| ТОм | Т | 0,1...99 | 0,47 ТОм | Т47 |

Розроблені до 1968 року резистори, що випускаються і в цей час, позначаються трьома буквами: перша позначає матеріал резистивного елемента (У – вуглецеві, К – композиційні, М – металоплівкові, П – дровові і т.д.); друга буква позначає вид захисту (Л – лаковані, Г – герметизовані, Е – емальований і т.д.); третя буква – особливі властивості або призначення резистора (Т – теплостійкі, П – прецизійні, В – високовольтні і т.д.). Наприклад, МЛТ – металоплівкові лаковані теплостійкі, КЛВ – композиційні лаковані високовольтні резистори.

На постійних мініатюрних резисторах, відповідно до ГОСТ 17598-72 і вимогами Публікації 62 МЕК (Міжнародної Електротехнічної Комісії), допускається маркування кольоровим кодом. Її наносять знаками у вигляді кіл або смуг. Маркування кольоровим кодом виконується трьома, чотирма, п'ятьма або шістьма смугами. Як правило, перша смуга розташована ближче до одного з виводів резистора, іноді вона ширше інших і розташовують зліва направо у наступному порядку: перша смуга – перша цифра, друга смуга – друга цифра, третя смуга – множник і четверта смуга – допуск (рис. 1.1). У випадку п'ятисмугового позначення перші три смуги відповідають опорі, четверта – множник, а п'ята – допуск. Коли на резисторі лише три смуги, його допуск – 20 %, а всі смуги означають тільки опір. Шоста смуга, якщо вона є, вказує температурний коефіцієнт опорі (ТКО).

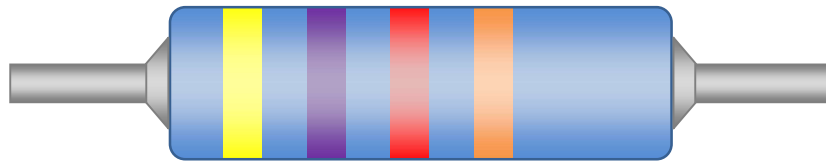


Рис. 1.1. Маркування резисторів кольоровим кодом

Кольори знаків маркування номінального опору й допусків повинні відповідати зазначеним в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Колір знаків маркування резисторів

| Колір знака | Номінальний опір, Ом | | | | Допуск, % | ТКО [ppm/°C] |
|--------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|------------|--------------|
| | Перша цифра | Друга цифра | Третя цифра | Множник | | |
| Срібlistий | | | | 10^{-2} | ± 10 | |
| Золотавий | | | | 10^{-1} | ± 5 | |
| Чорний | | 0 | 0 | 1 | | |
| Коричневий | 1 | 1 | 1 | 10 | ± 1 | 100 |
| Червоний | 2 | 2 | 2 | 10^2 | ± 2 | 50 |
| Жовтогарячий | 3 | 3 | 3 | 10^3 | | 15 |
| Жовтий | 4 | 4 | 4 | 10^4 | | 25 |
| Зелений | 5 | 5 | 5 | 10^5 | $\pm 0,5$ | |
| Блакитний | 6 | 6 | 6 | 10^6 | $\pm 0,25$ | 10 |
| Фіолетовий | 7 | 7 | 7 | 10^7 | $\pm 0,1$ | 5 |
| Сірий | 8 | 8 | 8 | 10^8 | $\pm 0,05$ | |
| Білий | 9 | 9 | 9 | 10^9 | | 1 |

Умовні графічні позначення постійних резисторів наведено на рис. 1.2, 1.3, змінних – на рис. 1.4.

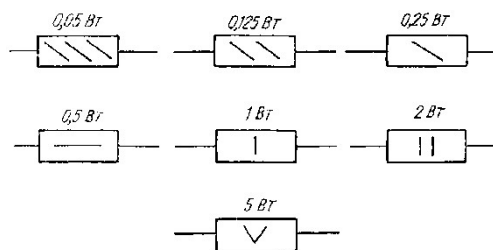


Рис. 1.2. Умовні графічні позначення постійних резисторів різної потужності розсіювання

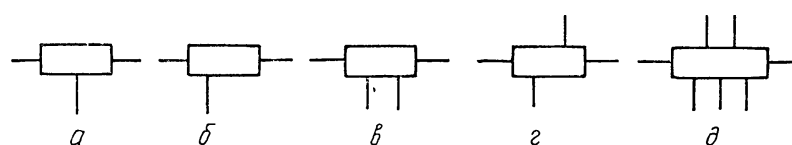


Рис. 1.3. Резистори постійні з додатковими виводами: а – з одним симетричним, б – з одним несиметричним, в, г – із двома виводами, д – з п'ятьма виводами

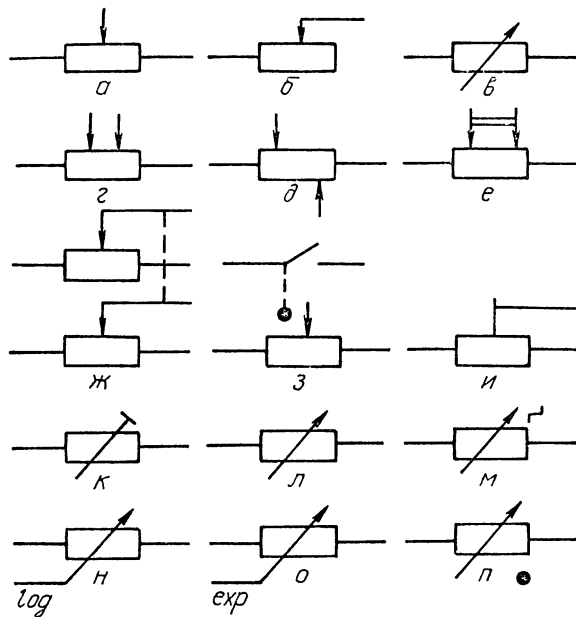


Рис. 1.4. Умовні графічні позначення змінних резисторів:

а, б – резистор змінний, в – резистор змінний у реостатному включенні, г, д – резистор змінний із двома рухливими контактами, е – резистор змінний із двома механічно зв'язаними рухливими контактами, ж – резистор змінний здвоєний, з – резистор змінний із замикаючим контактом; і, к – резистор, що підлаштовується, л – резистор із плавним регулюванням, м – резистор зі східчастим регулюванням, н – резистор з логарифмічною характеристикою регулювання, о – резистор з експонентною характеристикою регулювання, п – резистор, у якого регулювання виведене на передню панель

Конденсатори

Електричний конденсатор – це елемент електричного кола, який призначено для використання його ємності. Конденсатор являє собою систему із двох електродів (обкладок), розділених діелектриком, і має здатність накопичувати електричну енергію.

За одиницю ємності в Міжнародній системі СВ ухвалюють ємність такого конденсатора, у якого потенціал зростає на один вольт при повідомленні йому заряду один кулон (Кл). Цю одиницю називають Фарадою (Ф). Для практичних цілей вона занадто велика, тому на практиці використовують більш дрібні одиниці ємності: мікрофараду (мкФ), нанофараду (нФ) пікофараду (пФ). $1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}$.

В основу класифікації конденсаторів покладено розподіл їх на групи за видом застосовуваного діелектрика й за конструктивними особливостями, що визначають використання їх у конкретних колах апаратури. Вид діелектрика визначає основні електричні параметри конденсаторів: опір ізоляції, стабільність ємності, величину втрат і ін. Конструктивні особливості визначають характерні області застосування: завадогнітючі, підлаштовувальні, дозиметричні, імпульсні й ін.

Подальший розподіл груп конденсаторів за видом діелектрика пов'язано з використанням їх у конкретних колах апаратури, призначенням і виконуваною функцією, наприклад, низьковольтні й високовольтні, низькочастотні й високо

частотні, імпульсні й ін.

Залежно від призначення можна умовно розділити конденсатори на конденсатори загального й спеціального призначення. Конденсатори загального призначення використовуються практично в більшості видів і класів апаратури. Традиційно до них відносять найпоширеніші низьковольтні конденсатори, до яких не пред'являються особливі вимоги. Усі інші конденсатори є спеціальними. До них відносяться: високовольтні, імпульсні, завадогнітючі, дозиметричні, пускові й ін.

По характеру зміни ємності розрізняють конденсатори постійної ємності, змінної ємності й підлаштовувальні.

З назви конденсаторів постійної ємності випливає, що їх ємність є фіксованою й у процесі експлуатації не регулюється.

Конденсатори змінної ємності допускають зміну ємності в процесі функціонування апаратури. Керування ємністю може здійснюватися механічно, електричною напругою (вариконди) і температурою (термоконденсатори). Їх застосовують для плавної настройки коливальних контурів, у колах автоматики й ін.

Ємність підлаштовувальних конденсаторів змінюється при разовому або періодичному регулюванні й не змінюється в процесі функціонування апаратури. Їх використовують для підлаштовування й вирівнювання початкових ємностей контурів, що сполучаються, для періодичного підстроювання й регулювання кіл схем, де потрібна незначна зміна ємності.

Залежно від способу монтажу конденсатори можуть виконуватися для друкованого й для начіпного монтажу, а також для сполучення з ними. Виводи конденсаторів для начіпного монтажу можуть бути тверді або м'які, аксіальні або радіальні, із дроту круглого перетину або стрічки, у вигляді пелюсток, з кабельним уведенням, у вигляді прохідних шпильок, опорних гвинтів. У конденсаторів для мікросхем і мікромодулів, а також НВЧ-конденсаторів в якості виводів можуть використовуватися частини їх поверхні (безвивідні конденсатори). У більшості типів оксидних, а також прохідних і опорних конденсаторів одна з обкладок з'єднується з корпусом, який служить другим виводом.

За характером захисту від зовнішніх впливів конденсатори виконуються: незахищеними, захищеними, неізолюваними, ізолюваними, ущільненими й герметизованими.

Незахищені конденсатори допускають експлуатацію в умовах підвищеної вологості тільки в складі герметизованої апаратури. Захищені конденсатори допускають експлуатацію в апаратурі будь-якого конструктивного виконання.

Неізолювані конденсатори (з покриттям або без покриття) не допускають торкання своїм корпусом шасі апаратури. Навпаки, ізолювані конденсатори мають досить гарне ізоляційне покриття (компаунди, пластмаси) і допускають торкання корпусом шасі або струмоведучих частин апаратури.

Герметизовані конденсатори мають герметичну конструкцію корпусу. Герметизація здійснюється за допомогою керамічних і металевих корпусів або скляних колб.

По виду діелектрика також можна розділити конденсатори з органічним, неорганічним, газоподібним і оксидним діелектриком, який є також неорганічним, але в силу особливої специфіки характеристик виділений в окрему групу.

Система умовних позначок.

Позначення конденсаторів для радіоелектронних обладнань проводиться відповідно до ГОСТ 11.074.008-78 и ГОСТ 11076-69 (ст. СЕВ 1810-79). Умовне позначення конденсаторів може бути скороченим і повним. Скорочене позначення, що дозволяє визначити, до якого типу відноситься конкретний конденсатор, містить три елементи. Перший елемент (одна або дві букви) позначає підклас конденсатора:

К – конденсатор постійної ємності; КТ – конденсатор підлаштовувальний; КП – конденсатор змінної ємності; КН – нелінійний; КС – конденсаторні збірки. Другий елемент – число, що позначає групу конденсаторів (табл. 1.4).

Третій елемент – порядковий номер розробки конкретного типу конденсатора.

До складу другого й третього елементів в окремих випадках може входити також буквене позначення.

Таблиця 1.4. Умовне позначення груп конденсаторів

| Підклас конденсаторів | Група конденсаторів | Позначення групи |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| Конденсатори постійної ємності | Керамічні на номінальну напругу нижче 1600 В | 10 |
| | Керамічні на номінальну напругу 1600 В і вище | 15 |
| | Скляні | 21 |
| | Склокерамічні | 22 |
| | Тонкоплівкові | 26 |
| | Слюдяні малої потужності | 31 |
| | Слюдяні великої потужності | 32 |
| | Паперові на номінальну напругу нижче 2 кВ фольгові | 40 |
| | Паперові на номінальну напругу 2 кВ і вище фольгові | 41 |
| | Паперові металізовані | 42 |
| | Оксидно-електричні алюмінієві | 50 |
| | Оксидно-електролітичні танталові, інобійові й ін. | 51 |
| | Об'ємно пористі | 52 |
| | Оксидно-напівпровідникові | 53 |
| | З подвійним електричним шаром (іоністори) | 58 |
| | Повітряні | 60 |
| | Вакуумні | 61 |
| | Полістирольні | 71 |
| Фторопластові | 72 | |
| Поліетилентерефталатні | 73 | |

| | | |
|-------------------------------|-----------------------------|----|
| | Комбіновані | 75 |
| | Лакоплівкові | 76 |
| | Полікарбонатні | 77 |
| | Поліпропіленові | 78 |
| Підлаштовувальні конденсатори | Вакуумні | 1 |
| | Повітряні | 2 |
| | З газоподібним діелектриком | 3 |
| | Із твердим діелектриком | 4 |
| Конденсатори змінної ємності | Вакуумні | 1 |
| | Повітряні | 2 |
| | З газоподібним діелектриком | 3 |
| | Із твердим діелектриком | 4 |
| Нелінійні конденсатори | Варіконди | 1 |
| | Термоконденсатори | 2 |
| Конденсаторні складання | — | — |

Для старих типів конденсаторів в основу умовних позначок бралися конструктивні, технологічні, експлуатаційні й інші ознаки (наприклад: КД – конденсатори дискові; ФТ – фторопластові теплостійкі; КТП – конденсатори трубчасті прохідні).

Повне умовне позначення встановлюють у документі на поставку конденсаторів, і воно повинно складатися з наступних елементів:

Перший елемент – позначення підкласу й групи.

Другий елемент – позначення основних параметрів і характеристик у наступній послідовності: конструктивне виконання, номінальна напруга, номінальна ємність відхилення ємності, що допускається, група й клас по температурній стабільності ємності, номінальна реактивна потужність.

Третій елемент – позначення кліматичного виконання.

Четвертий елемент – позначення документа на поставку.

Приклад. Повна умовна позначка комбінованого конденсатора постійної ємності (К75) з порядковим номером розробки 10 на номінальну напругу 250 В, номінальною ємністю 0,47 мкФ, допустимим відхиленням $\pm 5\%$, всекліматичного виконання (В), що поставляється за ТУ: К75-10-250В – 0,47 мкФ $\pm 5\%$ – В...ТУ.

Маркування конденсаторів може бути цифрове, що містить скорочене позначення конденсатора (його тип), номінальну напругу, ємність, допустиме відхилення ємності від номінальної у відсотках, групу ТКЄ, місяць і рік випуску (також може бути марка заводу-виготовлювача), або кольорова. Буквено-цифрове маркування проводиться на конденсаторах досить великого розміру.

Якщо конденсатор певного типу випускається тільки одного класу точності, то допуск не маркують. Групу ТКЄ вказують на слюдяних конденсаторах і деяких інших типах конденсаторів. Для маркування конденсаторів застосовуються позначення, що встановлені ГОСТ 11076-69 (СТ СЕВ 1810-79). Залежно від розмірів конденсатора застосовуються повні або скорочені (кодовані) позначення. Незахищені конденсатори не маркуються, а їх характеристики зазначені на упаковці.

Повне позначення номінальних ємностей складається із цифрового

значення номінальної ємності й позначення одиниці виміру (пФ – пікофаради, мкФ – мікрофаради, Ф – фаради).

Кодоване позначення номінальних ємностей складається із трьох або чотирьох знаків, що включають дві або три цифри й букву. Буква коду позначає множник, що становить значення ємності, і визначає положення коми десяткової дробі. Номінальну ємність від 0 до 999 пФ виражають у пікофарадах, з позначенням одиниці виміру буквою *p*; від 1000 до 999999 пФ – у нанофарадах, з позначенням буквою *n* (1 нФ = 1000 пФ); від 1 до 999 – у мікрофарадах, з позначенням μ (1 мкФ = 1000 нф); від 1000 до 999999 мкФ - у міліфарадах, з позначенням *m* (1 мФ = 1000 мкФ), а більше ніж це значення – у фарадах, з позначенням буквою *F*, і т.д. Наприклад, 150 пФ – 150*p*, або *n*15; 2,2 мкФ – 2*\mu*2.

Допустиме відхилення ємності у відсотках від номінального значення вказують тими ж буквами, що й допуски на опір (табл. 1.5). Відхилення в значеннях параметра, прийняте для конденсаторів малої ємності, позначають *B* ($\pm 0,1$ пФ), *C* ($\pm 0,25$ пФ), *D* ($\pm 0,5$ пФ), *F* (± 1 пФ).

Таблиця 1.5. Допустимі відхилення ємності від номінального значення і їх кодоване позначення

| Допустиме відхилення % | Код | Допустиме відхилення % | Код | Допустиме відхилення % | Код |
|------------------------|--------------|------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| $\pm 0,001$ | <i>E</i> – | ± 1 | <i>F</i> (P) | $-20\dots+50$ | <i>S</i> (B) |
| $\pm 0,002$ | <i>L</i> – | ± 2 | <i>G</i> (Л) | $-20\dots+80$ | <i>Z</i> (A) |
| $\pm 0,005$ | <i>R</i> – | ± 5 | <i>J</i> (I) | +100 | – (Я) |
| $\pm 0,01$ | <i>P</i> – | ± 10 | <i>K</i> (C) | | |
| $\pm 0,02$ | <i>U</i> – | ± 20 | <i>M</i> (B) | Допустиме відхилення, пФ | Код |
| $\pm 0,05$ | <i>X</i> – | ± 30 | <i>N</i> (Ф) | $\pm 0,1$ | <i>B</i> |
| $\pm 0,1$ | <i>B</i> (Ж) | $-10\dots+30$ | — | $\pm 0,25$ | <i>C</i> |
| $\pm 0,25$ | <i>C</i> (У) | $-10\dots+50$ | <i>T</i> (O) | $\pm 0,5$ | <i>D</i> |
| $\pm 0,5$ | <i>D</i> (Д) | $-10\dots+100$ | <i>Y</i> (Ю) | ± 1 | <i>F</i> |

Після букви допустимого відхилення ємності в маркуванні конденсатора може бути присутній буквенний код групи за температурним коефіцієнтом ємності ТКЄ і (або) номінальної напруги (табл. 1.6).

Таблиця 1.6. Номінальні напруги і їх кодовані позначення

| Номінальна напруга, В | Код | Номінальна напруга, В | Код | Номінальна напруга, В | Код |
|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
| 1,0 | <i>I</i> | 25 | <i>G</i> | 200 | <i>Z</i> |
| 1,6 | <i>P</i> | 32 | <i>H</i> | 250 | <i>W</i> |
| 2,5 | <i>M</i> | 40 | <i>S</i> | 315 | <i>X</i> |
| 3,2 | <i>A</i> | 50 | <i>J</i> | 350 | <i>T</i> |
| 4,0 | <i>C</i> | 63 | <i>K</i> | 400 | <i>Y</i> |
| 6,3 | <i>B</i> | 80 | <i>L</i> | 450 | <i>U</i> |
| 10 | <i>D</i> | 100 | <i>N</i> | 500 | <i>V</i> |
| 16 | <i>E</i> | 125 | <i>P</i> | — | — |
| 20 | <i>F</i> | 160 | <i>Q</i> | — | — |

Таким чином, скорочене буквено-цифрове маркування на конденсаторі 33 *pKL* позначає номінальну ємність 33 пФ із допустимим відхиленням $\pm 10\%$ і температурною нестабільністю групи M75 ($75 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) Надпис *m10SF* позначає 100 мкФ з допуском 20...50 % на 20 В.

Комутаційні пристрої з магнітним управлінням

Комутаційні пристрої (КП) являють собою вироби РЕА, що мають властивість замикати (розмикати) електричні кола за рахунок зміни електричного опору контактів. У замкненому стані контакти мають дуже малий опір (близько до нуля), у розімкненому – великий (десятки – сотні МОм).

КП призначено для замикання (розмикання) електричних кіл в пристроях автоматики й телемеханіки, сигналізації, контролю й захисту, розподілу енергії, у системах зв'язку й передачі інформації, у побутовій радіоапаратурі й в інших численних системах і обладнаннях.

КП можна розділити на два класи: з магнітним і механічним управлінням. До КП з магнітним управлінням відносяться електромагнітні реле й магнітокеровані герметичні контакти (геркони). До КП з механічним управлінням віднесено мікроперемикачі й комутаційні вироби з ручним управлінням. До КП з ручним управлінням відносяться кнопки й перемикачі.

Загальними параметрами КП є: чутливість (мінімальна величина енергії, при якій відбувається стрибкоподібна зміна опору контактів); час спрацьовування; потужність, що комутується, напруга й струм; електричний опір контактів; максимальне число комутацій; діапазон зовнішніх умов (температура, вологість, тиск); маса, габаритні розміри й ін.

Електромагнітними реле (ЕМР) називаються елементи РЕА, які призначено для стрибкоподібного керування електричними колами.

ЕМР складаються із трьох основних частин: електромагніту (катушки із сердечником), електричного поля, що перетворює енергію, в енергію магнітного поля; якоря із протидіючою пружиною для перетворення енергії магнітного поля в механічну енергію переміщення якоря й рухливих контактів; електричних контактів, що здійснюють вмикання (вимикання) електричних кіл.

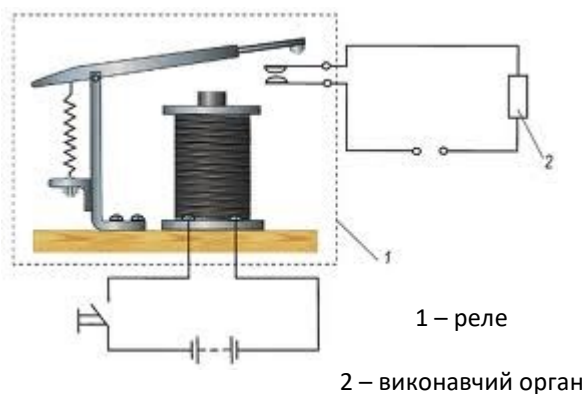


Рис.1.5. Конструкція електромагнітного реле

Основними параметрами ЕМР є:

- струм (напруга) спрацьовування $I_{\text{ср}} (U_{\text{ср}})$ – мінімальний струм (напруга), поданий в котушку ЕМР, при якому відбувається замикання (розмикання) його контактів;

- струм (напруга) відпускання $I_{\text{відп}} (U_{\text{відп}})$ – максимальний струм (напруга) в котушці ЕМР, при якому відбувається повернення контактів у вихідне положення. Струм (напруга) відпускання менше струму (напруги) спрацьовування;

- робочий струм (напруга) $I_{\text{роб}} (U_{\text{роб}})$ – струм (напруга) в обмотці реле, при якому відбувається надійне утримання контактів після спрацьовування при зміні умов експлуатації в заданих межах. Робочий струм (напруга) більше струму (напруги) спрацьовування;

- час спрацювання $t_{\text{ср}}$ – проміжок часу від моменту подачі напруги на обмотку реле до першого торкання замикаючим контактом нерухомого контакту;

- час відпускання $t_{\text{відп}}$ – проміжок часу від моменту зняття напруги з обмотки реле до моменту повного відпадання якоря електромагніту і першого торкання (замикання) спорогенезу контакту;

- опір обмотки реле постійного струму $R_{\text{обм}}$;

- опір електричних контактів $R_{\text{к}}$;

- максимальна потужність комутації;

- діапазон комутуваних струмів;

- діапазон комутуваних напруг;

- діапазон частот комутуваних напруг ΔF ;

- максимальне число комутацій;

- час безперервного перебування обмотки реле під струмом;

- інтервал температур, атмосферного тиску, відносна вологість;

- віброміцність і вібростійкість – здатність реле витримувати вібрації в певному діапазоні частот з певною амплітудою і прискоренням;

- ударна міцність – здатність реле витримувати поодинокі і багаторазові удари з певним прискоренням;

- термін служби і зберігання.

Класифікація реле здійснюється за призначенням, потужністю управління, за часом спрацьовування та іншими ознаками.

За призначенням розрізняють: пускове реле, яке включається зазвичай з пультів управління за допомогою кнопок; максимальне реле, призначене для відключення керованого кола при перевищенні напруги (струму) в цьому колі більше заданого значення; мінімальне реле, яке призначене для відключення керованого кола при зменшенні напруги (струму) в цьому колі нижче заданого значення; реле часу, призначене для створення необхідної витримки часу, після закінчення якої має відбуватися включення (виключення) керованого кола.

За потужністю комутації розрізняють реле:

- малої потужності – $P < 1$ Вт;

- середньої потужності – $P = 1 \dots 10$ Вт;

- великої потужності – $P > 10$ Вт.

За часом спрацьовування класифікація реле наступна:

- безінерційне – $t_{cp} < 1$ мс;
- швидкодіюче – $t_{cp} = 5...50$ мс;
- нормальне – $t_{cp} = 50...150$ мс;
- уповільнене – $t_{cp} = 150...1000$ мс.

За принципом дії розрізняють реле постійного струму, спрацьовання якого не залежить від напрямку струму в обмотці, і поляризоване реле, для спрацьовування якого струм через обмотку повинен протікати в певному напрямку.

Реле постійного струму двопозиційні. Поляризовані реле можуть бути як двопозиційними, так і трипозиційними. У деяких двопозиційних поляризованих реле рухливий контакт після зняття напруги з обмотки може залишитися в байдужому стані, у інших – в певному положенні. У трьохпозиційних поляризованих реле рухливий контакт після зняття напруги з обмотки залишається в нейтральному положенні.

Реле може бути одностабільним і двостабільним. Одностабільне реле, змінивши свій стан після подачі напруги на обмотку, повертається в попереднє положення при знятті напруги. Двостабільне реле, змінивши свій стан після відключення напруги, не повертається в попереднє положення.

За кількістю обмоток розрізняють реле з однією, двома або більшою кількістю обмоток.

За кількістю контактів і контактних груп розрізняють реле з однією, двома або більшою кількістю груп.

За видом контактів реле класифікують наступним чином: з замикаючими, розмикаючими і перемикаючими контактами, а також з поєднанням розмикаючих, замикаючих і перемикаючих контактів.

Конструктивне виконання реле може бути наступним: завальцоване, герметичне, негерметичне, відкрите, заохлене, пилоблизкозахищене, з герметизованими контактами, герконове (з герметичними контактами).

До малогабаритних реле відносяться реле, які пристосовані для кріплення на друкованих платах, що мають малу вагу і габарити. У довідник включені реле, у яких геометричні розміри не перевищують 50 мм, робоча напруга менш 60 В і маса менше 100 г.

Параметри реле вказуються в паспорті. Номери паспортів включають декілька груп знаків (букв і цифр). Перша група включає набір букв або букв і цифр (наприклад, РФО, РС4, КЩ4, ДЛТ4 і ін.), Друга і третя групи включають тризначне число. Приклад паспорта реле – РС4.590.059. У деяких реле є четверта група знаків, що складається з двох цифр (наприклад, РС4.590.059-01).

Кожен тип реле має ряд типоміналів, що відрізняються один від одного електричними параметрами. Що стосується умов експлуатації, конструктивного виконання і маси, то у одного і того ж типу реле вони однакові. Способи кріплення реле одного і того ж типу можуть бути різними.

На корпусі реле вказується тип реле, номер паспорта, рік виготовлення, схема контактної групи.

Хід роботи

1. Розділити компоненти на групи за зовнішніми ознаками.
2. Для постійних резисторів, використовуючи довідник, визначити номінальний опір, допуск, потужність розсіювання, ТКО, гранична робоча напруга, область застосування. Використовуючи омметр виміряти реальний опір, визначити чи знаходиться отримане значення в межах зазначеного допуску.
3. Для конденсаторів, за допомогою довідника, визначити тип, номінальну ємність, допуск, гранична робоча напруга, ТКЄ.
4. Для електромагнітних реле визначити тип, схему підключення, опір обмотки, робочу напругу (струм), напругу (струм) спрацьовування, час спрацьовування, опір замкнутих контактів. За допомогою омметра перевірити опір обмотки.
5. Для змінних резисторів визначити тип, номінальний опір, потужність розсіювання, граничну робочу напругу, ТКО, рівень шуму переміщення, зносостійкість. Використовуючи омметр і градусовану шкалу визначити залежність опору від кута повороту рухомого механізму, дані занести в табл.1.7. За отриманими результатами побудувати залежність $r' = f(\alpha')$ для кожного резистора і визначити тип функціональної характеристики.

$$r' = \frac{R}{R_{\Pi}} \cdot 100\%,$$

де R – опір резистора, який відповідає визначеному положенню движка;
 R_{Π} – повний опір резистора.

$$\alpha' = \frac{\alpha}{\alpha_{\Pi}} \cdot 100\%,$$

де α – кут повороту движка резистора;
 α_{Π} – кут, що відповідає повному опору резистора.

Таблиця 1.7. Для зняття функціональної характеристики змінного резистора

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\alpha, ^\circ$ | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| $R, \text{Ом}$ | | | | | | | | | | | | |

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

Фільтр – це пристрій, що дозволяє обмежити частотний спектр сигналу або виділити сигнали в межах певної смуги частот (смуги пропускання). Кожний фільтр характеризується *частотою зрізу*, яка вимірюється за умови, що потужність вихідного сигналу фільтра зменшилася на -3 дБ (або 50%) у порівнянні з потужністю вхідного сигналу (рис. 2.1). Тому *частоту зрізу* називають *частотою половинної потужності*.

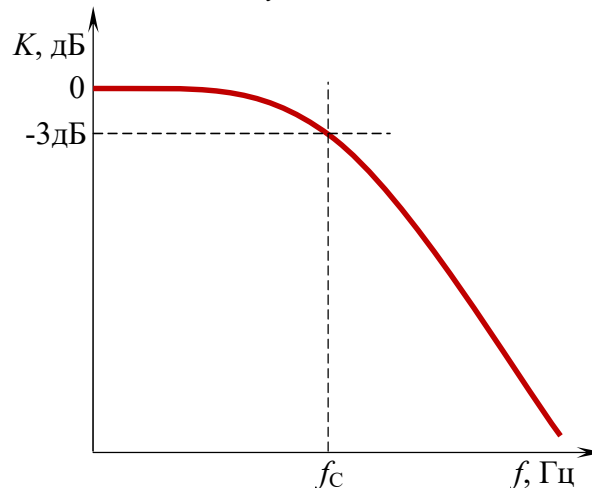


Рис. 2.1. Визначення частоти зрізу на амплітудно-частотній характеристиці

Ідеальні фільтри не послабляють сигнал у смугі пропускання і повністю виключають проходження сигналу в смугі затримки, маючи нескінченно велику крутизну амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) на частоті зрізу.

Аналогічні параметри реальних фільтрів кінцеві й залежать як від застосовуваних елементів схеми, так і від схемотехнічних рішень.

По розташуванню смуги пропускання в частотному спектрі фільтри бувають: фільтри нижніх частот (ФНЧ), фільтри верхніх частот (ФВЧ), смугові фільтри (СФ) фільтри, що загороджують (ЗФ), гребінчасті фільтри (ГФ) або богатосмугові.

Ідеальний *фільтр нижніх частот* має нульовий коефіцієнт передачі на частотах вище частоти зрізу, на частотах нижче частоти зрізу пропускає сигнал без ослаблення (рис. 2.2).

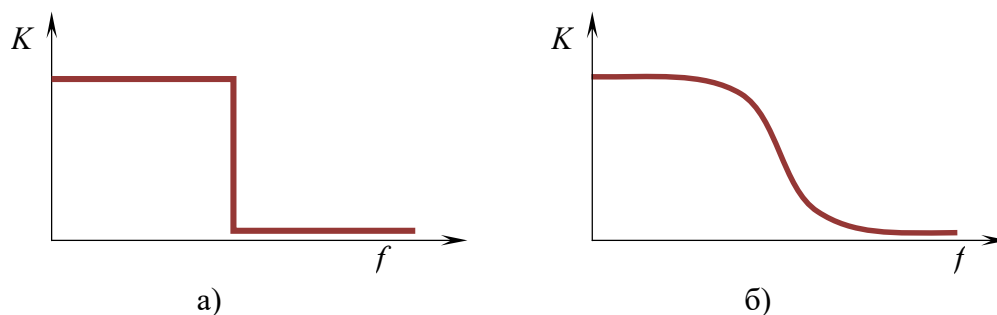


Рис. 2.2. Амплітудно-частотна характеристика ФНЧ:
а) ідеального, б) реального

Ідеальний *фільтр верхніх частот* не впливає на амплітуди сигналів, що мають частоту вище частоти зрізу, і не пропускає більш низькочастотні сигнали, ніж частота зрізу (рис. 2.3).

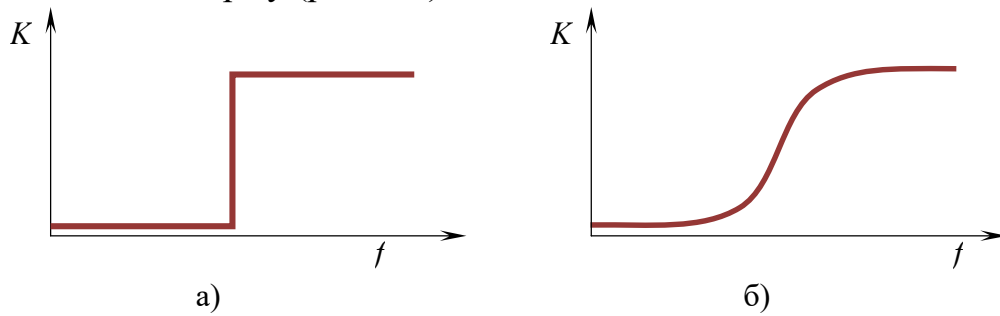


Рис. 2.3. Амплітудно-частотна характеристика ФВЧ:
а) ідеального, б) реального

Ідеальний *смугопронускаючий фільтр* (смуговий) не послабляє сигнали, частота яких знаходиться в інтервалі між його нижньою і верхньою частотами зрізу. Для інших частот його коефіцієнт передачі дорівнює нулю (рис. 2.4).

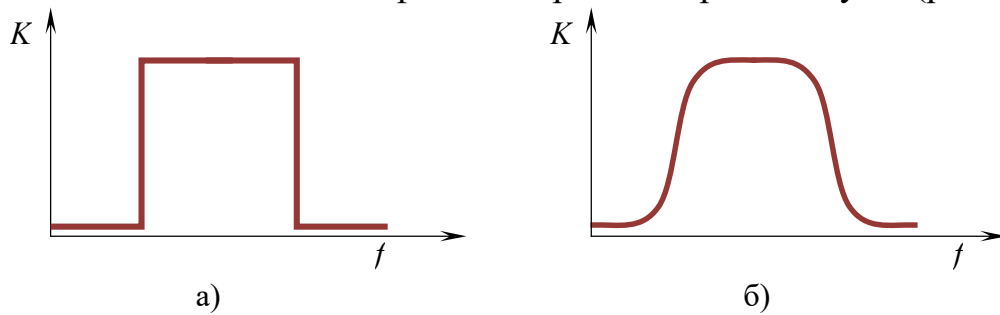


Рис. 2.4. Амплітудно-частотна характеристика смугового фільтра:
а) ідеального, б) реального

Ідеальний *смугозагороджувальний фільтр* (режекторний) має коефіцієнт передачі, що дорівнює нулю, для частот, що лежать в інтервалі між його нижньою й верхньою частотами зрізу. Сигнали всіх інших частот він пропускає без ослаблення (рис. 2.5).

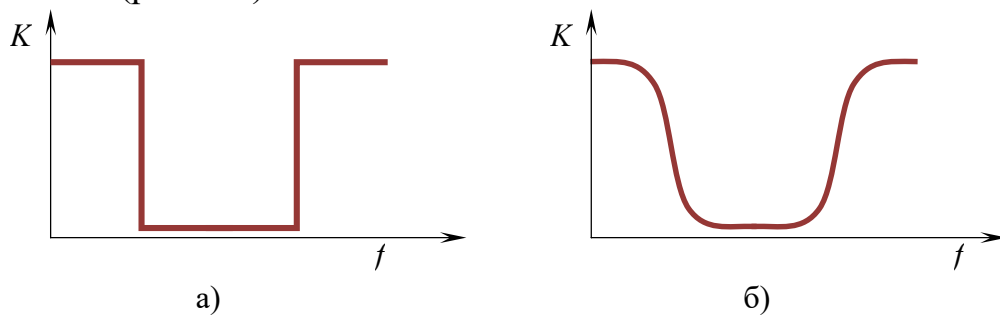


Рис. 2.5. Амплітудно-частотна характеристика режекторного фільтра:
а) ідеального, б) реального

За типом застосовуваної елементної бази розрізняють пасивні й активні фільтри.

Пасивні фільтри реалізуються на основі пасивних елементів – резисторів, конденсаторів і котушок індуктивності. Такі фільтри прості в реалізації, не вимагають джерел живлення елементів фільтрів, реалізуються в широкому діапазоні частот (від інфразвукових частот до ультракороткохвильового діапазону

радіочастот), мають більший динамічний діапазон.

В *активних фільтрах* присутній один або кілька активних компонентів (транзистор або операційний підсилювач). Активні фільтри здатні підсилювати сигнали, що проходять через них, по потужності за рахунок енергії зовнішнього джерела.

По типу передатної функції фільтри бувають *лінійні й нелінійні*.

По типу імпульсної характеристики фільтри бувають із *нескінченною* (рекурсивний фільтр) і з *кінцевою* (нерекурсивний фільтр) характеристикою.

Однією з основних величин, що фігурують в аналізі фільтрів сигналів, є дБ.

Децибел – логарифмічна одиниця рівнів, загасань і посилень.

Децибел – це безрозмірна одиниця, що застосовується для виміру відносини фізичних величин другого порядку (енергетичних: потужність, енергія) і першого порядку (напруга, сила струму). Іншими словами, децибел – це відносна величина, що призначена для виміру відношення двох інших величин, причому до отриманого відношення застосовується логарифмічний масштаб.

Спочатку дБ використовувався для оцінки відношення потужностей, і в канонічному, звичному змісті величина, що виражена в дБ, припускає логарифм відношення двох *потужностей* і обчислюється за формулою:

$$\text{дБ} = 10 \lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}},$$

де $P_{\text{вих}}$ – вимірювана потужність на виході пристрою (підсилювача, фільтра);

$P_{\text{вх}}$ – потужність на вході пристрою (опорна потужність).

Відповідно, перехід від дБ до відношення потужностей здійснюється за формулою:

$$\frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = 10^{0,1 \cdot \text{дБ}},$$

а потужність $P_{\text{вих}}$ може бути знайдена при відомій опорній потужності $P_{\text{вх}}$ за виразом:

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} \cdot 10^{0,1 \cdot \text{дБ}}$$

Неенергетичні величини повинні бути перетворені в енергетичні. Так, згідно із законом Джоуля-Ленца $P = U^2/R$ або $P = I \cdot R$. Відповідно

$$\text{дБ} = 10 \lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg \frac{U_{\text{вих}}^2 R_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}^2 R_{\text{вих}}}.$$

В досить розповсюдженому, випадку, якщо обидві напруги $U_{\text{вих}}$ і $U_{\text{вх}}$ вимірювалися при тому самому опорі ($R_{\text{вих}} = R_{\text{вх}}$) або співвідношення опорів по тій або іншій причині не важливе, можна користуватися короткими виразами для струму й напруги

$$\text{дБ} = 20 \lg \frac{I_{\text{вих}}}{I_{\text{вх}}},$$

$$\text{дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Пасивні фільтри

При реалізації пасивних фільтрів слід урахувувати, що на їхніх елементах розсіюється енергія сигналу. Тому необхідно враховувати ослаблення корисного сигналу в смузі пропускання пасивного фільтра, яке збільшується при збільшенні числа ланок фільтра. При цьому ослаблення корисного сигналу в смузі пропускання більше у фільтрів, реалізованих на резисторах і конденсаторах, ніж у фільтрів, реалізованих на котушках індуктивності й конденсаторах. Тому багатоланкові пасивні фільтри реалізують в основному на котушках індуктивності й конденсаторах.

Структури схем фільтрів

По своїй структурі схеми фільтрів підрозділяються на фільтри Г-, Т- і П-структур. Найпростішим фільтром є Г-образний (рис. 2.6). Модель фільтра при цьому складається із двох схемних елементів Z_1 і Z_2 . Параметр Z позначає опір схемного елемента фільтра сигнальним струмом.

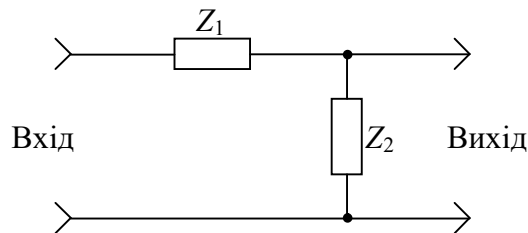


Рис. 2.6. Модель Г-образного фільтра

Перехід до інших структур фільтрів здійснюється за рахунок додавання в схему Г-образного фільтра додаткового елемента.

Модель Т-образного фільтра складається із трьох схемних елементів: двох елементів $Z_1/2$, і одного елемента Z_2 (рис. 2.7).

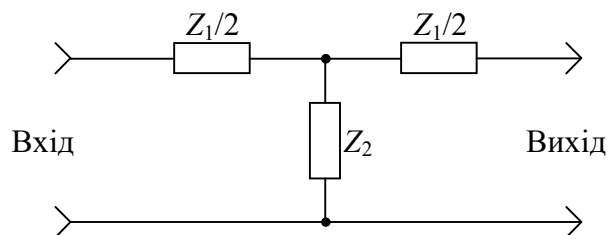


Рис. 2.7. Модель Т-образного фільтра

При зміні схеми їх з'єднання можна одержати модель фільтра П-структури (рис. 2.8). Модель П-образного фільтра складається із трьох схемних елементів: одного елемента Z_1 і двох елементів $2Z_2$.

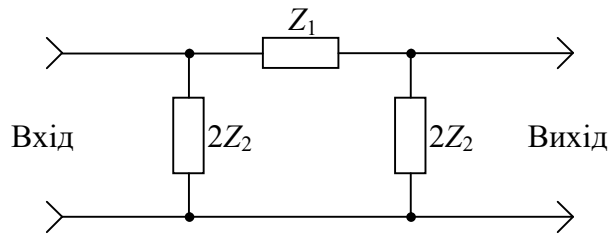


Рис. 2.8. Модель П-образного фільтра

Одна з відмінностей фільтрів Т- і П- структур полягає в характері їх вхідних і вихідних опорів і залежності їх від частоти, що необхідно враховувати при проектуванні конкретних електронних пристроїв.

Відзначені типи фільтрів можуть застосовуватися як у вигляді первинної, простої структури, так і у вигляді кола, складеного з декількох простих структур, кількість яких залежить від необхідної селективності фільтра.

Фільтри на основі резисторів і конденсаторів

Фільтри, що побудовані на основі резисторів (R) і конденсаторів (C) умовно називають RC -фільтрами. Вони мають порівняно невисоку селективність через використання у своєму складі тільки одного елемента, опір якого залежить від частоти сигнальних струмів – конденсатора. У той же час RC -фільтри прості в реалізації, мають малі габарити та є дешевими. Це дозволяє використовувати їх у багатьох випадках, коли не потрібна висока селективність і сигнал має досить велику енергію, тому що необхідно враховувати втрати на активному опорі резистора.

Застосовують RC -фільтри в основному в діапазонах інфразвукових і звукових частот, іноді й на більш високих частотах. У малопотужних джерелах живлення електронної апаратури їх використовують для фільтрації випрямленої напруги. У підсилювачах вони застосовуються в колах міжкаскадних зв'язків, у колах корекції амплітудно-частотної характеристики. В цих же діапазонах частот RC -фільтри використовують у системах управління для фільтрації сигналів від датчиків стану об'єктів управління.

RC-фільтри нижніх частот

Для реалізації RC -фільтрів нижніх частот у якості Z_1 використовують резистор R , а в якості Z_2 використовують конденсатор C (рис. 2.6). Частота зрізу для фільтра розраховується за формулою:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (2.1)$$

Для ФНЧ Г-структури номінальні величини параметрів резистора й конденсатора виходять безпосередньо з формули. При реалізації ФНЧ Т- і П-структур, номінальні величини параметрів резисторів і конденсаторів у схемі визначають, враховуючи коефіцієнти номінальних величин схемних елементів щодо вихідної Г-структури.

RC-фільтри верхніх частот

Для реалізації *RC*-фільтрів верхніх частот у якості Z_1 використовують конденсатор C , а в якості Z_2 використовують резистор R (рис. 2.6). Частота зрізу при цьому розраховується по формулі (1). Визначення номінальних величин параметрів резисторів і конденсаторів для ФВЧ різних структур проводиться аналогічно ФНЧ. Тобто при реалізації ФВЧ Т- і П-структур, номінальні величини параметрів резисторів і конденсаторів у схемі визначають, враховуючи коефіцієнти номінальних величин схемних елементів щодо вихідної Г-структури.

Фільтри на основі котушок індуктивності й конденсаторів

Фільтри, що побудовані на основі котушок індуктивності й конденсаторів умовно називають *LC*-фільтрами. Вони мають більш високу селективність в порівнянні з *RC*-фільтрами через використання у своєму складі двох елементів, опір яких залежить від частоти сигнальних струмів – конденсатора й котушки індуктивності. *LC*-фільтри мають менше загасання в смузі пропускання й більше загасання у смузі затримки в порівнянні з *RC*-фільтрами.

Застосовують *LC*-фільтри, в основному, в ультразвуковому й радіочастотному діапазонах, у яких вони мають прийнятні габарити. Хоча в тих випадках, коли *RC*-фільтри не забезпечують необхідною селективністю, *LC*-фільтри використовують і в діапазоні звукових частот.

Частотна вибірковість (селективність) *LC*-фільтрів дозволяє з їхньою допомогою вирішувати проблеми частотного поділу каналів у багатоканальних системах зв'язку. Це необхідно, зокрема, для реалізації частотного ущільнення каналів зв'язку при здійсненні телекерування складними територіально-розподіленими технологічними об'єктами. При використанні телекерування по каналах радіозв'язку *LC*-фільтри дозволяють забезпечити необхідну завадостійкість.

При реалізації *LC*-фільтрів слід враховувати їхні деякі специфічні особливості. Це більш висока трудомісткість виготовлення і більша вартість котушок індуктивності в порівнянні з резисторами й конденсаторами. До того ж *LC*-фільтри, що використовують котушки індуктивності з феромагнітними сердечниками мають менший динамічний діапазон через свою нелінійність. Для виключення паразитних зв'язків і наведень котушки індуктивності фільтрів необхідно екранувати.

Для *LC*-фільтрів типу К послідовні й паралельні плечі (рис. 2.6) є зворотними двополосниками й для них

$$Z_0^2 = Z_1 Z_2. \quad (2.2)$$

Параметр

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2}, \quad (2.3)$$

має розмірність опору, називається характеристичним опором фільтра і є для такого типу фільтра постійною величиною.

При підстановці в (2.3) виразів опору котушки індуктивності й конденсатора змінному струму, одержимо

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.4)$$

LC-фільтри нижніх частот

Для реалізації LC-фільтрів нижніх частот у якості Z_1 використовують котушку індуктивності L , а в якості Z_2 використовують конденсатор C (рис. 2.6). Частота зрізу для фільтра розраховується за формулою

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.5)$$

З (2.4) і (2.5) витікає, що індуктивність котушки фільтра

$$L = \frac{Z_0}{\pi \cdot f_c}, \quad (2.6)$$

а ємність конденсатора фільтра

$$C = \frac{1}{\pi \cdot Z_0 \cdot f_c}. \quad (2.7)$$

Для ФНЧ Г-структури номінальні величини індуктивності котушки і ємності конденсатора розраховують безпосередньо по формулах (2.6) і (2.7), з обліком необхідного характеристичного опору (при виконанні справжньої роботи величина характеристичного опору задається).

При реалізації ФНЧ Т- і П-структур, номінальні величини параметрів котушок індуктивності й конденсаторів у схемі визначають, враховуючи коефіцієнти номінальних величин схемних елементів щодо вихідної Г-структури для схеми фільтра відповідної структури (рис. 2.7, рис. 2.8).

LC-фільтри верхніх частот

Для реалізації LC-фільтрів верхніх частот у якості Z_1 використовують конденсатор, а в якості Z_2 використовують котушку індуктивності (рис. 2.6). Частота зрізу для фільтра розраховується за формулою

$$f_3 = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.8)$$

З (2.4) і (2.8) витікає, що індуктивність котушки фільтра

$$L = \frac{Z_0}{4\pi \cdot f_c}, \quad (2.9)$$

а ємність конденсатора фільтра

$$C = \frac{1}{4\pi \cdot Z_0 \cdot f_c}. \quad (2.10)$$

Для ФВЧ Г-структури номінальні величини котушки індуктивності і ємності конденсатора розраховуються по формулах (2.9) і (2.10) з врахуванням необхідного характеристичного опору (при виконанні справжньої роботи величина характеристичного опору задається).

При реалізації ФВЧ Т- і П-структур, номінальні величини параметрів котушок індуктивності й конденсаторів у схемі визначають, враховуючи коефіцієнти номінальних величин схемних елементів щодо вихідної Г-структури. При цьому необхідно враховувати правила визначення параметрів конденсаторів і котушок індуктивності при їхньому послідовному й паралельному з'єднанні для збереження незмінними значення розрахункових параметрів елементів вихідної Г-структури.

Розрахувати параметри RC -фільтру

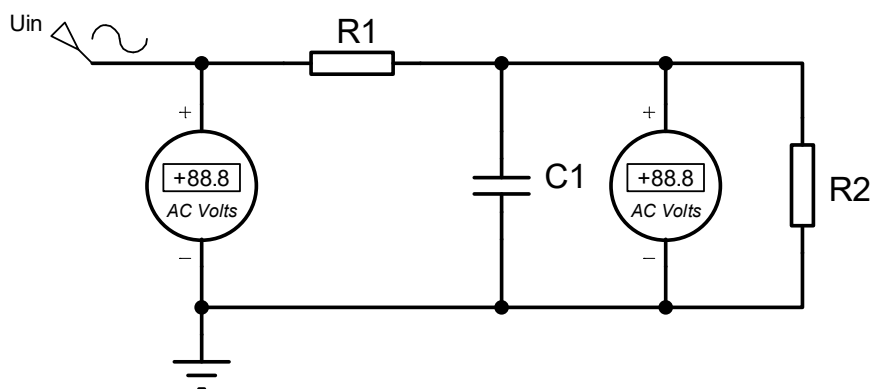


Рис. 2.9. Схема для дослідження властивостей RC -фільтра Г-типу

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРИСТОРІВ

Мета роботи: ознайомитися з принципом роботи варисторів, навчитися на практиці визначати основні експлуатаційні параметри варисторів за експериментальними даними.

Теоретичні відомості

Варистор (англ. *vari(able) (resi)stor* – змінний резистор) – резистор, опір якого залежить від прикладеної до нього напруги. Варистор має нелінійну симетричну вольтамперну характеристику (рис. 3.1).

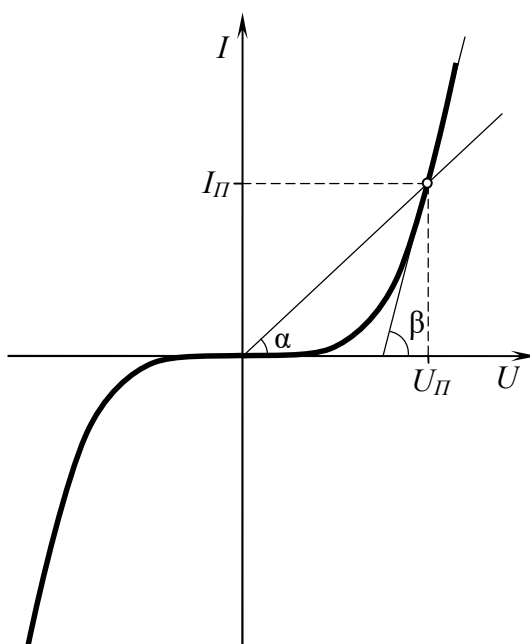


Рис. 3.1. ВАХ варистора

Виготовляють варистори спіканням напівпровідника при температурі близько 1700°C, використовують переважно порошкоподібний карбід кремнію (SiC) або оксид цинку (ZnO) і зв'язувальну речовину (глина, рідке скло, лаки, смоли та ін.). Потім поверхню отриманого елемента металізують і припаюють до неї виводи, для захисту від зовнішніх впливів елемент покривають електроізоляційним лаком.

На рис. 3.2 показано механізм провідності у варисторному елементі в спрощеному вигляді. Гранули оксиду цинку самі по собі мають високу провідність, у той час як оксиди інших металів, якими покриті гранули, мають високий опір. У місцях спікання гранул оксиду цинку утворюються «мікрочаристори» з рівнем захисту близько 3,5 В.

Нелінійність ВАХ варисторів обумовлена локальним розігрівом дотичних граней між численними кристалами напівпровідника. Опір контактних областей при цьому суттєво знижується, що приводить до зменшення загального опору варистора.

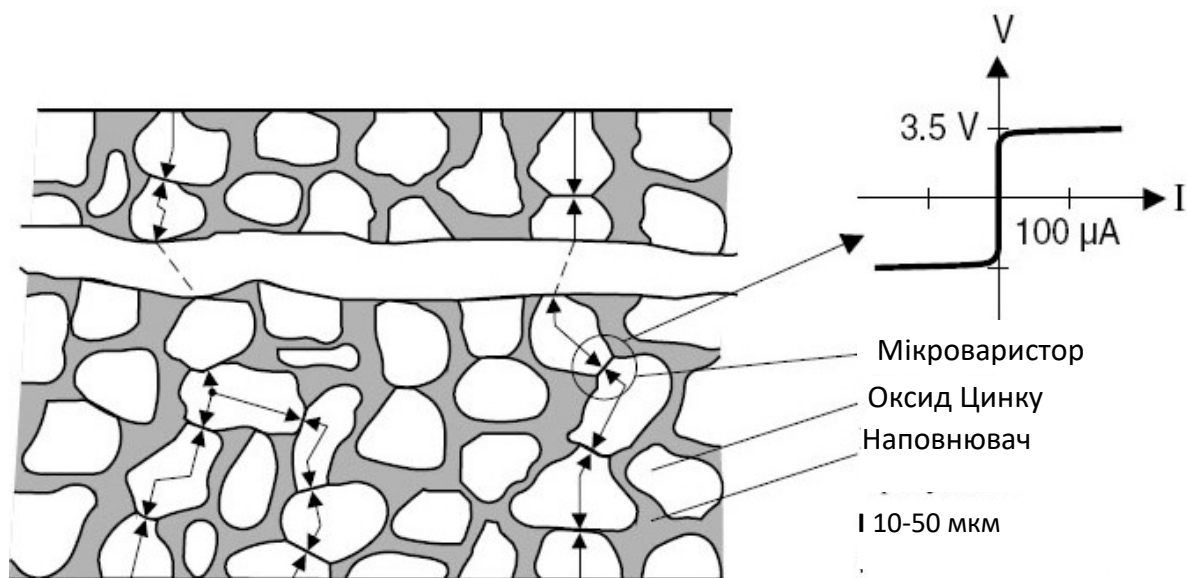


Рис. 3.2. Структура кристала варистора

Як видно з рис. 3.2 металево-оксидний варистор утворюється з безлічі мікрочаристорів, з'єднаних паралельно й послідовно. Звідси випливає, що електричні властивості варистора можна конфігурувати за допомогою фізичних розмірів варистора.

Збільшення товщини варистора у два рази дозволяє вдвічі збільшити максимальну напругу захисту через подвоєння послідовно розташованих мікрочаристорів. Збільшення площі – збільшує максимальний струм через варистор, тому що число гранул, розташованих паралельно, подвоюється. Збільшення обсягу у два рази подвоює енергію, що поглинається, тому що у два рази збільшується кількість гранул, що абсорбують енергію.

Параметри варисторів

Класифікаційна напруга, В – напруга при певному струмі (звичайно при 1 мА). Іноді приводять *коефіцієнт захисту варистора* – відношення напруги на варисторі при струмі 100 А до напруги при струмі 1 мА. Він характеризує здатність варистора обмежувати імпульси перенапруги (для варисторів на основі оксиду цинку коефіцієнт захисту становить 1,4...1,6). Таким чином, при росту напруги в 1,4...1,6 рази струм варистора зростає в 100000 раз.

Робоча напруга (Operating voltage), В (V_{dc} для постійного струму й V_{rms} – для змінного) – максимальна напруга, яка повинна бути прикладена до варистора в робочому режимі, вона може бути перевищена тільки (короткочасним) імпульсом перенапруги (діапазон від декількох В до декількох десятків кВ).

Робочий струм (Operating Current), А – діапазон від 0,1 мА до 1 А.

Максимальний імпульсний струм (Peak Surge Current), А.

Допустима потужність розсіювання (Power Dissipation), Вт – визначає кількість тепла, яке варистор встигає розсіювати, залежить від геометричних розмірів варистора й конструкції виводів.

Енергія абсорбції (поглинання) (Absorption energy), Дж – енергія, що розсіюється варистором при протіканні через нього імпульсу струму заданої амплітуди й тривалості.

Коефіцієнт нелінійності – визначається відношенням статичного опору варистора $r_{ст}$ до його динамічного опору $r_{д}$

$$\lambda = \frac{r_{ст}}{r_{д}} = \frac{U \cdot dI}{I \cdot dU}$$

Статичний і диференціальний опір для заданого режиму роботи, обумовленого положенням робочої точки, можна визначити по ВАХ нелінійного елемента (рис. 3.1).

$$\text{Статичний опір варистора} - r_{ст} = \frac{U_{п}}{I_{п}} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \text{ctg } \alpha;$$

де m_U і m_I – масштаб вісей напруги і струму.

$$\text{Динамічний опір варистора} - r_{д} = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \text{ctg } \beta.$$

Температурні коефіцієнти (статичного опору, напруги, струму) – для всіх типів варисторів не перевищують 0,1%/°С.

Застосування варисторів

Основна область застосування варисторів – це захист схем споживачів від імпульсів перенапруги (імпульсних перешкод і швидких перехідних процесів). Завдяки симетричній ВАХ і високій швидкодії, варистори мають переваги перед обмежувальними діодами й термісторами. При паралельному підключенні до електронного пристрою, що потребує захисту або схеми (рис. 3.3), варистор при перевищенні заданого рівня напруги утворює низькоомний шунт, запобігаючи, таким чином, подальшого зросту напруги.

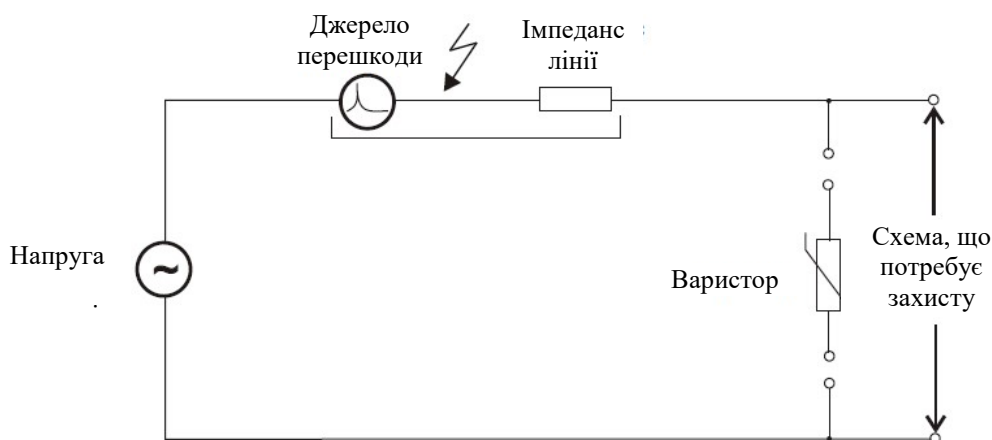


Рис. 3.3. Схема застосування варистора

Вибір конкретного варистора здійснюють за наступними параметрами кола:

- за номінальною (робочою) напругою кола визначають V_{dc} або V_{rms} (з урахуванням допуску напруги мережі, наприклад +10%);
- визначають необхідну потужність, що розсіюється, P_{max} ;
- вибирають максимальну напругу обмеження (величину перенапруги).

Перегрів варистора, за рахунок протікання через нього струму надмірної тривалості, може привести до необоротних змін його ВАХ. Для забезпечення надійного захисту обладнання, коли перешкода проявляється у вигляді частих перепадів напруги великої амплітуди, доцільно застосовувати комбінаційну схему з декількох захисних елементів (рис. 3.4).

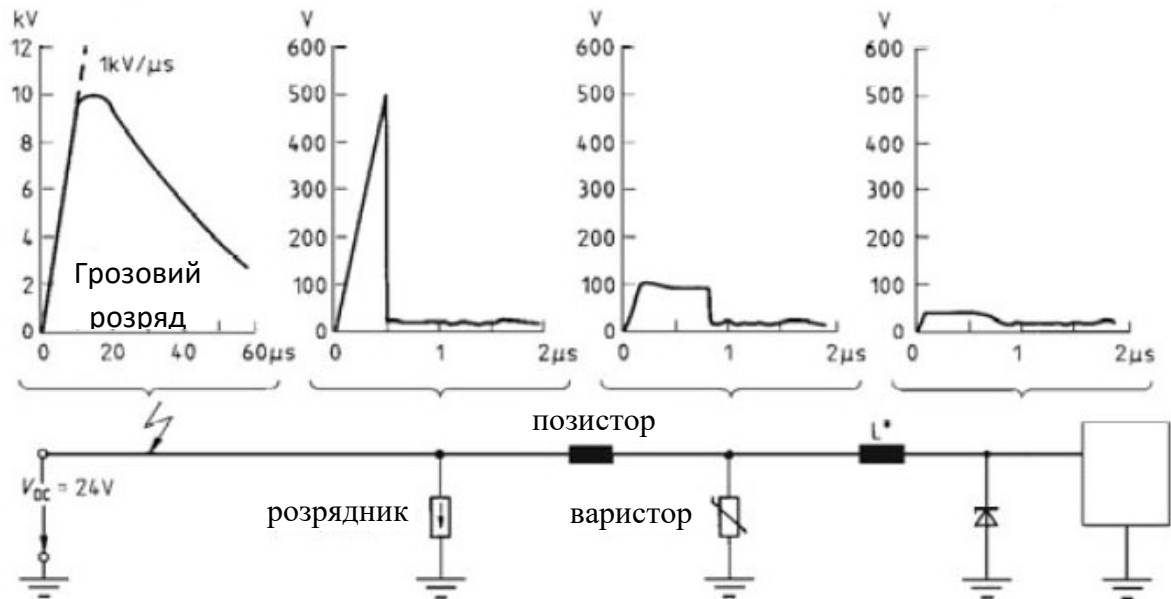


Рис. 3.4. Комбінаційна захисна схема

Деяким недоліком варисторів є велика власна ємність, що обмежує можливість їх застосування на високих частотах. Ємнісний фактор має суттєве значення тільки під час відсутності струму через варистор, оскільки зі збільшенням прикладеної напруги ємність варистора знижується. При максимально допустимому спаданні напруги на варисторі його ємність близька до нуля.

Порядок виконання роботи

1. Дослідження характеристики варистора 14K180:
 - 1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:
 - ручки регуляторів напруги і струму 1 і 2 каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
 - кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» встановити в режим «НЕЗАВИСИМО»;
 - включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
 - з'єднати клеми «+» і «-» 1-го каналу провідником;
 - повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 90°;
 - перемикач індикатору встановити в положення «АМР»;

- ручкою «ТОК» виставити значення 0,1 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатору в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» скинути напругу живлення до 0;
- аналогічним методом налаштувати 2 канал на струм 0,1 А.

1.2 Зібрати схему, яку наведено на рис. 3.5. Пред'явити схему на перевірку викладачеві.

1.3 Поступово збільшуючи напругу живлення варистора фіксувати струм, що протікає. Дані занести в таблицю 3.1.

1.4 Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» скинути напругу живлення до 0.

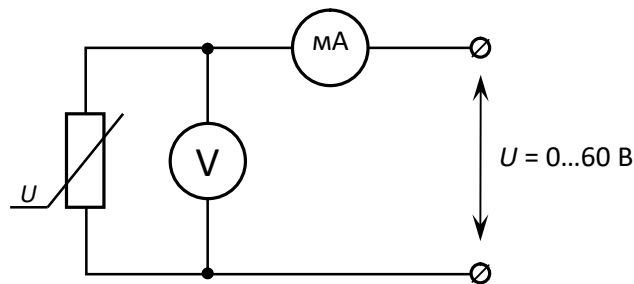


Рис. 3.5. Схема для дослідження характеристик варистора

Таблиця 3.1. Для дослідження характеристик варистора 14К180

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| $I_1, \text{мА}$ | 0,1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| $U, \text{В}$ | | | | | | | | | | |
| $R_1, \text{Ом}$ | | | | | | | | | | |

2. Дослідження характеристики варистора 20К470:

2.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- не змінюючи налаштувань 1 і 2 каналів встановити кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» у режим «ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО».

2.2 Зібрати схему, яку наведено на рис.3.5, убрати живлення з клем «+» 1 каналу й «-» 2 каналу. Пред'явити схему на перевірку викладачеві.

2.3 Поступово збільшуючи напругу живлення варистора фіксувати струм, що протікає. Дані занести в таблицю 3.2.

2.4 Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» скинути напругу живлення до 0.

Таблиця 3.2. Для дослідження характеристик варистора 20К470

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $I_2, \text{мА}$ | 0,1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| $U_2, \text{В}$ | | | | | | | | | | | | |
| $R_2, \text{Ом}$ | | | | | | | | | | | | |

3. Для кожної точки виміру розрахувати опір варистора.

4. За експериментальними даними, в одній координатній площині, побудувати ВАХ $I=f(U)$ для обох зразків варисторів. Визначити класифікаційну напругу й коефіцієнт нелінійності на лінійній ділянці характеристики варисторів.

5. За розрахунковими даними, в одній координатній площині, у логарифмічному масштабі, побудувати графіки залежності $R=f(U)$ для обох зразків варисторів.

6. В одній координатній площині, у логарифмічному масштабі, побудувати ВАХ для обох зразків варисторів лінійно продовживши їх до значення струму 10^3 А. Визначити коефіцієнт захисту варисторів.

7. Порівняти отримані результати з довідковою інформацією.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОРЕЗИСТОРІВ

Мета роботи: ознайомитися з принципом роботи терморезисторів, навчитися, на практиці, визначати приналежність терморезисторів до тієї або іншої групи ТКО за експериментальними даними.

Теоретичні відомості

Терморезистор – це резистор, опір якого сильно залежить від зміни температури.

Для терморезисторів характерний великий ТКО, у десятки разів перевищуючий ТКО металів. Розрізняють терморезистори з негативним ТКО – термістори, опір яких знижується з ростом температури, і терморезистори з позитивним ТКО – позистори, опір яких збільшується з ростом температури (рис. 4.1). Терморезистори обох типів виготовляють із напівпровідникових матеріалів; діапазон зміни їх ТКО становить - 6,5...+70%/°С.

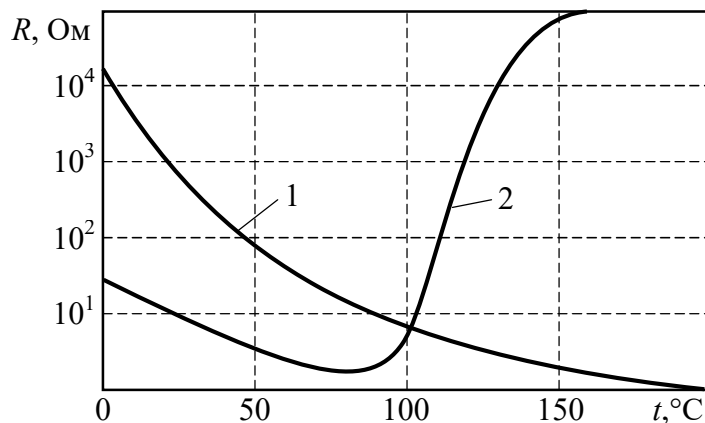


Рис. 4.1 – Температурні характеристики терморезисторів: 1 – термістор; 2 – позистор

В терморезисторах з негативним ТКО напівпровідниковим матеріалом звичайно служить запечена кераміка, якій надають різні форми й розміри. Її виготовляють із суміші оксидів таких металів, як Mn, Ni, Co, Cu і Fe. Змінюючи склад матеріалу й розміри терморезисторів, можна одержати опір від 1 до 106 Ом при кімнатній температурі й із ТКО від -2 до -6,5 %/°С.

Терморезистори з негативним ТКО виготовляють різноманітних конфігурацій: від бусинок діаметром 0,2 мм, дисків і шайб діаметром 3...25 мм до стержней діаметром 12 і довжиною до 40 мм. Конструкції терморезисторів настільки ж різноманітні, як і електричні властивості. Бусинкові терморезистори можна заливати склом, поміщати в скляні або пластмасові оболонки або в транзисторні корпуси, і всі ці прилади можна, у свою чергу, установлювати в металеві й пластмасові корпуси залежно від конкретного застосування. Діскові терморезистори часто захищають ізоляційними плівками з лаку або епоксидних смол, монтують на металевих пластинах і герметизують у металевих або пластмасових корпусах.

Терморезистори з позитивним ТКО можна розділити на дві принципово відмінні групи залежно від типу й властивостей застосовуваного напівпровідникового матеріалу. До першої групи відносяться терморезистори із простого напівпровідника (звичайно кремнію) у формі невеликої пластини із двома виводами на протилежних сторонах. Застосування цих приладів засноване на тому, що леговані кристали кремнію як *n*, так і *p*- типу мають позитивний ТКО при температурах від криогенних до 150°C і вище, причому ТКО при кімнатній температурі приблизно дорівнює 0,8 %/°C. До другої групи відносяться терморезистори з більшим позитивним ТКО (до 70 %/°C), але в більш обмеженому діапазоні температур. Матеріалом для цих приладів служить полікристалічний напівпровідниковий титаніт барію з більшою зміною ТКО при температурі 120°C, що відповідає сегнетоелектричній крапці Кюрі цього матеріалу. Додаючи інші речовини, наприклад титаніт свинцю або стронцій, таку зміну ТКО можна одержати при температурах від -100 до +250°C. Можна також змінити нахил кривої опору таким чином, що велика зміна ТКО буде відбуватися в більш вузькому інтервалі температур, наприклад 0...100°C.

Основними параметрами терморезистора є: номінальний опір, температурний коефіцієнт опору, інтервал робочих температур, максимально припустима потужність розсіювання.

Номінальний опір терморезистора – опір при певній температурі навколишнього середовища, звичайно 25°C або 20°C.

Температурний коефіцієнт опору

$$\alpha_R = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 100\%,$$

виражає відносну зміну величини опору резистора при зміні його температури на один градус. Для термісторів, що випускаються промисловістю, ТКО перебуває в діапазоні -2...-6,6 %/°C для позисторів 10...60 %/°C.

За *інтервалом робочих температур* розрізняють терморезистори низькотемпературні (розраховані на роботу при температурі нижче 170 К), середньотемпературні (170...510 К) і високотемпературні (вище 570 К). Крім того, існують терморезистори, які призначені для роботи при 4,2 К і нижче й при 900...1300 К.

Найцікавішою й практично корисною властивістю терморезистора з негативним ТКО є спадання напруги на приладі при збільшенні постійного струму, що протікає через терморезистор. На рис. 4.2 наведено статичну вольтамперну характеристику терморезистора, що перебуває в повітряному просторі. При дуже слабких струмах потужність, що розсіюється терморезистором, занадто мала її характеристика підкоряється закону Ома. Зі збільшенням струму температура елемента стає вище навколишньої температури за рахунок виділення джоулевого тепла. При певному значенні струму напруга досягає максимуму й потім зменшується при подальшому збільшенні струму. Напруга в максимумі характеристики або напруга перегину

звичайно позначається U_{\max} .

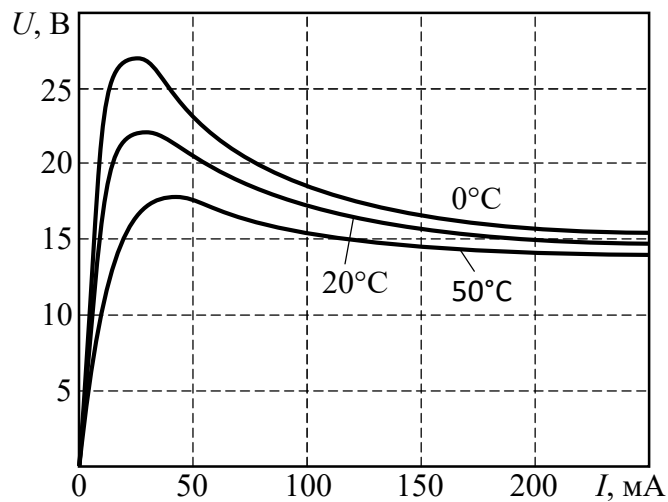


Рис. 4.2. ВАХ терморезистора з негативним ТКО при різних температурах навколишнього середовища

Вольтамперна характеристика терморезисторів з позитивними ТКО залежить від температурної характеристики опору, температури навколишнього середовища й коефіцієнта розсіювання. Зі збільшенням напруги, що прикладається, вольтамперна характеристика підкоряється закону Ома доти, поки нагрівання струмом, що протікає, не збільшить температуру приладу вище точки Кюрі. Далі опір починає різко зростати, що супроводжується відповідним зменшенням струму (рис. 4.3). При подальшому зростанні напруги, що прикладається, терморезистор з позитивним ТКО може бути нагрітий вище температури, відповідній до точки перегину на температурній характеристиці опору, і тоді струм знову почне зростати. Наступне нагрівання може привести до теплового руйнування, якщо опір приладу наближається до R_{\max} .

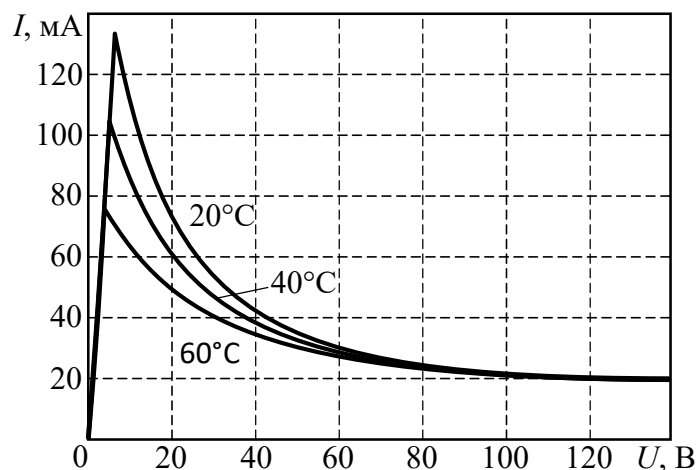


Рис. 4.3. ВАХ терморезистора з позитивним ТКО при різних температурах навколишнього середовища

Терморезистори використовуються для виміру й контролю температури,

компенсації температурних змін параметрів електричних кіл і електронних приладів, теплового захисту, застосовуються в якості пускових реле, реле часу, вимірників потужності електромагнітного випромінювання на НВЧ, стабілізаторів температури й напруги.

Хід роботи

1. Дослідження температурних характеристик терморезисторів:

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи, для чого

- кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» установити в режим «ПАРАЛЛЕЛЬНО»;
- включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
- перемикач індикатора встановити в положення «АМР»;
- ручки регуляторів напруги й струму 1 і 2 каналу повернути за годинниковою стрілкою до упору.
- повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 30°;
- ручкою «ТОК» встановити значення 0,2 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- повторити перераховані операції для 2-го каналу, встановивши обмеження струму 0,5 А.

2. Зібрати схему, яку наведено на рис. 4.4. У якості нагрівального елемента використовується резистор 10 Ом, 5 Вт. Пред'явити схему на перевірку викладачеві.

3. Поступово збільшуючи напругу живлення нагрівального резистора фіксувати опір терморезистора при заданій температурі. Дані занести в таблицю 1.

4. За даними таблиці 1, в одній координатній площині, побудувати графіки залежності $R = f(t)$ для обох зразків терморезисторів. Визначити який зразок терморезистора має позитивний ТКО, а який негативний.

5. Не роз'єднуючи нагрівальний елемент і терморезистор зібрати схему, яку наведено на рис. 4.5. Пред'явити схему на перевірку викладачеві.

6. За допомогою ручки «НАПРЯЖЕНИЕ» 2-го каналу джерела, що живить коло нагрівача, встановити стабільну температуру згідно з таблицею 2. Збільшуючи напругу 1-го каналу джерела, що живить коло терморезистора, фіксувати струм, що протікає через терморезистор. Дані занести в таблицю 2.

7. Викрутити ручки «НАПРЯЖЕНИЕ» обох каналів джерела живлення проти годинникової стрілки до упору, виключити джерело живлення. Дати охолонути нагрівальному резистору до кімнатної температури.

8. Замінити терморезистор на другий зразок і повторити дослід, описаний у пунктах 2-6.

9. За даними таблиці 2, в одній координатній площині, побудувати сімейство ВАХ терморезистора при різних значеннях температури.

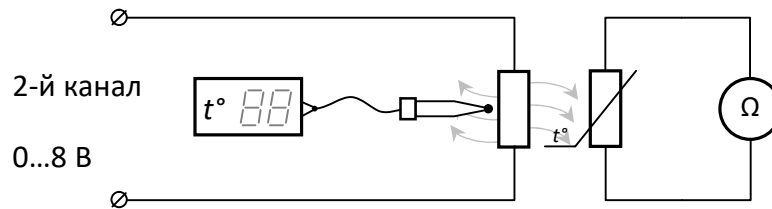


Рис. 4.4. Схема для зняття температурної характеристики терморезистора

Таблиця 4.1. Для зняття температурної характеристики терморезистора

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| $R1, \text{Ом}$ | | | | | | | | | | | |
| $R2, \text{Ом}$ | | | | | | | | | | | |

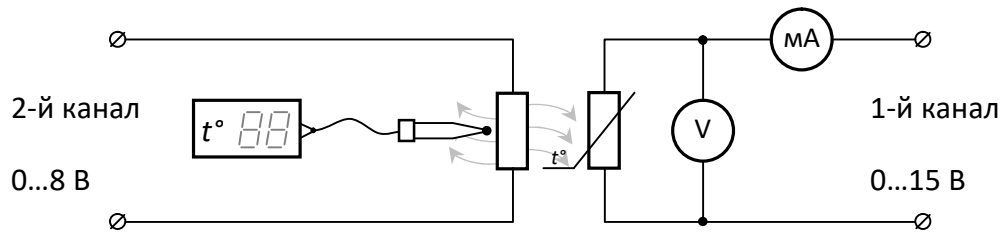


Рис. 4.5. Схема для зняття ВАХ терморезистора

Таблиця 4.2. Для зняття ВАХ терморезистора

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|------------------------------------|
| $U, \text{В}$ | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | $t_{\text{нагр.}}, ^\circ\text{C}$ |
| $I_1, \text{мА}$ | | | | | | | | | | | 20 |
| $I_2, \text{мА}$ | | | | | | | | | | | 40 |
| $I_3, \text{мА}$ | | | | | | | | | | | 60 |

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи: вивчити принцип дії і характеристики напівпровідникових діодів. Ознайомитися з методикою зняття вольтамперних характеристик.

Основні теоретичні відомості

Напівпровідниковим діодом називають напівпровідниковий прилад з одним електричним $p-n$ переходом і двома виводами. За функціональним призначенням діоди поділяються на випрямні, імпульсні, стабілітрони, варикапи, тунельні, фотодіоди, світлодіоди і ін.

1. Принцип дії напівпровідникового діода

Роботу напівпровідникового діода засновано на односторонній провідності $p-n$ переходу. $p-n$ перехід – перехід між двома областями напівпровідника з різним типом провідності.

При сплаві двох зразків напівпровідників з електронною і дірковою провідністю на межі, внаслідок явища дифузії, електрони з області n будуть переміщатися в область p , а дірки, навпаки, з області p в область n . Зустрічаючись на межі p і n областей, дірки і електрони рекомбінують, внаслідок чого в прикордонній зоні концентрація носіїв заряду істотно знижується. З боку області n оголяються позитивно заряджені іони, а з боку області p – негативно заряджені іони (рис. 5.1).

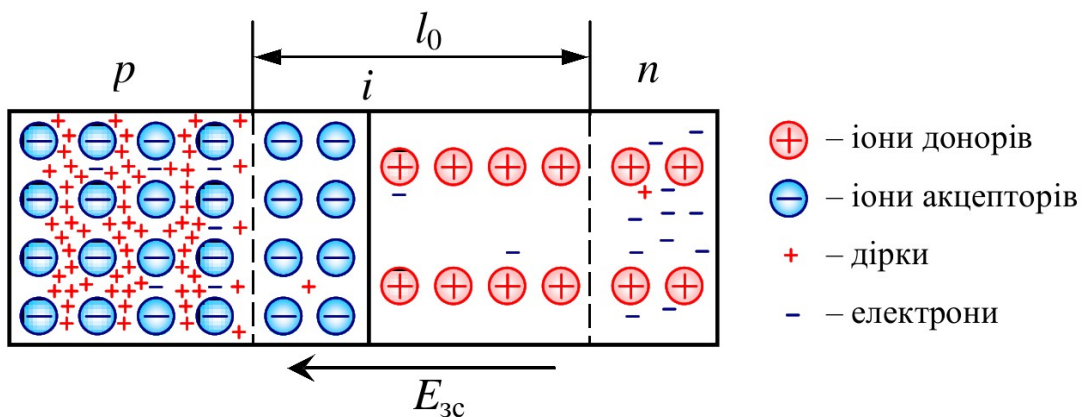


Рис. 5.1 – Виникнення шару, що запирає в $p-n$ переході

Між ними виникає внутрішнє електричне поле $E_{зш}$ (просторовий заряд), спрямоване від області n до області p . Це електричне поле перешкоджає руху (дифузії) електронів з n -області в p -область і дірок в зворотному напрямку. Однак це поле не перешкоджає руху (дрейфу) через перехід не основних носіїв, наявних в областях напівпровідника. При кімнатній температурі струм дифузії компенсується струмом дрейфу – $p-n$ перехід знаходиться в термодинамічній рівновазі.

Область $p-n$ переходу ще називають шаром, що запирає, збідненим шаром або i -областю.

Зовнішня напруга U , що прикладена до $p-n$ переходу, в залежності від полярності буде посилювати чи послаблювати дію поля шару, що запирає. Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до p -області, а «-» – до

n -області (пряме включення), то електричне поле $E_{пр}$, яке створено зовнішнім джерелом живлення, буде направлено назустріч полю шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 5.2). Дія шару, що запирає при цьому слабшає і його ширина зменшується.

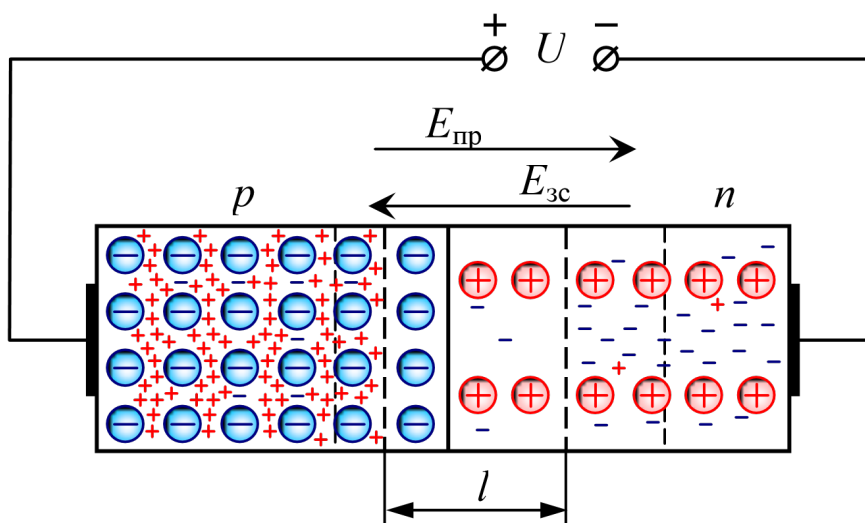


Рис. 5.2 – p - n перехід, увімкнений в прямому напрямку

При подальшому підвищенні напруги шар, що запирає зникає зовсім. Опір руху основних носіїв заряду знижується і через перехід потече струм, який називають прямим. Значення прямого струму при підвищенні зовнішньої напруги збільшується за експоненціальним законом.

Введення (нагнітання) носіїв заряду через електронно-дірковий перехід в область напівпровідника, де вони є неосновними, за рахунок зниження напруженості внутрішнього електричного поля $E_{зш}$, називається інжекцією.

Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до n -області, а «-» – до p -області (зворотне включення), то електричне поле $E_{зв}$, створюване зовнішнім джерелом живлення, буде додаватися до поля шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 5.3). При цьому ширина шару, що запирає збільшується і ще менша кількість основних носіїв заряду може подолати дію цього поля й перейти в сусідню область.

Через перехід протікає невеличкий зворотний (тепловий) струм I_0 , обумовлений рухом неосновних носіїв. Цей струм практично не залежить від зворотної напруги, прикладеної до p - n переходу, але сильно залежить від температури.

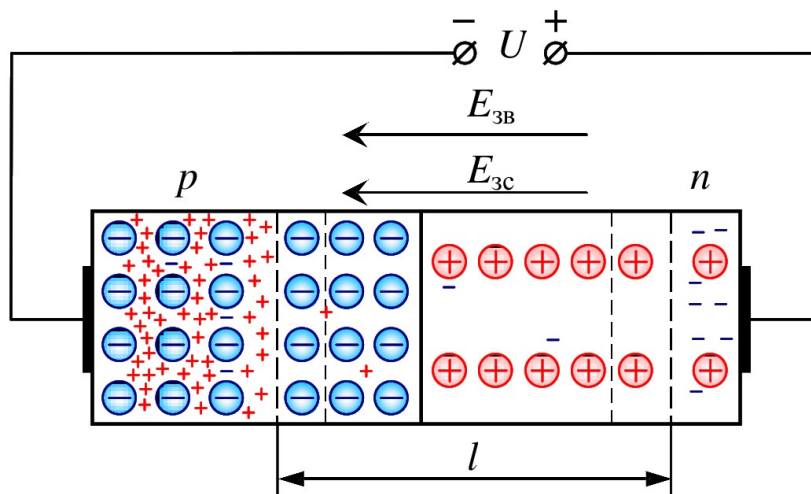


Рис. 5.3 – p - n перехід, включений в зворотному напрямку

Вольт-амперну характеристику діода при прямому і зворотному зсуві показано на рис. 5.4. Для наочності пряма і зворотна гілки вольт-амперної характеристики наведені в різних масштабах.

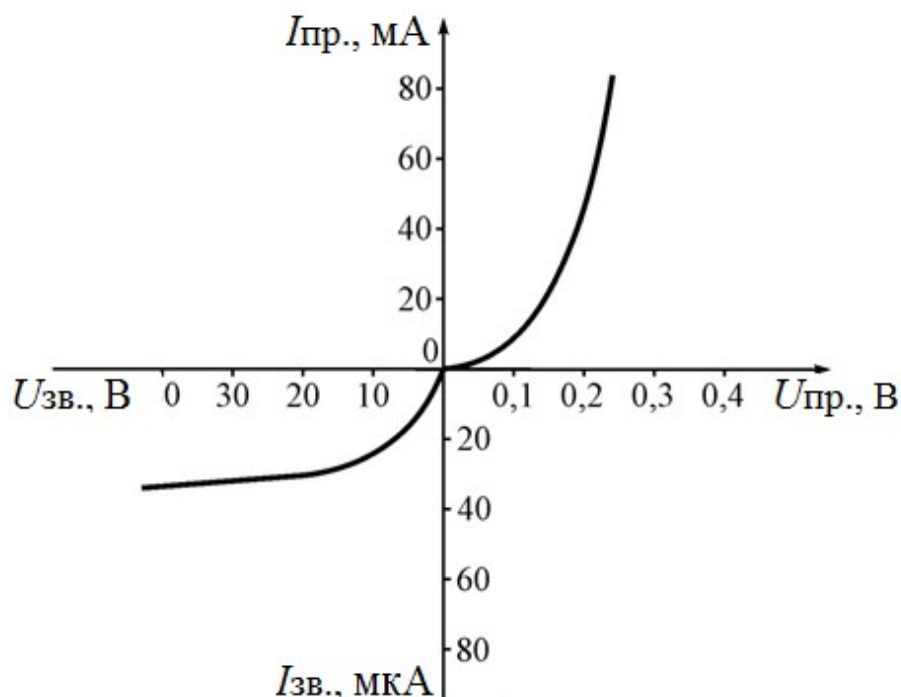


Рис. 5.4 – Вольт-амперна характеристика випрямного діода

2. Інерційні властивості діода

При зворотному зсуві $p-n$ переходу електрони і дірки знаходяться по обидва боки переходу, а в області самого $p-n$ переходу їх дуже мало. Таким чином, при зворотному включенні діод має ємність, величина якої пропорційна площі $p-n$ переходу, концентрації носіїв заряду і діелектричної проникності напівпровідника. Цю ємність називають бар'єрною ємністю C_b .

При збільшенні зворотної напруги бар'єрна ємність зменшується внаслідок зменшення ширини шару, що запирає. При прямому включенні бар'єрна ємність підвищується, однак, тут $p-n$ перехід крім бар'єрної ємності має так звану дифузійну ємність C_d , яка в даному випадку грає домінуючу роль.

Дифузійна ємність істотно не впливає на роботу діода, тому що вона завжди зашунтована малим прямим опором $p-n$ переходу.

Залежність відносної зміни ємності $p-n$ переходу при прямому і зворотному включенні наведені на рис. 5.5.

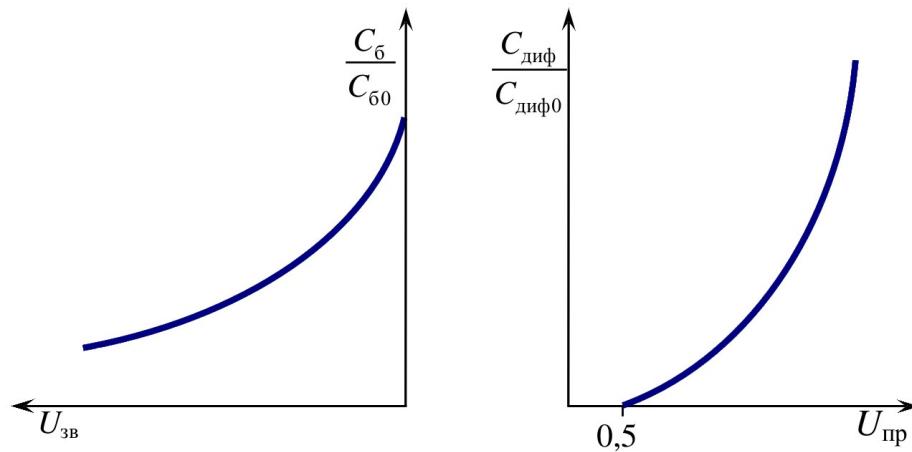


Рис. 5.5 – Вольт-фарадна характеристика діода:
а – зворотнє включення; б – пряме включення

Сучасні електронні прилади працюють на високій частоті, і ємність $p-n$ переходу багато в чому визначає інерційні властивості напівпровідникових елементів і області їх застосування. Зміну струму через випрямний діод при зміні полярності підключеної напруги демонструє рис. 5.6.

Як видно з рисунку, форма струму, що протікає через діод, має деяку інерційність, яка визначається часом встановлення прямої напруги $t_{вст}$ і часом відновлення зворотного опору $t_{відн}$. При роботі на високих частотах ємнісний опір $X_C = (\omega C)^{-1}$ зменшується і зворотний струм через діод може зрости на кілька порядків.

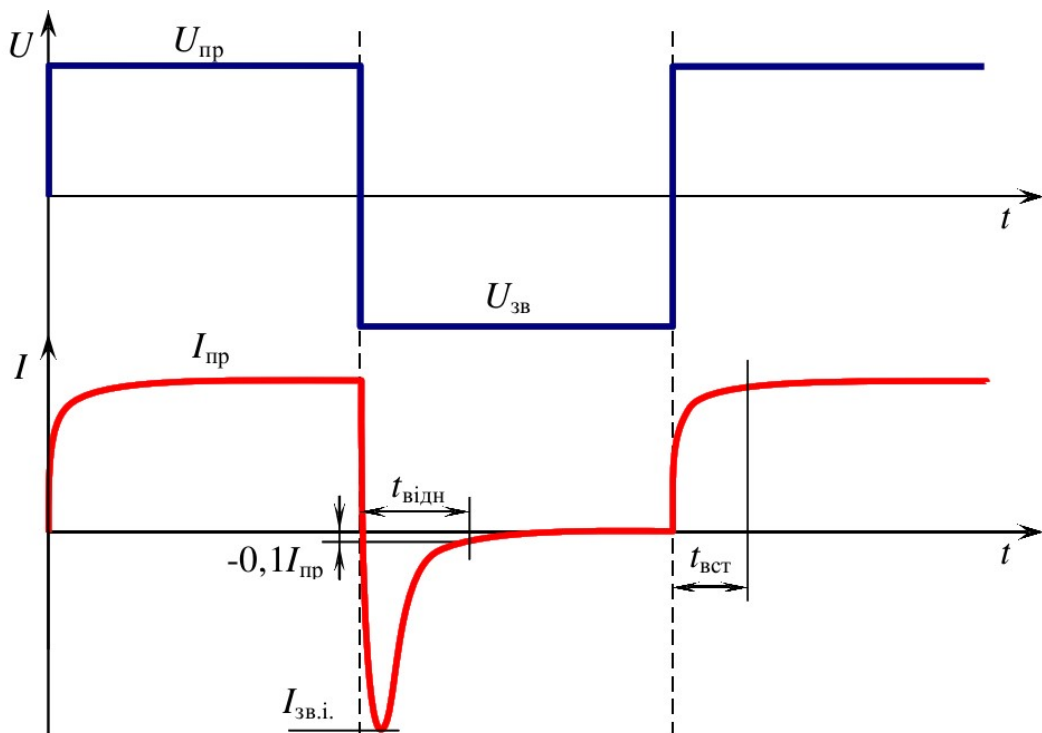


Рис. 5.6 – Перехідні процеси в $p-n$ переході

Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- модуль для дослідження характеристик напівпровідникових діодів;
- універсальне джерело живлення;
- комбінований вимірювальний прилад – 2 шт;
- генератор імпульсів FG-32;
- осцилограф GOS-620.

1. Дослідження характеристики діода в прямому включенні

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- ручки регуляторів напруги і струму 1 і 2 каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
- кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» встановити в режим «НЕЗАВИСИМО»;
- включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
- налаштувати обмежувач струму 1 каналу джерела живлення:
- з'єднати клеми «+» і «-» 1-го каналу провідником;
- повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 90° ;
- перемикач індикатора встановити в положення «АМР»;
- ручкою «ТОК» виставити обмеження струму 0,25 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу живлення 3,5 В.

1.2 Зібрати схему згідно рис. 5.7. При цьому ручка потенціометра $R_{д2}$ в початковому стані повинна бути викручена проти годинникової стрілки до упору.

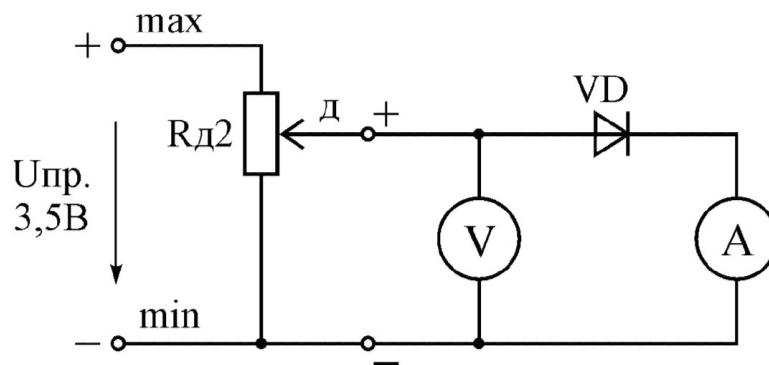


Рис. 5.7 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при прямому включенні

1.3 Плавно обертаючи ручку потенціометра $R_{д2}$, змінюйте струм, що протікає через діод VD, від 0 до 100 мА. Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вимірювань прямої гілки вольт-амперної характеристики діода

| | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|---|---|----|----|----|----|
| $I_{пр}$, мА | 0,1 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| $U_{пр}$, В | | | | | | | | |

2. Дослідження характеристики діода в зворотному включенні

2.1 Встановіть вихідну напругу 1 каналу джерела живлення 0 В. Для цього поверніть ручку регулятора напруги проти годинникової стрілки до упору.

2.2 Зберіть схему згідно рис. 5.8.

2.3 Плавно повертаючи ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення, змінюйте напругу від 0 до 30 В. Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 5.2.

Таблиця 5.2. Результати вимірювання зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода

| | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| $U_{зв}$, В | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| $I_{зв}$, мкА | | | | | | | | | |

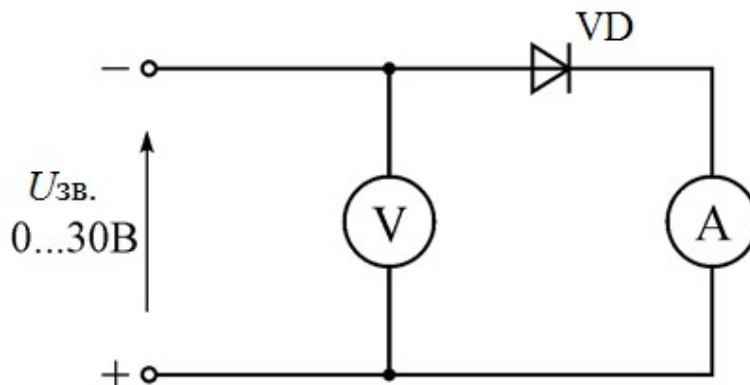


Рис. 5.8 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при зворотному включенні

3. Дослідження вольт-амперної характеристики діода

3.1 Побудувати вольтамперні характеристики діода, використовуючи дані таблиці 5.1 і таблиці 5.2. Масштаб напруги для зворотного включення діода (третій квадрант графіка) взяти в 100 разів більше, а масштаб струму в 1000 разів більше, ніж для прямого включення діода.

3.2 Для отриманої ВАХ визначити величину статичних і динамічних (диференціальних) опорів діода при прямому і зворотному включенні, як показано на рис.5.9.

$$r_D = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \beta; \quad R_{CT} = \frac{U_E}{I_E} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \alpha.$$

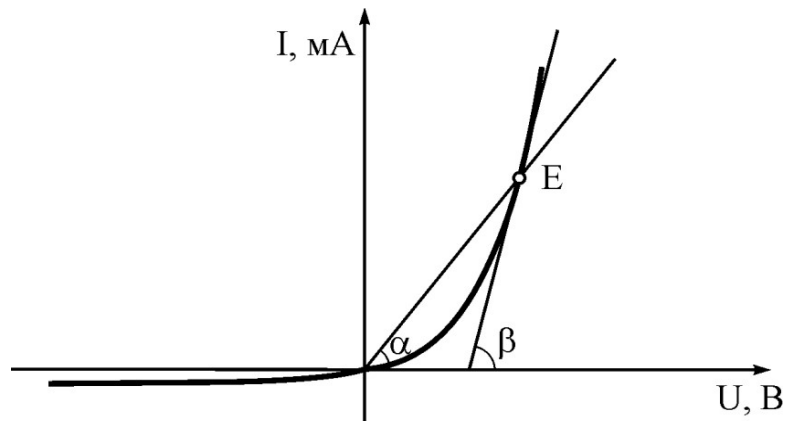


Рис. 5.9 – Визначення статичного і динамічного опорів діода

3.3 Результати розрахунків занести в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3. Результати розрахунків статичних і динамічних опорів діода

| | Пряма ВАХ | Зворотна ВАХ |
|----------|-----------|--------------|
| r_D | | |
| R_{CT} | | |

4. Дослідження перехідних процесів діода

4.1 Підготувати генератор імпульсів FG-32 до роботи:

- за допомогою ручки «FUNCTION» встановити прямокутну форму імпульсу;
- за допомогою ручок «RANGE» і «FREQUENCY» встановити частоту 120 кГц;
- встановити максимальну амплітуду, для цього повернути ручку «AMPL» за годинниковою стрілкою до упору (ручка «OFFSET» в натиснутому положенні для отримання симетричних біполярних імпульсів).

4.2 Підготувати осцилограф GOS-620 до роботи, підключивши обидва канали згідно схеми (рис. 5.10) і встановити тривалість розгортки 0,2 мкс.

4.3 Зібрати схему згідно рис. 5.10.

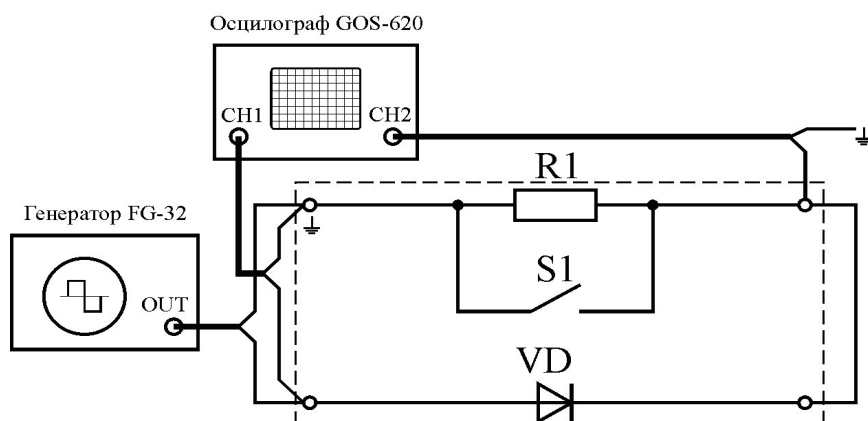


Рис. 5.10 – Схема для дослідження перехідних процесів діода

4.4 За допомогою ручок управління синхронізацією «TRIGGER» і зміщення променів «POSITION» осцилографа привести осцилограму до виду представленому на рис. 5.11.

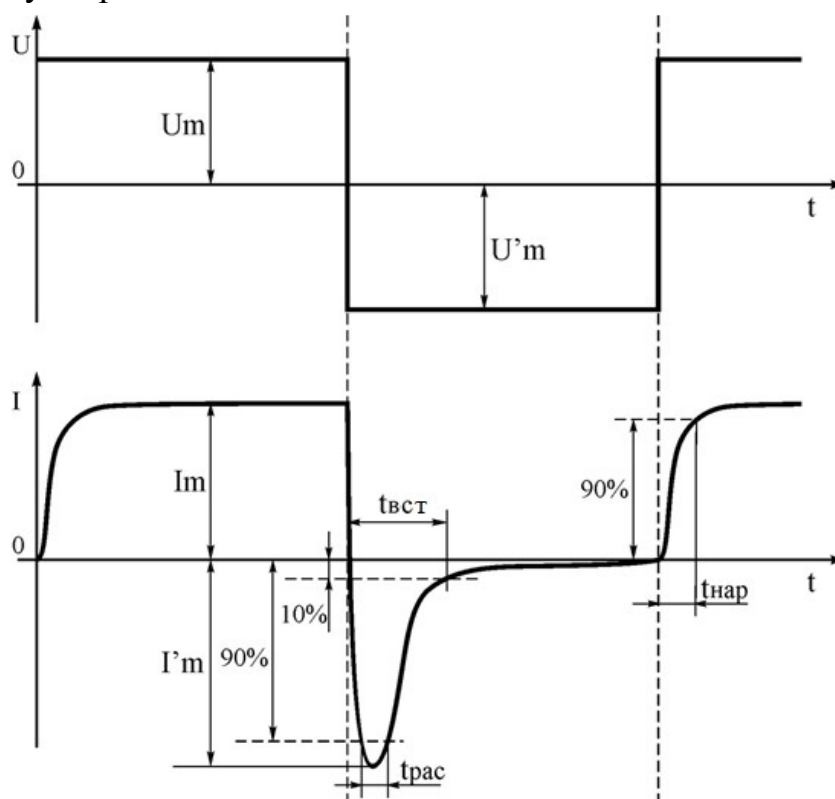


Рис. 5.11 – Осцилограма дослідження перехідних процесів діода

4.5 Натиснути кнопку десятикратного збільшення по горизонталі «x10 MAG». Виміряти всі необхідні параметри перехідного процесу згідно рис. 5.11 і занести в таблицю 5.4, враховуючи, що канал 2 осцилографа відображає падіння напруги на резисторі $R1$, знаючи номінал якого можна отримати струм I .

Таблиця 5.4. Результати дослідження параметрів перехідних процесів діода

| $U_m, В$ | $U'_m, В$ | $I_m, мА$ | $I'_m, мА$ | $t_{вст}, мкс$ | $t_{рас}, мкс$ | $t_{нар}, мкс$ |
|----------|-----------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | |

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть процес утворення шару, що запирає в $p-n$ переході.
2. Поясніть виникнення струму через $p-n$ перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Поясніть виникнення струму через $p-n$ перехід при підключенні діода в зворотному напрямку.
4. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
5. Поясніть відміну динамічного опору від статичного. Для яких елементів ці опори рівні за величиною?
6. Чим зумовлена наявність ємності $p-n$ переходу?
7. Поясніть, як впливає величина й напрямок прикладеної напруги на бар'єрну ємність?
8. Чим обумовлені інерційні властивості діода і як це проявляється на практиці?
9. Які електричні переходи мають найменшу ємність?