

Тема 1. Пасивні електрорадіоелементи електронних пристроїв

Лекція №1. Резистори. Конденсатори. Котушки індуктивності

1.1. Загальна характеристика елементної бази

РЕА – це виріб або складові його частини, в основу функціонування яких покладена наука про прийом, перетворення та передачу інформації за допомогою електромагнітних коливань.

Весь спектр компонентної бази РЕА можна розбити на активні та пасивні компоненти.

До **активних** компонентів відносяться радіоелектронні прилади, які можуть здійснювати випрямлення, підсилення, генерацію, перетворення частоти змінних струмів та інші активні процеси обробки сигналів.

До **пасивних** відносяться резистори, конденсатори, котушки індуктивності, трансформатори та інші радіоелементи, що не беруть активної участі в обробці сигналів.

Всі ці компоненти можна назвати електронними приладами. Таким чином електронний прилад це прилад, у якому обробка сигналу здійснюється за допомогою електронів або іонів, що рухаються у вакуумі, газі, провіднику чи напівпровіднику. Електронні прилади використовуються у всіх областях техніки і впливають на її розвиток, багато в чому визначаючи її рівень. Вони складають елементну базу будь-якої сучасної радіоелектронної апаратури.

Всі електронні прилади можна розбити на такі класи:

- електровакуумні прилади (ЕВП);
- газорозрядні прилади;
- дискретні напівпровідникові прилади (НПП);
- інтегральні напівпровідникові мікросхеми (ІМС);
- пасивні радіоелементи (радіодеталі);
- знаковинтезуючі індикатори.

1.2 Резистори

Резистор або опір (від лат. *resisto* — опираюся) — елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору [1].

Резистори характеризують номінальним значенням електричного опору, прийнятним відхиленням від нього, максимальною потужністю розсіювання, граничною електричною напругою та температурним коефіцієнтом електричного опору (визначається зміною величини опору резистора при зміні його температури на 1°C). Для випадку лінійної характеристики значення

електричного струму через резистор у залежності від електричної напруги описується законом Ома.

Умовні графічні позначення резисторів на принципових електричних схемах регламентуються у [3].



Рисунок 1.1 - Умовні графічні позначення резисторів на принципових електричних схемах

За характером зміни опору розрізняють на резистори постійного, змінного опору, підстроювальні та спеціальні.

Резистори постійного опору – резистори, опір яких під час експлуатації та регулювання не змінюється. Використовуються як навантаження підсилювальних каскадів, в фільтрах кіл живлення та подільників напруги, додаткових опорів та шунтів вимірювальних приладів та інше. В складних РЕА кількість резисторів може сягати до декілька тисяч. Тому основні типи резисторів стандартизовані і є виробами масового виробництва.

Резистори змінного опору – резистори, опір яких регулюються під час експлуатації. Такий резистор має додатковий третій вивід, з'єднаний з рухомих контактом, який можна плавно переміщувати вздовж струмопровідного елемента. Використовуються для плавного регулювання підсилення, рівнів напруг та інше. Багато резисторів змінного опору стандартизовані та є виробами масового виробництва.

Резистори підстроювальні – це резистори, опір яких має змінюватися при заводських регулюваннях та залишатися постійним в процесі експлуатації. Призначені для точної установки значення опору при разовому чи періодичному регулюванні. Підстроювальні резистори – це спрощений варіант резисторів змінного опору, який розрахований на незначну кількість циклів настроювання (до 10³ циклів) та мають стопор.

Спеціальні резистори – резистори, опір яких змінюється під дією зовнішніх чинників. До них відносяться:

Варистори – напівпровідникові резистори, опір яких зменшується при збільшенні підведеної напруги. Використовуються в стабілізаторах та обмежувачах напруги.

Фоторезистори – опір залежать від освітлення. Використовуються як датчики освітленості в системах автоматики та телеметрії. У парі зі світлодіодом фоторезистор утворює оптрон – прилад, якому конструктивно пов'язані між собою джерело та приймач світла оптичним каналом.

Тензорезистори – резистори, опір яких змінюється при механічних деформаціях. Виготовляються з фольги чи дроту, що приклеюється на гнучку

основу, або у вигляді напівпровідникових пластин чи плівок. Використовуються в різних датчиках механічних величин (переміщення, тиску таке інше).

Терморезистори – резистори, які мають значну залежність опору від температури, найчастіше це нелінійна залежність. Поділяються на термістори (ТКР – негативний) та позистори (ТКР – позитивний). Використовуються як датчики температури в вимірювальних приладах та колах термостабілізації.

Таблиця 1.1 – Розмірності резистора

Назва розмірності	Позначення українське	Позначення міжнародне	Величина, Ом
мікроОм	мкОм	$\mu\Omega$	$1 * 10^{-6}$
міліОм	мОм	m Ω	$1 * 10^{-3}$
Ом	Ом	Ω	1
кілоОм	кОм	k Ω	$1 * 10^3$
МегаОм	МОм	M Ω	$1 * 10^6$
ГігаОм	ГОм	G Ω	$1 * 10^9$

За [3] буквенний код постійного резистора, змінного резистора, потенціометра, варистора, терморезистора на електричних схемах позначається *R*.

Промислові резистори одного і того ж номіналу мають розкид опорів. Значення можливого розкиду визначається точністю резистора. Випускають резистори з точністю 20%, 10%, 5%, і т. д. аж до 0,01%. Номінали резисторів не довільні: їх значення вибираються зі спеціальних номінальних рядів за ГОСТ 28884-90 (ІЕС 63-63), найчастіше з номінальних рядів E6 ($\pm 20\%$), E12 ($\pm 10\%$) або E24 (для резисторів з точністю до $\pm 5\%$), для точніших резисторів використовуються точніші ряди (наприклад, E48). Цифра після букви E означає кількість градацій значень опору в ряді, яке для визначення номінальної опору повинно бути помножене на 10^n , де n – ціле додатне чи від’ємне число.

Ряди E – це геометрична прогресія зі знаменником q_n , що дорівнює для рядів: E6 $q_6 = (10)^{1/6} = 1,47$; E12 $q_{12} = (10)^{1/12} = 1,21$; E24 $q_{24} = (10)^{1/24} = 1,1$.

Класифікація резисторів

Всі резистори в залежності від типу резистивного матеріалу діляться на:

– недротяні – резистивний елемент виконаний з композитних матеріалів, тонких плівок та інше.

– дротяні – резистивний елемент виготовлено з проволочки (дроту) із сплаву з високим питомим опором.

За призначенням:

– загального призначення – призначені для використання в електричних колах, які не потребують специфічних властивостей та параметрів.

– спеціального призначення – мають специфічні властивості та параметри, наприклад: прецизійні, високочастотні, високомегаомні, високовольтні.

Система позначень резисторів, що відповідає Держстандарту:

- перший елемент позначення – буква (або дві букви), що означають тип резистора:

С – постійні; різновид МЛТ – металоплівковий резистор;

СП – змінні.

- другий елемент – цифра, що означає різновид провідного елемента:

1 – не дротові тонкошарові вуглецеві і боровуглецеві;

2 – не дротові тонкошарові металоплівкові, металооксидні;

3 – не дротові композиційні плівкові;

4 – не дротові об'ємні;

5 – не дротові;

6 – не дротові тонкошарові металізовані.

- третій елемент – цифра, що вказує на конструктивний різновид резисторів.

Позначенні номіналу, номінальної потужності і допустимого відхилення від номіналу звичайних резисторів наносять на корпус резистора.

Приклад позначень резисторів: С2-33 – резистор постійний, непровідниковий, металоплівковий, номер конструктивного різновиду (модифікації) 33.

Промисловість випускає такі типи провідникових резисторів:

- з одношаровим намотуванням:

ПЕ – дротові (провідникові) емальовані;

ПЕВ – дротові емальовані вологостійкі;

ПЕВТ – дротові емальовані і волого- і термостійкі;

ПЕВР – дротові емальовані вологостійкі регульовані, що мають латунний рухливий з затискаючим гвинтом хомут, який має можливість переміщуватися вздовж корпусу резистора по витках дроту, вільних від ізоляції;

- регульовані з багатошаровим намотуванням:

ПТ – дротові (провідникові) точні;

ПТН, ПТМ, ПТК – дротові точні, відповідно з ніхромового, магнанинового чи константанового дроту;

ПТМН, ПТММ, ПТМК – дротові точні малогабаритні, відповідно з ніхрому, манганину чи константану.

Резистори з одношаровим намотуванням мають допустимі відхилення від номіналу ± 5 ; $\pm 10\%$, а резистори з багатшаровим намотуванням – $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; $\pm 1\%$.

Для визначення допустимого відхилення від номіналу резистора вводять додатково у кінці позначення букву. Допустимі відхилення від номіналу наведені у табл. 1.2

Відповідно до ДСТ175-72 і вимог Публікації 62 ІЕС (Міжнародної Електротехнічної Комісії) опір резистора може бути вказаний трьома, чотирма, п'ятьма чи шістьма кольоровими смугами. Як правило, перша смуга розташована ближче до одного з виводів резистора, іноді вона ширша за інші (на практиці спостерігається не завжди).

Таблиця 1.2 – Допустимі відхилення від номіналу резисторів.

Доп. відх. %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30
Умовн. позн.	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф

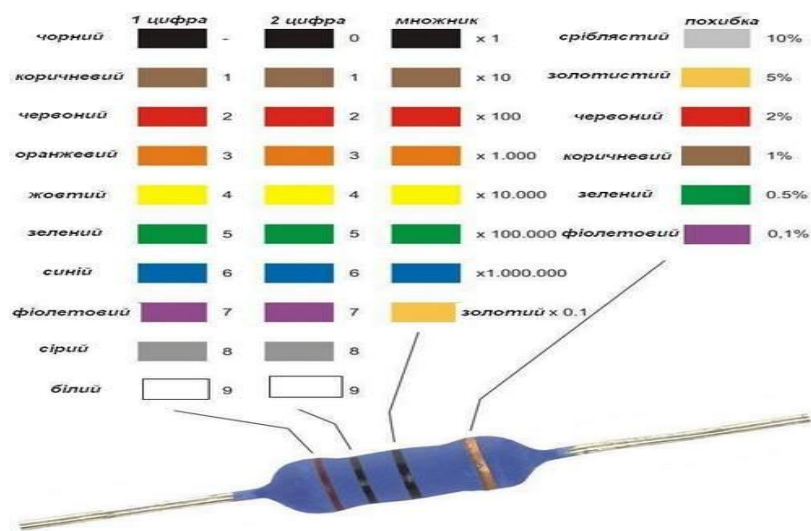


Рис. 1.1 – Визначення опору резистора за кольором смуг

Маркування 3-ма цифрами:

Перші дві цифри значення в омах, а остання – кількість нулів. Застосовується для номінального ряду E24 у межі допуску 1% та 5% типорозмірів 0603, 0805 та 1206. Буква R грає роль десяткової коми.

Приклад:

$$220 = 22 \times 10^0 = 22\Omega;$$

$$471 = 47 \times 10^1 = 470\Omega;$$

$$102 = 10 \times 10^2 = 1000\Omega;$$

$$3R3 = 3.3\Omega;$$

Маркування 4-ма цифрами:

Перші три цифри вказують значення в омах, остання — число нулів. Поширюється на резистори з ряду номіналів E96 з допуском 1 % типорозмірів 0805 та 1206. Буква R має значення десяткової коми.

Приклад:

$$4700 = 470 \times 10^0 = 470\Omega;$$

$$2001 = 200 \times 10^1 = 2000\Omega;$$

$$1002 = 100 \times 10^2 = 10000\Omega;$$

$$15R0 = 15.0\Omega;$$

У випадку п'ятисмугового позначення три перші смуги відповідають опорю, четверта - множник, а п'ята - допуск. Коли на резисторі лише три смуги, його допуск - 20%, а всі смуги означають лише опір. Шоста смуга, якщо вона є, вказує температурний коефіцієнт опорю (ТКС).

Основні параметри резисторів

1. Номінальний опір та допуск

Номінальний опір – це електричний опір, значення якого позначено на резисторі або вказано в нормативній документації і є вихідним для розрахунку відхилень від цього значення.

Номінальні опори резисторів стандартизовані: для постійних резисторів згідно ГОСТ 2825-67 встановлено шість рядів номінальних значень – E6; E12; E24; E96; E124 з допуском відхилення $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$ для рядів E6; E12; E24 та менше $\pm 5\%$ для рядів E96; E124, для змінних згідно ГОСТ 10318-80 встановлений ряд E6 з допуском відхилення $\pm 20\%$.

2. **Номінальна потужність** – це найбільша потужність, яку може розсіяти резистор в заданих умовах на протязі гарантованого строку служби при збереженні параметрів в заданих межах. Згідно ГОСТам 24013-80 та 10318-80 конкретні значення потужностей наступні: 0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 3; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 250; 500 Вт.

3. **Допустима робоча напруга** не повинна перевищувати напругу, розраховану виходячи із номінальної потужності та номінального опорю $U_{\max} = \sqrt{P_H R_H}$. Для великих номінальних значень опорю ця напруга може досягати пробивних значень. Тому для кожного типу резистора, встановлюється своя робоча напруга. Ця величина задається для нормальних умов експлуатації і залежить від довжини резистора l , його конструкції та тиску середовища p , що його оточує: $U_{\max} = 300\sqrt{\rho l}$.

4. **Температурний коефіцієнт опору** – характеризує відносну зміну опору резистора при зміні температури оточуючого середовища на 1°C.

$$TKR = \Delta R / (R_0 \Delta t)$$

де ΔR – абсолютна зміна опору резистора, $\Delta t = t - t_0$, R_0 – опір резистора при нормальній температурі. Чим менший ТКР тим краща температурна стабільність.

5. **Частотні властивості резисторів.** Залежність повного опору резистора від частоти визначається наявністю ємності та індуктивності, розподілених по довжині резистивного елемента (паразитні елементи), діелектричними втратами в каркасі та покриттях. Тому повний опір має комплексний характер та змінюється з частотою.

Дротяні резистори мають великі значення власних ємності та індуктивності, тому їх реактивність проявляється вже на частотах в декілька кГц, тому вони є низькочастотними. Величина паразитних параметрів залежить від способу намотки, числа витків, форми та конструкції резистора.

Недротяні мають значно менші значення. Тому вони можуть використовуватися на частотах до 0,1...10 ГГц. Індуктивність резистивного елемента залежить від його форми та розмірів: вона тим більша, чим довший резистор та менший його діаметр.

Конструктивні типи резисторів

Резистори поділяються на дротяні та недротяні.

Дротяні виготовляються намотуванням дроту з високоомного матеріалу на ізолювані термостійкі основи. Ці резистори забезпечують велику потужність, точність та малий рівень шумів. Недоліки: значна паразитна індуктивність, що обмежує їх частотний діапазон на рівні $10^3 \dots 10^4$ Гц.

Недротяні поділяються на тонкоплівкові та об'ємні.

Тонкоплівкові – в них провідна плівка з вуглецю, борорганічних з'єднань, композитів або металевих сплавів наноситься на зовнішню поверхню циліндричної основи з кераміки. На обидва кінці стержня насаджені латунні ковпачки з коаксіальними виводами. Для захисту від зовнішнього середовища резистор покритий гідрофобною (водовідштовхуючою) фарбою. Для низькоомних - шар суцільний, для високоомних – з нарізкою.

Об'ємні виготовляються з композиційних матеріалів, в яких резистивний елемент є сумішшю провідних та ізолювальних компонентів. Резистор це стержень з провідної композиції з дротяними аксіальними виводами, які запресовані в склоемалевій оболонці.

Змінні недротяні резистори круглої форми – це струмопровідний елемент нанесений на підковоподібну гетинаксову пластинку, по якій рухається

контакт закріплений на осі. Такі резистори можуть бути як плівкові, так і композиційні.

Резистори для ГІС мають наступні конструкції:

– Постійний нитковий резистор – стержень зі скловолокна з нанесеними на його поверхню тонкими шарами сплавів олова або струмопровідної композиції. Такі резистори приклеюються до контактних площин струмопровідним клеєм.

– Постійний тонкоплівковий резистор – це напилений через спеціальну маску на ситалову основу провідниковий матеріал в вигляді смужки чи меандру. Для захисту від окислення резистори покривають шаром моно оксиду кремнію або гідрофобним лаком.

– Постійний товстоплівковий резистор за конструкцією схожий на тонкоплівковий, але виготовляється трафаретним друком з наступною термічною обробкою.

Резистори загального призначення

Використовуються як ЕРЕ РЕА середньої точності (5...20%) і мають номінальні значення від 1 Ом до 10 МОм. Робочі напруги до сотень вольт. Діапазон потужностей – 0,125...2 Вт та вище. Частотний діапазон до 10...100 МГц. Використовуються в РЕА широкого призначення, а також в колах до яких не ставиться високих вимог щодо точності, стабільності та високо частотності. Використовуються як анодні та колекторні навантаження, опори зміщення в колах емітера, бази та інше.

До них відносяться постійні резистори:

- боровуглецеві резистори – гр.С1 та ВС,
- металоплівкові – гр.С2 та МЛТ,ОМЛТ, МТ,
- композиційні – гр.С3, С4 та ТВО (тепловодостійкі об'ємні),
- дротяні – гр. С5 та ПЭ, ПЭВ, ПЭВР.

Змінні резистори:

- СП2 – плівкові металооксидні,
- СП3 – плівкові композиційні,
- СП4 – об'ємні композиційні.

Високомегаомні. До цієї групи відносяться резистори з опором від 10^7 до 10^{12} Ом. Використовуються композиційні плівкові резистори С3-10, С3-13, С3-14. Використовуються в дозиметричній та метрологічній апаратурі.

Прецизійні резистори використовуються як тонко плівкові метало діелектричні так і металооксидні резистори. Вони мають допуск $\pm (0,1...1)\%$. До них відносяться резистори С2-1, С2-13, С2-14, С2-19. При порівнянні з резисторами загального призначення мають при однаковій потужності більші

габарити, що полегшує тепловий режим та підвищує стабільність провідникового шару.

Високочастотні використовуються як навантаження в НВЧ трактах. Їх опір мало залежить від частоти. Виготовляються без виводів в вигляді стержнів, шайб і т.д. Номінальні значення 1 Ом...10 кОм. Це резистори:

- з металодіелектричним шаром С2-10, С2-34,
- з металооксидним шаром МОМ,
- тонкоплівкові металізовані С6-1, С6-2, С6-3.

Високовольтні – резистори розраховані на роботу до 15 кВ. Є плівкові композиційні резистори марок С2-5, С3-6, С3-9, С3-12.

Контрольні запитання

1. Принцип дії та призначення резисторів?
2. Класифікація резисторів.
3. Як позначаються резистори?
4. Які існують ряди номінального опору резисторів? Як вони пов'язані з допуском на номінальний опір?
5. Які характеристики резисторів Ви ще знаєте?
6. Назвіть відомі Вам типи резисторів.
7. Позначення різних типів резисторів.

Вплив електричного навантаження

При електричному навантаженні виникають як зворотні, так і незворотні зміни опору резистора.

В недротяних резисторах із-за зернистої структури резистивного елементу виникає нерівномірний нагрів місць зіткнення окремих мікро частин, під дією яких змінюється величина перехідного опору. При малих навантаженнях – це зворотній процес, при великих - відбувається спікання частинок і зміни становляться незворотними.

Зворотні зміни опору під дією навантаження оцінюють коефіцієнтом навантаження, тобто відношенням зміни опору під дією навантаження до номінальної потужності резистора. $K_n = 0...1,0$. Найчастіше всього $K_n = 0,1...0,6$.

1.3 Конденсатори

Конденсатори, так як резистори, відносяться до пасивних елементів радіоелектронної апаратури. Вони відносяться до найбільш масових елементів електричних кіл. Разом з резисторами, конденсатори становлять близько 60-70% від усіх електрорадіоелементів, тому знання властивостей та параметрів

конденсаторів є важливим для подальшого розуміння процесів, які проходять в електричних колах.

Загальні відомості про конденсатор

Електричний конденсатор – це радіодеталь радіоелектронної апаратури, в якій використовують її ємність.

Основним призначенням конденсатора є накопичення електричного заряду. Після відключення від джерела напруги, заряд утримується на обкладках силами електростатики. Якщо конденсатор, як цілісний елемент, не є наелектризованим, то заряд, що накопичений на обох обкладках є однаковим за величиною і протилежний за знаком. Здатність конденсатора накопичувати заряд характеризує його електрична ємність:

$$C = Q / U$$

де: C — ємність конденсатора у фарадах; Q — електричний заряд, що накопичений на одній з обкладок в кулонах; U — електрична напруга між обкладками у вольтах.

Ємність виражається у фарадах. Одна фарада є досить значною одиницею, тому на практиці ємність конденсаторів виражається у піко-, нано-, мікро- та міліфарадах.

Конденсатори широко застосовуються в апаратурі зв'язку, управління, обчислювальної техніки, автоматики, в коливальних контурах, електричних фільтрах, розподілюючих контурах, імпульсних вузлах, в контурах інтегрування та диференціювання.

Класифікація конденсаторів

Конденсатори класифікуються за різними ознаками

- за можливістю регулювання ємності (постійні, змінні, та напівзмінні);
- за залежністю ємності від напруги та температури (лінійні та нелінійні);
- за матеріалом діелектрика (органічні, неорганічні, оксидні, та газоподібні);
- за областями застосування (низьковольтні, високовольтні, низькочастотні, високочастотні, імпульсні, полярні, неполярні, дозиметричні та ті, що придушують заваду та т. ін.);
- по конструктивному виготовленню (пакетні, дискові, багато пластинчаті, литі секційні, трубчаті, рулонні, резервуарні);
- по захисту від вологи (не захищені, спресовані, вакуумні, паковані, герметичні);
- по фазовому стану діелектрика (газоподібні, рідкі, тверді);

Ємність конденсатора змінної ємності можна змінювати при його роботі у відповідному пристрої. Управління ємністю здійснюється механічно, електричною напругою (варіконди) або температурою (термоконденсатори). Конденсатори змінної ємності застосовують для плавного настроювання коливальних контурів, в ланцюгах автоматики та т. ін.

Напівзмінні конденсатори застосовуються для регулювання ємності в невеликих межах. Їх застосовують для рівняння початкової ємності контурів, для періодичного регулювання контурів, де необхідна незначна зміна ємності.

Параметри конденсаторів

До основних параметрів конденсаторів відносяться:

- номінальна ємність, $C_{ном}$;

- допуск;

- номінальна напруга - це напруга, при якій конденсатор може працювати в заданих умовах на протязі терміну служби зі збереженням параметрів в допустимих межах. Залежить від конструкції та матеріалу діелектрика;

- температурний коефіцієнт ємності, ТКЄ - визначає вплив температури на значення ємності. Для більшості конденсаторів в робочому діапазоні температур ТКЄ постійне, тобто зміна ємності конденсатора від температур лінійна. Це особливо характерно для високочастотних керамічних конденсаторів. Значення ТКЄ для них наступні: П – позитивний, М – негативний, МП0 – нульовий.

Наприклад: П100 – $TКЄ = +100 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$; МП0 - $TКЄ = 0 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$;

М47 - $TКЄ = - 47 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$

ТКЄ лежать в межах від П100 до М2200.

- тангенс кута втрат - характеризує активні втрати в конденсаторах. Для керамічних ВЧ, слюдяних, полістирольних і фторопластових – $(10...15) \cdot 10^{-4}$; для полікарбонатних - $(10...25) \cdot 10^{-4}$; керамічних НЧ – 0,035...0,005; для оксидних – (5...35)%.

- опір ізоляції $R_{із}$, та струм витоку $I_{вит}$.. Опір ізоляції та струм витоку характеризують якість конденсатора та враховуються при розрахунках високоомних та слабкострумових кіл. Найбільший опір в фторопластових конденсаторах, менший в керамічних, полікарбонатних та лавсанових. Найменший в сегнетокерамічних. Для оксидних задають струм витоку, значення якого пропорційне ємності та напрузі. Найменший мають танталові конденсатори – 1...10 мкА, В алюмінієвих – 10...100 мкА.

Номінальна ємність та допуск

Номінальна ємність $C_{ном}$ є основним параметром конденсатора.

За одиницю ємності фараду (Ф) приймають ємність такого конденсатора, у якого при напрузі в 1В нагромаджується заряд в 1 кулон,

На практиці застосовуються менші одиниці, ніж фарада:

$$1\text{мкФ}=10^{-6}\text{Ф}, 1\text{нФ}=10^{-9}\text{Ф}, 1\text{пФ}=10^{-12}\text{Ф}.$$

Ємність конденсатора залежить від його конструкції та типу діелектрика.

Для найпростішого конденсатора, який складається з двох плоских металевих пластин (обкладок) однакових за розміром, між якими розташований діелектрик, ємність в фарадах знаходиться за формулою

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot S}{d}$$

де ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму ($\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-6} \text{ Ф/м}$);

ϵ - діелектрична проникність діелектрика (величина безрозмірна);

S - площа пластини, м^2 ;

d - товщина діелектрика, м.

Ємність конденсатора збільшується зі зменшенням товщини діелектрика, але при цьому зменшується робоча напруга конденсатора.

Номінальні значення ємності конденсаторів, як і опорів резисторів стандартизовані та входять до рядів шкал. Частіше застосовуються шкали E3, E6, E12 та E24.

Для того, щоб знайти всі значення номінальних ємностей кожного ряду треба кожне число обраного ряду помножити на 10^n , де n - ціле позитивне або негативне число.

Фактичне значення ємності конденсатора може відрізнитися від номінального в межах допуску. Допуски виражаються у відсотках та позначаються цифрами або літерами .

Маркування конденсаторів

Умовне графічне позначення конденсаторів на принципових електричних схемах.

Маркування конденсаторів - літерно-цифрове. Воно наноситься на його корпус і може бути повне або скорочене.

Повне позначення має такі елементи:

- тип;
- номінальна ємність;
- номінальна напруга;
- допуск;
- дата виготовлення.

Наприклад, в позначенні номінальної ємності можуть бути відсутні одиниці вимірювання, якщо конденсатори цього типу вимірюються тільки в одних одиницях, наприклад, в мкФ у оксидних конденсаторах.

Може бути відсутнім і допуск, якщо конденсатори цього типу випускаються з одним допуском.

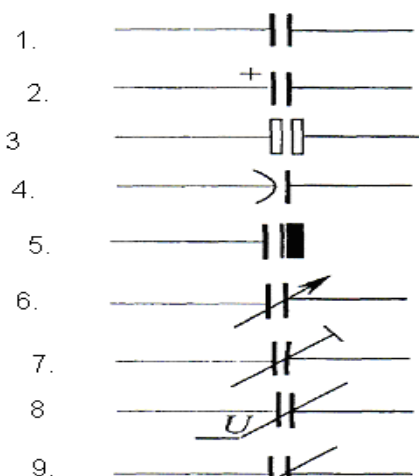


Рисунок 1.2 - Умовне графічне позначення конденсаторів на принципових електричних схемах: 1-конденсатор постійної ємності. 2 - полярний електролітичний конденсатор. 3 - неполярний електролітичний конденсатор. 4 - прохідний конденсатор. 5 - опорний конденсатор. 6 - конденсатор змінної ємності. 7 - підстроювальний конденсатор. 8 – варіконд, 9-термоконденсатор.

Скорочена умовне позначення конденсаторів відповідно до ГОСТ 11 076-69 і ОСТ 11.074.008-78 складається з наступних елементів.

перший елемент- Одна або дві букви - визначає тип конденсатора:

К - конденсатор постійної ємності;

КП - конденсатор змінної ємності;

КТ - конденсатор підлаштування.

другий елемент- Цифри - позначає використовуваний тип діелектрика між обкладинками та групу за робочою напругою. У табл. 1.1 наведена розшифровка другого елементу позначення конденсаторів.

третій елемент - порядковий номер розробки конкретного типу, до складу якого може входити і буквене позначення (Ч - для роботи в ланцюгах змінного струму, П - для роботи в колах постійного і змінного струму, І - для роботи в імпульсному режимі; У - універсальні). Відсутність третього елемента позначення вказує на те, що конденсатор призначений для роботи з постійним і пульсуючим струмом.

Повне умовне позначення конденсатора включає в себе його скорочена назва, а також значення основних параметрів і характеристики, необхідні для замовлення і записи в конструкторській документації.

Таблиця 1.1 - Розшифровка другого елемента позначення конденсаторів.

конденсатор	позначення
<i>постійної ємності</i>	
Керамічний на номінальну напругу нижче 1600 В	K10
Керамічний на номінальну напругу 1600 В і вище	K15
скляний	K21
Стеклокерамічеській	K22
Стеклоемалевий	K23
Слюдяної малої місткості	K31
Слюдяної великої місткості	K32
Паперово-фольговий на напругу нижче 1600 В	K40
Паперово-фольговий на напругу 1600 В і вище	K41
метал обумажний	K42
електролітичний алюмінієвий	K50
Електролітичний танталовий фольговий	K51
Електролітичний танталовий об'ємно-пористий	K52
Оксидно-напівпровідниковий	K53
повітряний	K60
вакуумний	K61
Полістирольний з фольгових обкладинками	K70
Полістирольний з металізованими обкладками	K71
фторопластовий	K72
Поліетилентерефталатний з металізованими обкладками	K73
Поліетилентерефталатний з фольгових обкладинками	K74
комбінований	K75
Лакоплівковий	K76
<i>Підлаштувальний</i> вакуумний	KT1
повітряний	KT2
Газоподібний.	KT3
Твердий <i>змінної ємності</i> вакуумний	KT4 КП1
повітряний	КП2
газоподібний	КП3
твердий	КП4

Приклади:

1. К-10-47: керамічний конденсатор постійної ємності на номінальну напругу до 1600 В з номером розробки - 47.
2. КТЧ-27: конденсатор напівзмінний з твердим діелектриком для змінного струму та номером за порядком - 27.
3. КЗ1П-1: конденсатор постійної ємності, слюдяний, малопотужний для постійного струму з номером за порядком - 1.

Контрольні питання

1. В чому полягає принцип дії конденсатора?
2. На які типи поділяються конденсатори?
3. Конденсатори постійної ємності. Поділ за типом діелектрика.
4. В чому полягають особливості конденсаторів змінної ємності?
5. Якими параметрами характеризуються конденсатори?
6. Ряди номінальної ємності конденсаторів.
7. Які конструкції конденсаторів Ви знаєте?

1.4 Індуктивні елементи

Класифікація котушок індуктивності

Котушки індуктивності – намотуваний або друкований ЕРЕ з індуктивним характером опору. Котушки індуктивності виконуються в вигляді обмоток і призначені для концентрації електромагнітного поля.

Індуктивність котушки залежить від числа витків, довжини та діаметра котушки, наявності та типу осердя та наявності екрану. У залежності від призначення індуктивність котушок може бути від декількох наногенрі (нГн) до декількох десятків генрі (Гн). Допустиме відхилення (точність) індуктивності котушок, призначених для контурів з резонансним налаштуванням, повинна бути не меншою за 0,2...0,5%. Точність котушок зв'язку, дроселів тощо, які працюють не на резонансних частотах може становити 10...15%. Осердя із феромагнітних матеріалів (феродіелектриків) та феритів підвищують величину індуктивності і дають можливість в певних межах регулювати її величину введенням та виведенням осердя. На надвисоких частотах, коли феродіелектрики втрачають високу магнітну проникність і різко збільшують втрати, застосовуються металеві (латуні) осердя.

За призначенням поділяються:

- **контурні** – ті котушки, які разом з конденсатором утворюють коливальні контури;
- **зв'язку** – служать елементами зв'язку між каскадами;
- **варіометри** – котушки зі зміною індуктивності в процесі роботи;

– дроселі ВЧ – служать для зменшення струму ВЧ, що проходить по колам зі збереженням можливості проходження струмів НЧ та постійного.

За конструктивними ознаками:

- каркасні;
- безкаркасні;
- без осердя;
- з осердям.

Загальний вигляд котушок індуктивності представлено на рис.

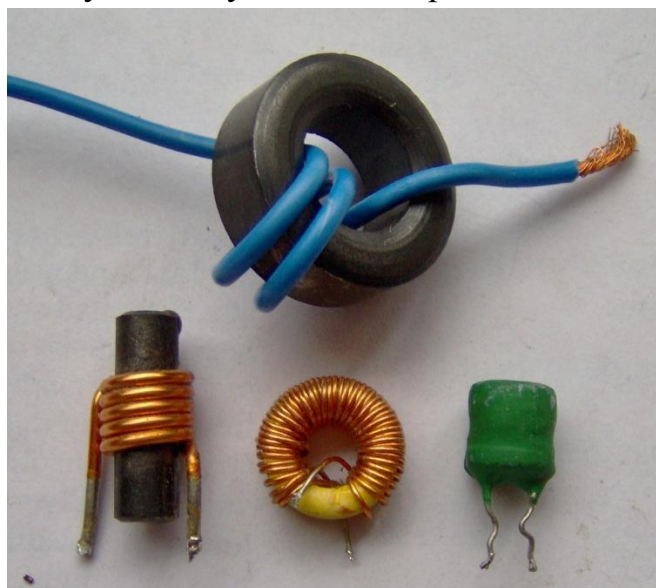


Рисунок 1.3 - Загальний вигляд котушок індуктивності

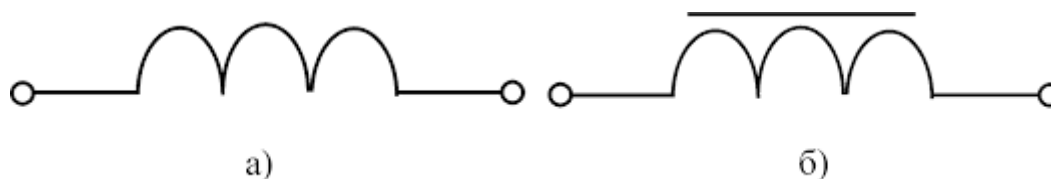


Рисунок 1.4 – Умовне позначення котушок індуктивності

Параметри котушок індуктивності

Ними є номінальні значення індуктивності, допуск, добротність, ТКІ, власна ємність.

1. Номінальні значення індуктивності котушок залежно від частоти та призначення може становити частки мкГн – десятки мГн. Індуктивність дроселів ВЧ – десятки мГн.

Номінальні значення залежить від діапазону частоти та конструктивних особливостей котушки.

2. Добротність – це безрозмірна величина, що дорівнює відношенню накопиченої реактивної енергії до середньої за період коливань потужності втрат

або для індуктивності $Q = \omega L / R$, де R – опір втрат в котушці. Добротність котушок лежить в межах 30...300.

3. Температурна стабільність визначається зміною її індуктивності або добротності під дією температури. Залежить від матеріалу конструкції котушки та технології її виготовлення.

4. Власна ємність – ємність між витками через повітря, каркас, дріт.

Залежить від типу намотки:

– одношарова з кроком – 0,1...1 пФ,

– одношарова суцільна – 3...5 пФ,

– багатошарова – 20...30 пФ.

Контрольні запитання

1. В чому полягає принцип дії індуктивних елементів?
2. Які типи котушок індуктивності Ви знаєте?
3. Назвіть особливості різних типів котушок індуктивності.
4. Магнітні осердя. Для чого вони використовуються?
5. Назвіть основні матеріали для осердь котушок індуктивності.
6. Які параметри котушок індуктивності Ви знаєте?
7. Від чого залежить індуктивність котушки?