

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПАРАМЕТРИ ПОСТІЙНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Мета роботи:

1. Ознайомитесь з властивостями, маркуванням і конструкцією основних типів постійних конденсаторів, які використовуються в РЕА, а також методикою розрахунку конденсаторних подільників змінної напруги.

2. Набути практичних навичок збирати та перевіряти роботу конденсаторних подільників напруги у програмі LTspice XVII.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ І РОЗРАХУНКОВІ ФОРМУЛИ

Конденсатори займають друге місце після резисторів за обсягом використання. Конденсатор являє собою систему з двох або більше струмопровідних обкладинок, що розділені діелектриком, і призначені для використання його ємності.

Принцип дії конденсатора оснований на властивості накопичувати на обкладинках електричний заряд при прикладенні до них різниці потенціалів. Ємність конденсатора визначається відношенням заряду будь-якої обкладинки конденсатора до різниці потенціалів між ними $C = |q/U|$, де C [Фарада] – ємність конденсатора, q [Кулон] – заряд, U [Вольт] – різниця потенціалів. Заряд електрона – $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Конденсатор не пропускає електричний струм, оскільки його обкладинки розділені діелектриком. Однак перезарядження конденсаторів під дією змінної напруги буде еквівалентним пропусканню ним змінного струму. Таким чином, вони можуть використовуватись для згладжування пульсацій в джерелах постійного і змінного струму, для відсікання постійної складової при суміщенні різних каскадів, служити буферною ємністю для полегшення режимів роботи випрямлячів, знижувати вплив імпульсних перешкод на роботу високочутливих елементів, використовуватися при налаштуванні високочастотних коливальних

контурів приймачів і генераторів, зсуву по фазі та інше. Опір конденсатора Z_k змінному струму обернено пропорційний ємності конденсатора C та частоті змінного струму f

$$Z_k = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.1)$$

Конденсатор не розсіює тепло при проходженні через нього електричного струму, оскільки його опір принципова відрізняється від опору резистора. Резистор, пропускаючи змінний струм, поглинає енергію протягом усього періоду коливань струму. Конденсатор на початку періоду поглинає енергію із кола, а потім віддає назад в коло накопичену ним енергію. Завдяки такій властивості конденсатор є реактивним елементом на відміну від резистора. Через це номінальну потужність конденсатора не нормується.

Конденсатори, які використовуються в РЕА, можна розділити на:

1. **Конденсатори постійної ємності** (рис.2.1) використовуються в різноманітних фільтрах, коливальних системах та інше. Стандартизовані. Наладженій серійний випуск всіх типів конденсаторів постійної ємності.



Рисунок 2.1 – Конденсатори постійної ємності

2. **Конденсатори змінної ємності** (рис.2.2) використовують для плавного настроювання коливальних контурів, регулювання ступеня зв'язку між різними

ЕРЕ. Повністю не стандартизовані. Розроблюються відповідно до конкретного РЕА.

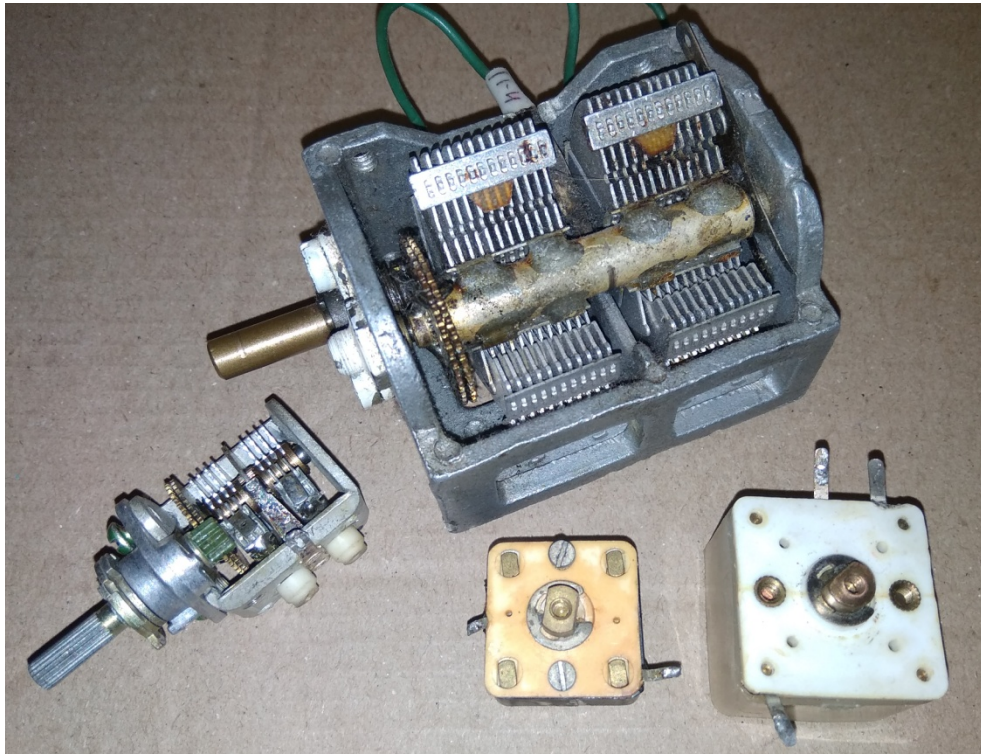


Рисунок 2.2 – Конденсатори змінної ємності

3. *Підстроювальні конденсатори* (рис.2.3) використовують в колах, в яких ємність повинна точно встановлюватися або регулюватися при періодичному настроюванні параметрів РЕА. Деякі типи конденсаторів стандартизовані.

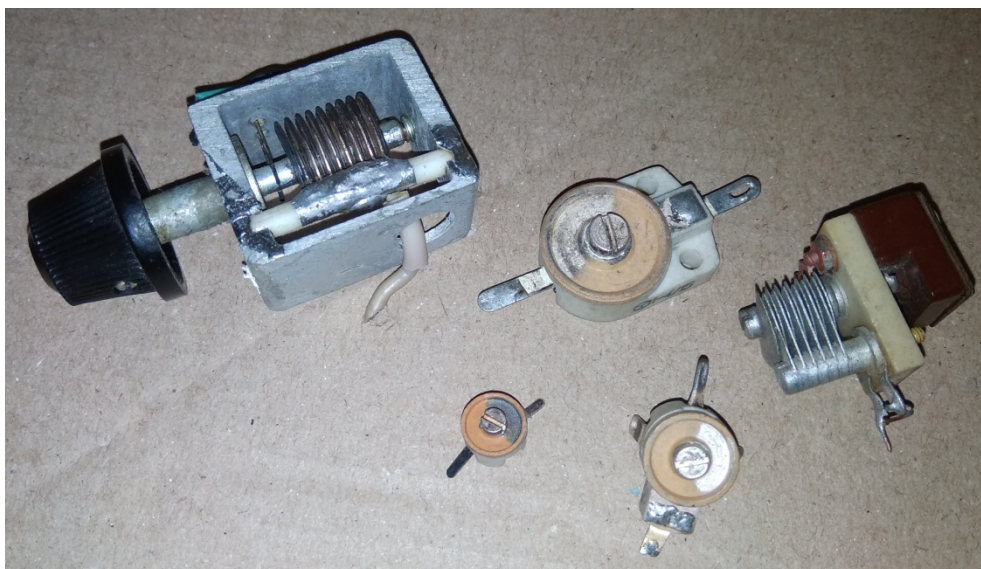


Рисунок 2.3 – Підстроювальні конденсатори

1. Конденсатори постійної ємності

Конденсатор постійної ємності – це конденсатор, ємність якого під час експлуатації та регулювання не змінюється. Властивості конденсатора постійної ємності залежать від типу застосованого діелектрика. Він визначає основні параметри конденсаторів: опір ізоляції, стабільність ємності, діелектричні втрати та інше.

За матеріалом використовуваного діелектрика конденсатори поділяються на:

– з *газоподібним діелектриком* (як діелектрик в них використовується повітря, стиснений газ (азот, фреон, елегаз), вакуум).

– з *оксидним діелектриком* (як діелектрик в них використовується оксид, утворений електрохімічним шляхом на аноді – металевій обкладинці з деяких металів. Залежно від матеріалу анода *оксидні конденсатори* підрозділяють на *алюмінієві, танталові і ніобієві*; іншою обкладинкою конденсатора – катодом служить *електроліт, що просочує паперову або тканинну прокладку* в оксидно-електролітичних (рідинних) алюмінієвих і танталових конденсаторах, *рідкий* або *гелеподібний електроліт* в танталових об'ємно-пористих конденсаторах і *напівпровідник* (двоокис марганцю) в оксидно-напівпровідникових конденсаторах).

– з *твердим неорганічним діелектриком* (як діелектрик в них використовується кераміка, скло, склоемаль, склокераміка та слюда. Обкладинки виконуються у вигляді тонкого шару металу, нанесеного на діелектрик шляхом безпосередньої його металізації, або у вигляді тонкої фольги).

– з *твердим органічним діелектриком* (виготовляють зазвичай намотуванням тонких довгих стрічок конденсаторного паперу, плівок або їх комбінації з металізованими або фольговими електродами).

– з *рідким діелектриком* (наповнені мінеральним маслом або синтетичною рідиною).

В залежності від призначення конденсатори поділяються на:

– **конденсатори загального призначення** (діапазон ємності від 10 пФ до 10 000 мкФ, робоча напруга до 1000 В, допустиме відхилення від номінального від $\pm 5\%$ до ± 30), (**низьковольтні, низькочастотні**);

– **конденсатори спеціальні:**

високовольтні (робоча напруга від 1 кВ до 50 кВ);

високочастотні (мають малу індуктивність виводів);

імпульсні (призначені для роботи в імпульсних колах);

пускові (допускають роботу при великих короткочасних струмах);

завадоподавляючі (призначені для роботи в завадоподавляючих фільтрах) та інше.

За способом кріплення розрізняють конденсатори:

– для навісного монтажу;

– для друкованого монтажу;

– для поверхневого монтажу;

– для мікромодулів;

– для інтегральних мікросхем.

В залежності від способу захисту від зовнішніх факторів конденсатори поділяються на:

– незахищені (для герметизованої апаратури);

– захищені (покриті лаком);

– з неізолюваним корпусом (не дозволяють з'єднання з корпусом та струмопровідними частинами РЕА);

– ізолювані (допускають такий контакт);

– герметизовані (робочий об'єм повністю ізолюваний).

Крім того, конденсатори можна розділити на **полярні** і **неполярні** (хоча за цими ознаками їх зазвичай не класифікують). Полярні конденсатори можуть працювати тільки в колах постійного струму і потребують строгого дотримання полярності при підключенні (плюс підключається до виводу зі знаком плюс, мінус, відповідно – до виводу зі знаком мінус). При недотриманні цієї вимоги такий конденсатор може вийти з ладу. Неполярні конденсатори можуть

працювати в колах як постійного, так і змінного струму. Такі конденсатори можна підключати без врахування полярності напруги.

2. Конденсатор змінної ємності

Конденсатор змінної ємності – це конденсатор, ємність якого змінюється користувачем під час експлуатації РЕА. Керувати ємністю можна двома способами – механічним та електричним.

Конденсатори змінної ємності з механічним керування складаються з двох систем паралельних пластин, одна з яких може плавно переміщуватися а її пластини при цьому заходять в зазор між пластинами другої системи. Нерухому систему називають статором, рухому – ротором. Найбільше розповсюдження отримали конденсатори з плоскопаралельними пластинами та обертальним переміщенням ротора.

Основне призначення конденсатори змінної ємності знаходять як елемент настройки діапазонних коливальних контурів. Характеризуються законом зміни ємності – функціональною характеристикою.

За цією ознакою конденсатори поділяються на:

– прямоємнісні $C = a \cdot \varphi + b$ – використовують як регулювальні та підстроювальні при малому коефіцієнті перекриття діапазону;

– прямохвильові $C = (a \cdot \varphi + b)^2$ – використовуються в основному в вимірювальній техніці;

– прямочастотні $C = 1/(a \cdot \varphi + b)^2$ – дають прямий підрахунок частоти;

– логарифмічні $C = \exp(a \cdot \varphi + b)$ – характерні постійною в межах діапазону зміною ємності;

– частотно-логарифмічні $C = b \cdot \exp(a \cdot \varphi)$ – характерні постійною в межах діапазону зміною частоти в залежності від кута повороту ротора.

3. Підстроювальні конденсатори

1. Підстроювальні конденсатори – це конденсатори, ємність яких під час експлуатації не змінюється, а регулюється при виробництві або налаштування

РЕА. Підстроювальні конденсатори відрізняються простотою конструкції, малими розмірами та невеликим значенням максимальної ємності.

Найпоширенішими є пластинчаті з повітряним чи керамічним діелектриком. У керамічних – обкладинку створює шар срібла, нанесений на кераміку в вигляді півкола.

Керування ємністю електричним способом відбувається за допомогою варикапів. **Варикап** – це напівпровідниковий діод (рис.2.4) ємність якого керується зворотною напругою. При зміні останньої змінюється товщина збідненого шару, відбувається перерозподіл просторових зарядів р-n переходу, внаслідок чого змінюється бар'єрна ємність переходу. (С лежить в межах від 1 до сотень пФ).

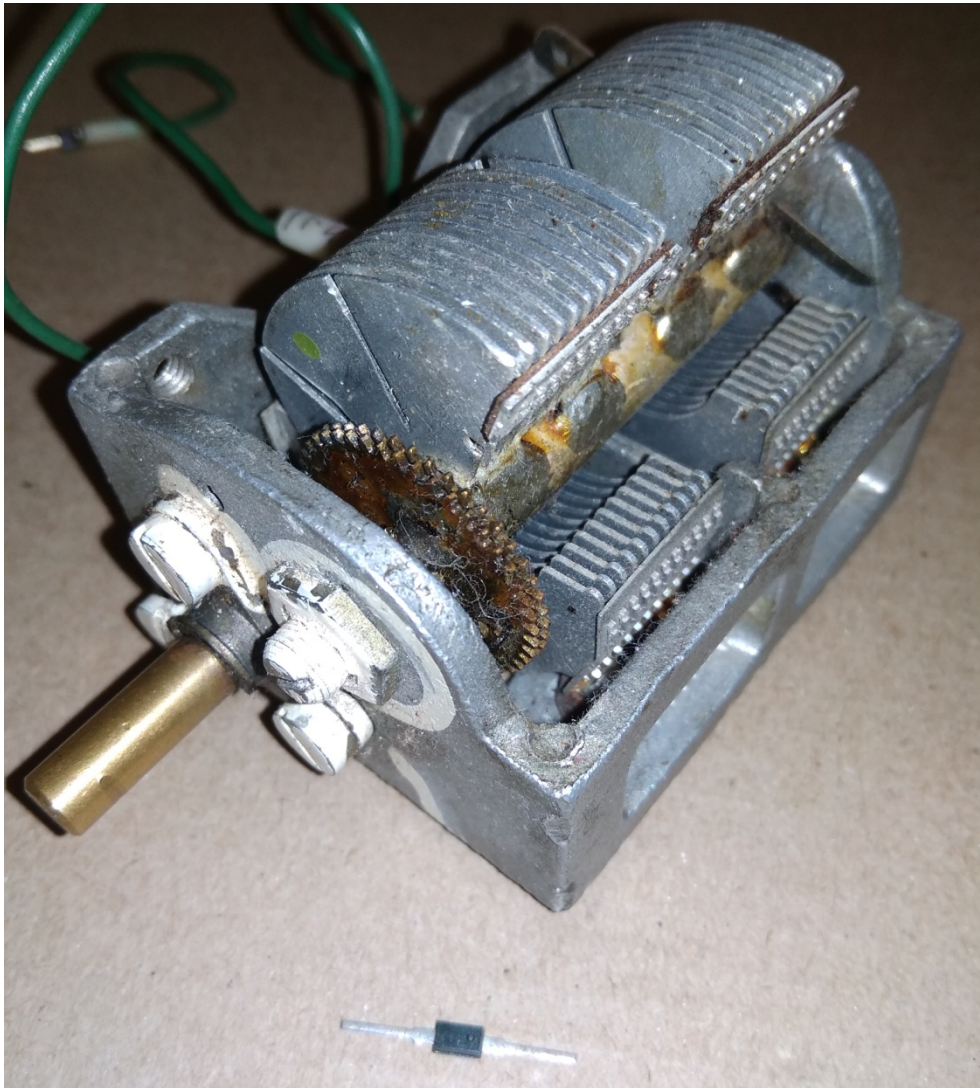


Рисунок 2.4 – Заміна конденсатора з механічним регулюванням на електронне

4. Параметри конденсаторів

До основних відносять:

Номінальна ємність – ємність, значення якої позначене на конденсаторі або вказане в супроводжувальній документації.

Номінальні значення конденсаторів стандартизовані. Згідно ГОСТ 2825-67 встановлено для постійних конденсаторів наступні ряди Е6, Е12, Е24. Цифра після букви Е означає кількість градацій значень ємності в ряді, яке для визначення номінальної ємності повинно бути помножене на 10^n , де n – ціле додатне чи від'ємне число.

Ряди Е6, Е12, Е24 містять відповідно 6; 12 та 24 номінальних значень величини в кожному десятковому інтервалі (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Ряди номінальних значень

Ряд	Номінальні значення						Допуск, %
Е6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±20
Е12	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
Е24	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	

Номінальна ємність в кожній декаді відповідає вказаним в цій таблиці числу, або помноженому чи поділеному на 10^n , де n – ціле додатне чи від'ємне число.

Фактичне значення ємності відрізняється від номінального на величину допустимого відхилення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Допустиме відхилення від номінального значення

Відхилення, %	Позначення		Відхилення, %	Позначення	
0,1	В	Ж	20	М	В
0,2	С	У	30	Н	Ф
0,5	Д	Д	-10...+30	О	-
1	Е	Р	-10...+50	Т	Э
2	Г	Л	-10...+100	У	Ю
5	І	И	-20...+50	С	Б
10	К	С	-20...+80	З	А

2. Температурний коефіцієнт ємності – 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, Н – негативний, МП0 – нульовий.

Наприклад:

$$\text{П100} - \text{ТКЄ} = +100 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

$$\text{МП0} - \text{ТКЄ} = 0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

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

ТКЄ лежать в межах від П100 до М2200.

Конденсатори при цьому фарбуються в відповідний колір та мають кольорову відмітку. Так наприклад конденсатори, пофарбовані в сірий колір з червоною відміткою мають ТКЄ П60, в зелений М1500.

Для конденсаторів з іншими типами діелектриків ТКЄ не нормується. Так слюдяні та полістирольні конденсатори мають ТКЄ $-(50...200) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, полікарбонатні - $\pm 50 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Для конденсаторів з нелінійною залежністю ТКЄ ідуть слідуєчи позначення: Н10 ($\pm 10\%$), Н20 ($\pm 20\%$), Н30 ($\pm 30\%$), Н50 ($\pm 50\%$), Н70 (-70%), Н90 (-90%)

3. 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.

4. Тангенс кута втрат ($\text{tg}\delta$) – 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 – $(5...35)\%$.

При протіканні змінного струму через конденсатор вектори струму і напруги зміщені на кут δ , який називають кутом діелектричних втрат (або кутом втрат). При відсутності втрат $\delta = 0$ (ідеальний конденсатор). Тангенс кута втрат

визначається відношенням активної потужності P_a до реактивної P_p при синусоїдальній напрузі певної частоти

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_a}{P_p} = \frac{\sin \delta}{\cos \delta'} \quad (2.2)$$

із зростанням частоти значення $\operatorname{tg} \delta$ збільшується.

5. 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.

6. Добротність конденсатора – це величина зворотна до $\operatorname{tg} \delta$ – $Q_c = 1/\operatorname{tg} \delta$. Вона характеризує відношення модуля реактивної частки опору до активної на заданій частоті $Q_c = 1/(\omega RL)$, $\omega = 2\pi f$, f – частота, на якій визначаємо втрати. Визначається в першу чергу параметрами діелектрика конденсатора. Чим більша добротність конденсатора, тим менші втрати в ньому. Крім того на величину втрат велике значення має волога та температура. При підвищенні частоти, температури та вологи втрати ростуть.

7. Власна індуктивність. Крім ємності конденсатор має індуктивність, яка складається з:

- індуктивності самого конденсатора (робочого елемента);
- індуктивності внутрішніх та зовнішніх з'єднувальних провідників.

Індуктивність самого конденсатора залежить від розмірів та конструкції робочого елемента, його розміщення відносно корпусу, способу з'єднання обкладинок з виводами. Чим менші розміри конденсатора та коротші і товщі його виводи тим менша власна індуктивність конденсатора. Величина індуктивності мала і має приблизно такі значення:

- для ВЧ слюдяних конденсаторів – 0,1 нГн;
- для оксидних – 1...40 нГн;
- для паперових – 10...100 нГн.

Еквівалентна схема конденсатора складається з власної ємності, опору втрат та паразитної індуктивності: C, R, L .

Індуктивний опір частково компенсує ємнісний. Це призводить до зменшення повного опору конденсатора, що еквівалентно збільшенню його ємності. Із рівності повних опорів реального та еквівалентного конденсаторів

$$Z_e = 1/\omega C_e \text{ та } Z_p = 1/\omega C - \omega L \text{ знаходимо} \\ C_e \approx C/(1 - \omega^2 CL) \quad (2.3)$$

Наявність індуктивності збільшує еквівалентну ємність, приводить до сильної залежності її від частоти та визиває виникнення резонансних явищ, що порушує нормальне функціонування конденсатора. Резонансна частота визначається виразом

$$f_0 = 1/2\pi(LC)^{1/2} \quad (2.4)$$

При резонансі опір цього кола мінімальний і рівний активному опору втрат. На інших частотах комплексний опір конденсатора має реактивний характер: на більш низьких – ємнісний, на більш високих – індуктивний.

Використання конденсатора можливе лише на частотах нижчих резонансної, на яких він має ємнісний опір. Необхідно, щоб максимальна робоча частота була в 2...5 раз нижча резонансної частоти.

Для зниження індуктивності необхідно зменшувати розміри конденсаторів, виготовляти його виводи не з дроту а з стрічки та робити їх якомога коротшими. Деякі види конденсаторів призначених для НВЧ взагалі не мають виводів а оснащені металізованими торцями, якими вони безпосередньо припаюються до плати. Максимальна робоча частота для деяких типів конденсаторів наведена в табл.2.3

Таблиця 2.3 – Паразитна індуктивність та максимальна робоча частота деяких типів конденсаторів

Тип конденсатора	L , нГн	f_{max} , МГц
Слюдяний	0,1...100	1...250
Керамічний	1...10	50...3000
Паперовий	10...100	5...10
Змінної ємності повітряний	6...60	50...350

Як бачимо конденсатори великої ємності, наприклад паперові, працюють на низьких частотах. Із-за індуктивності стандартний паперовий конденсатор на частоті 50 МГц має опір 35 Ом, а тому не може бути використаний як блокуючий. Малогабаритний керамічний конденсатор має опір 1 Ом, тому для забезпечення нормальної роботи блокуючого конденсатора в широкому діапазоні частот паралельно паперовому великої ємності рекомендується під'єднувати керамічний або слюдяний конденсатор.

5. Система умовних позначень конденсаторів

Позначення конденсаторів, згідно ГОСТ 11076-64 та ОСТ 11.074.008-78, містить три елементи.

Перший елемент (одна або дві букви) позначає підклас конденсатора:

К – постійна ємність; КТ – підстроювальна; КП – змінна ємність; КН – нелінійна; КС – конденсаторна збірка.

Другий елемент – група конденсатора в залежності від типу діелектрик (табл. 2.4).

Третій елемент – порядковий номер розробки. Він визначає конструктивні особливості конденсатора.

Повне умовне позначення конденсатора має вигляд:

K75-10-250 В - 0,47 мкФ ± 5% - В ТУ.

Це означає: конденсатор постійної ємності з комбінованою ізоляцією з порядковим номером розробки 10 на номінальну напругу 250 В, номінальну ємність 0,47 мкФ, з допуском ± 5%, усекліматичне виконання, який поставляється згідно ТУ.

Таблиця 2.4 – Умовне позначення груп конденсаторів

Підклас конденсаторів	Група конденсаторів	Позначення групи
Постійна ємність	Керамічні з напругою нижче 1600 В	10
	Керамічні з напругою понад 1600 В	15
	Скляні	21
	Склокерамічні	22
	Тонкоплівкові	26

Слюдяні великої потужності	31
Слюдяні малої потужності	32
Паперові з напругою до 2 кВ	40
Паперові з напругою більше 2 кВ	41
Паперові металізовані	42
Оксидні електролітичні алюмінієві	50
Оксидні електролітичні танталові	51
Об'ємнопористі	52
Окисно-напівпровідникові	53
Іоністори	58
Повітряні	60
Вакуумні	61
Полістирольні	71
Фторопластові	72
Поліетилентетрафталатні	73
Комбіновані	75
Лакоплівкові	76
Полікарбонатні	77
Поліпропіленові	78

Для старих типів конденсаторів в основі позначень бралися конструктивні, технологічні, експлуатаційні та інші особливості. Наприклад: **КД** – конденсатор дисковий, **ФТ** – фторопластовий термостійкий, **КТП** – конденсатор трубчатий прохідний, **КЛС** – керамічний, литий секціонований, **КСО** – конденсатор слюдяний опресований, **МБ** – металопаперовий

На корпус постійного конденсатора (рис.2.5) виноситься у вигляді маркування тип конденсатора, кодоване позначення номінального значення ємності, допуск, група ТКЄ і дата виготовлення. Через малі габаритні розміри не всі зазначені параметри можуть перебувати в маркуванні конденсатора.



Рисунок 2.5 – Маркування на корпусі постійного конденсатора

Кодоване позначення номінальної ємності складається з трьох або чотирьох знаків, які містять дві або три цифри та букву. Буква латинського або кирилиці позначає множник: П(р) – піко = 10^{-12} Ф; Н (н) – нано = 10^{-9} Ф; М (μ) – мікро = 10^{-6} Ф; Наприклад, 2,2 пФ – 2П2 (2р2); 1500 пФ – 1Н5 (1н5); 0,1 мкФ – М1 (μ1); 10 мкФ – 10М (10μ).

Крім буквено-цифрового маркування використовується спосіб цифрового маркування трьома або чотирма цифрами за стандартами ІЕС (рис. 2.6).

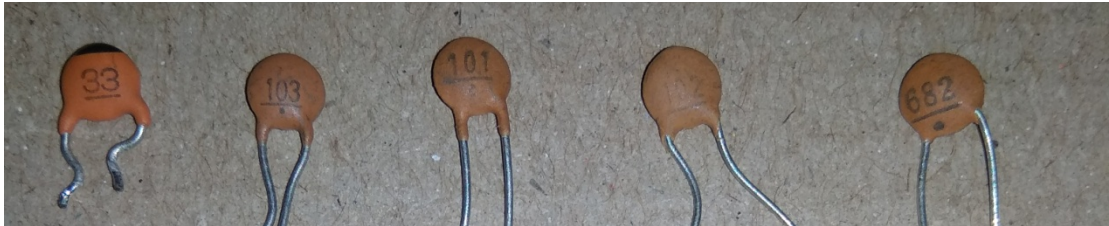


Рисунок 2.6 – Маркування на корпусі постійного конденсатора за стандартами ІЕС

При такому способі маркування перші дві або три цифри позначають значення ємності в пікофарадах (пФ), а остання цифра – показник степеня множника 10. При позначенні ємності менше 10 пФ останньою цифрою може бути «9» (109 = 1 пФ), при позначенні ємності 1 пФ та менше першою цифрою буде «0» (010 = 1 пФ). Як розділова кома використовується буква R: R1 – 0,1 мкФ, R22 – 0,22 мкФ. Після позначення ємності може бути нанесено літерний символ, що позначає допустиме відхилення ємності конденсатора (табл. 2.3). Внаслідок того, що площа поверхні корпусу конденсатора часто недостатня для нанесення цифрових позначень, широко використовується кольорове маркування або у вигляді кольорових смуг, або у вигляді кольорових точок. Кількість маркувальних міток може бути від трьох до шести, а кодуватись можуть як основні параметри конденсатора (ємність та робоча напруга), так і додаткові (допуск та ТКЄ). Як правило перші дві або три мітки означають значення ємності, а наступні за ними відповідно множник, допуск і ТКЄ. В таблицях 2.5 – 2.11 наведено порядок кольорового маркування конденсаторів різних груп.

Таблиця 2.5 – Допустимі відхилення ємностей конденсатора

Код	Допуск, %	Код	Допуск, %
Ж (B)	±0,1%	- (Q)	-10...+30%
У (C)	±0,2%	Э (T)	10...+50%
Д (D)	±0,5%	Ю (Y)	-10...+100%
Р (F)	±1%	Б (S)	-20...+50%
Л (G)	±2%	А (Z)	-20...+50%
И (J)	±5%	Я (-)	+100%
С (C)	±10%		
В (M)	±20%		
Ф (N)	±30%		

Таблиця 2.6 – Кольорове маркування електролітичних конденсаторів (чотири мітки)

Колір смужки (точки)	Номінал	Множник	Допуск	Напруга, %
Золотий	8,2			1,6
Срібний	6,8			2,5
Чорний	1,0	1μF	±20%	4
Коричневий	1,2	10μF		6,3
Червоний	1,5	100μF		10
Оранжевий	1,8	1mF		16
Жовтий	2,2	10mF		40
Зелений	2,7	100mF		20
Голубий	3,3	1F		30
Фіолетовий	3,9	10F	-20...+50%	
Сірий	4,7	10nF	-20...+80%	3,2
Білий	5,6	100nF	±10%	6,3

Таблиця 2.7 – Кольорове маркування електролітичних конденсаторів (три мітки)

Колір смужки (точки)	Номінал	Множник	Напруга, %
Золотий	82		1,6
Срібний	68		2,5
Чорний	10	1pF	4
Коричневий	12	10pF	6,3
Червоний	15	100pF	10
Оранжевий	18	1nF	16
Жовтий	22	10nF	40
Зелений	27	100nF	20
Голубий	33	1μF	30

Фіолетовий	39	10 μ F	
Сірий	47	0,01pF	3,2
Білий	56	0,1pF	6,3

Таблиця 2.8 – Кольорове маркування електролітичних танталових конденсаторів

Колір смужки (точки)	Напруга, %	Номинал	Множник	Допуск
Золотий	1,6	82		
Срібний	2,5	68		
Чорний	4	10	μ	$\pm 20\%$
Коричневий	6,3	12	10pF	
Червоний	10	15	100pF	
Оранжевий	16	18	1nF	
Жовтий	40	22	10nF	
Зелений	20	27	100nF	
Голубий	30	33	1 μ F	
Фіолетовий		39	10 μ F	-20...+50%
Сірий	3,2	47	0,01pF	-20...+80%
Білий	6,3	56	0,1pF	$\pm 10\%$

Таблиця 2.9 – Кольорове маркування високовольтних конденсаторів

Колір смужки (точки)	1-ий елемент	2-ий елемент	Множник	Допуск	Напруга, %
Золотий					
Срібний					
Чорний		0		$\pm 20\%$	
Коричневий	1	1	10pF		
Червоний	2	2	100pF		250 В
Оранжевий	3	3	1nF		
Жовтий	4	4	10nF		400 В
Зелений	5	5	100nF		
Голубий	6	6			
Фіолетовий	7	7			
Сірий	8	8			
Білий	9	9		$\pm 10\%$	

Таблиця 2.10 – Кольорове маркування конденсаторів

Колір смужки (точки)	1-ий елемент	2-ий елемент	3-ий елемент	Множник	Допуск	ТКЄ
Золотий				0,01pF	±5%	
Срібний				0,1pF	±10%	
Чорний		0	0	1pF	±20%	МПО
Коричневий	1	1	1	10pF	±1%	М33
Червоний	2	2	2	100pF	±2%	М75
Оранжевий	3	3	3	1nF		М150
Жовтий	4	4	4	10nF		М220
Зелений	5	5	5	100nF	±0,05%	М330
Голубий	6	6	6	1μF	±0,25%	М470
Фіолетовий	7	7	7	10μF	±0,1%	М750
Сірий	8	8	8	0,01mF	±0,05%	
Білий	9	9	9	0,1mF		

Таблиця 2.11 – Конденсатори. Кольорове маркування ТКЄ

Колір смужки	Червоний + Фіолетовий	Сірий	Чорний	Коричневий	Червоний	Оранжевий
ТКЄ	П100	П33	МПО	М33	М75	М150
Колір смужки	Жовтий	Зелений	Голубий	Фіолетовий	Оранжевий + Оранжевий	Жовтий + Оранжевий
ТКЄ	М220	М330	М470	М750	М1500	М2200

Безкорпусні керамічні SMD-конденсатори, призначені для поверхневого монтажу, дуже часто не маркуються.

Вивідні конденсатори встановлюють в отвори друкованих плат з наступною пайкою виводів. SMD-конденсатори (для поверхневого монтажу) припаюють до контактних площадок на поверхні друкованої плати.

6. Основні конструкції конденсаторів постійної ємності

Найбільш розповсюджені такі конструкції конденсаторів постійної ємності.

1. **Рулонна.** В цьому випадку тонка плівка діелектрика з двох сторін перекладається металевими обкладинками, після чого вся система згортається в рулончик (рис. 2.7 а). Таку конструкцію мають паперові (К41, К42), полістирольні (К71), фторопластові (К72), поліетилентерефталатні (К73) та інші

конденсатори з пластичним або гнучким діелектриком. В якості металевих обкладинок використовують тонку фольгу з олова або алюмінію, або напилюють її на діелектрик. Недоліками такої конструкції є: велика індуктивність і відносно мала питома ємність. Такі конденсатори можна використовувати як заводозахисні.

2. Пакетна. В цьому випадку тонкі пластини діелектрика перекладають металевими обкладинками по черзі. Після цього таку систему стискають в пакет, а металеві обкладки замикають через одну (рис. 2.7 б). Металеві обкладки теж можуть бути як з фольги, так і напиленням. Така конструкція має невелику індуктивність, але маленьку питому ємність. В пакетної конструкції виготовляють слюдяні (31), скляні (21), лакоплівкові (76) конденсатори, а також деякі керамічні.

3. Циліндрична. Діелектрик виготовляють як порожнисту трубку, зовнішню і внутрішню поверхні якої металізують (рис. 2.7 в). така конструкція має дуже малу індуктивність, але і малу питому ємність. Тому такі конденсатори використовують як високочастотні. Такі конденсатори виготовляють, перш за все, з кераміки (K10, K15).

4. Оксидні. В цьому випадку діелектриком служить оксид металу. Наприклад, для конденсаторів оксидно-алюмінієвих (K50) це Al_2O_3 , а для оксидно-танталових (K51) – Ta_2O_5 . Однією обкладинкою служить металева фольга (анод), а інший (катод) служить електроліт, яким просочують прокладку з паперу або тканини (рис. 2.7 г). Такі конденсатори мають більшу питому ємність, але відносно низькі напруги і великі діелектричні втрати. Крім того, у міру служби відбувається висихання електроліту, і конденсатор втрачає свою ємність. Особливо це стосується оксидно-алюмінієвих конденсаторів типу K-50.

5. Литі секційні. Таку конструкцію мають керамічні конденсатори. З кераміки відливають «гребінку» з дуже тонкими стінками. Зазор між стінками металізують (рис. 2.7 д). Такі конденсатори мають більшу питому ємність і малу індуктивність. Це керамічні конденсатори типу K10, KM-4, KM-5 і SMD-конденсатори.

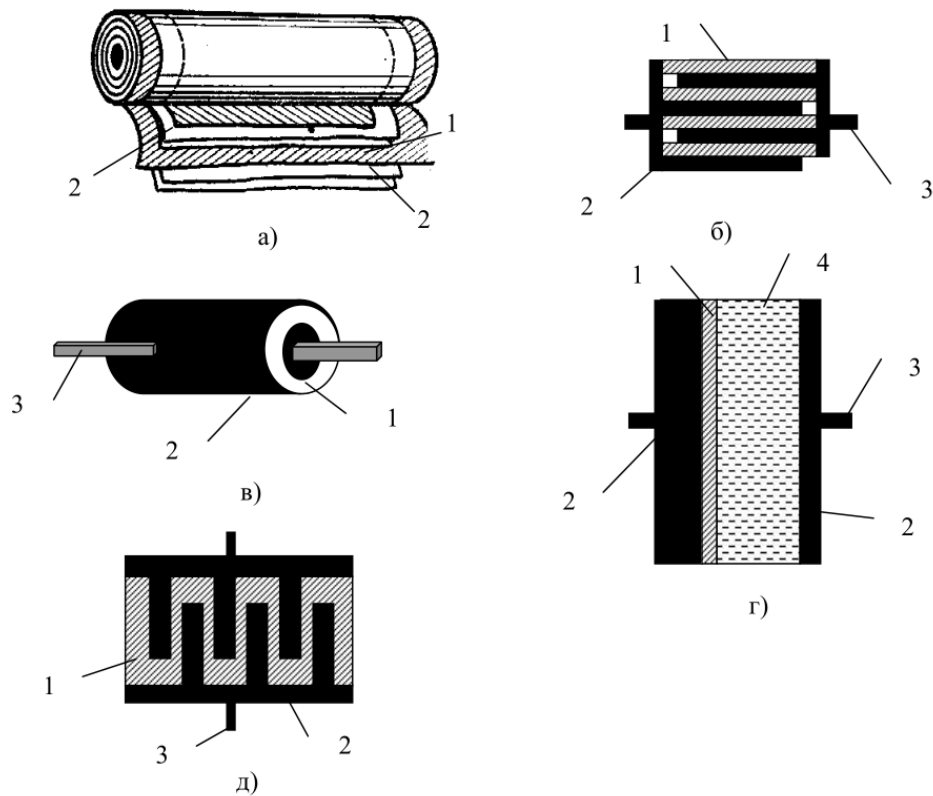


Рисунок 2.7 – Конструкції конденсаторів постійної ємності: а – рулонна; б – пакетна; в – циліндрична; г – оксидна; д – лита секційна.
 1 – діелектрик; 2 – металева обкладка; 3 - виводи; 4 – електроліт.

7. Характеристика та використання деяких типів конденсаторів постійної ємності

Тип діелектрика і конструкція грають важливу роль при використанні конденсаторів.

Поліетилентерефталатні конденсатори (К73) мають дуже малу абсорбцію і малі витоки. Тому їх вигідно використовувати як конденсатори для інтегрування в ЦАП, таймерах, генераторах малих частот.

Полістирольні (К71) і фторопластові (К72) конденсатори також мають малі витоки. Крім того, їх властивості дуже мало змінюються з частотою. Тому такі конденсатори використовують в контурах, де важливу роль відіграє стабільність параметрів.

Паперові конденсатори (К40 ... К42) мають велику реактивну потужність. Тому їх широко використовують для захисту від індустриальних перешкод, як іскрогасящі.

Комбіновані конденсатори (К75) мають велику пробивну напругу і широко використовуються в колах з високою напругою.

Оксидні конденсатори (К50 ... К53) мають велику питому ємність. Тому їх вигідно використовувати в згладжуючих фільтрах блоків живлення. При цьому танталові конденсатори (К51) мають кращі частотні властивості.

Керамічні конденсатори мають малу індуктивність. Їх використовують в першу чергу як блокуючі та високочастотні конденсатори. В останньому випадку їх використовують для термокомпенсації, фіксованого налаштування контурів.

8. Методика розрахунку конденсаторного подільника змінної напруги

Розглянемо методику розрахунку конденсаторного подільника змінної напруги, схема якого наведена на рис.2.8.

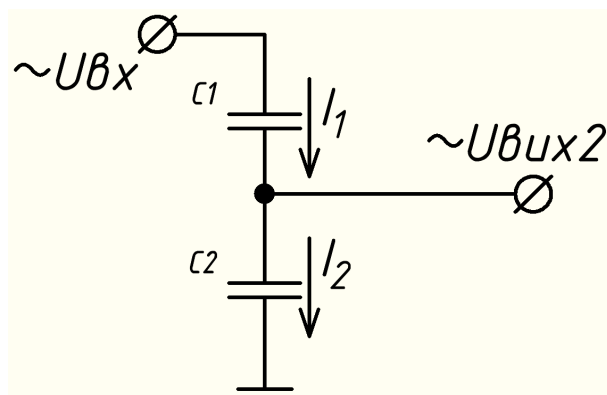


Рисунок 2.8 – Конденсаторний подільник змінної напруги

Розрахунок опору дільника напруги на конденсаторах полягає у визначенні необхідних значень опорів.

Опір X_c конденсатора є величиною не постійною і залежить від частоти змінного струму f і ємності C :

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi f C_1}, \quad (2.5)$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2}.$$

Як видно з формул (2.5), опір знижується зі збільшенням частоти та ємності. Для постійного струму, частота якого дорівнює нулю, опір прагне нескінченності, тому, дана схема ємнісного дільника напруги не застосовується на постійному струмі.

Для зниження напруги $U_{вх}$, наприклад, вдвічі, ємності C_1 і C_2 повинні дорівнювати. Універсальні формули визначення вихідних напруг $U_{вих1}$, і $U_{вих2}$ залежно від вхідної напруги $U_{вх}$ і ємностей C_1 і C_2 мають вигляд, аналогічний для резисторних подільників:

$$\begin{aligned} U_{вих1} &= U_{вх} \cdot \frac{X_{C1}}{X_{C1} + X_{C2}}, \\ U_{вих2} &= U_{вх} \cdot \frac{X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}}. \end{aligned} \tag{2.6}$$

Оскільки частота змінного струму для всіх конденсаторів однакова, формулу можна спростити:

$$\begin{aligned} U_{вих1} &= U_{вх} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \\ U_{вих2} &= U_{вх} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}. \end{aligned} \tag{2.7}$$

НАВЧАЛЬНІ ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ

Для виконання практичної роботи пропонується стенд, який включає в себе 16 дискретних конденсаторів різного типу. Наведені радіокомпоненти є основними типами, використовуваними в РЕА як для об'ємного, так і для поверхневого монтажу.

Завдання 1.

- 1.1. Вивчити основні параметри і маркування постійних конденсаторів.
- 1.2. Вивчити методику розрахунку конденсаторних подільників напруги.
- 1.3. Підготувати необхідні таблиці для результатів лабораторної роботи.

Завдання 2.

2.1. Змалюйте маркування, яке нанесене на корпусі кожного конденсатора.

2.2. Розшифруйте значення номінальної ємності C_n , допуску ΔC_n , ТКЕ, а також додаткові відомості, зазначені в маркуванні на корпусі конденсатора.

2.3. Заміряйте значення ємності C_e кожного конденсатора.

2.4. Визначте відхилення заміряний ємності від номінального значення ΔC_e і порівняйте з припустимим відхиленням даного конденсатора.

2.5. Виходячи з геометричних розмірів, зовнішнього вигляду або маркування визначте тип конденсатора.

2.6. Отримані дані занесіть в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Параметри досліджуваних конденсаторів постійної ємності

Позначення	Маркування на корпусі конденсатора	Маркування		Експеримент		ТКЕ, %	Робоча напруга, В	Примітка
		C_n , нФ	ΔC_n , %	C_e , нФ	ΔC_e , %			
Дискретні постійні конденсатори								
C1								
...								
C16								

Зробити висновки, в яких висвітлити застосування зазначених типів постійних конденсаторів.

Завдання 3.

3.1. Розрахувати конденсаторний подільник напруги згідно зі схемою, наведеною на рис.2.8, та варіанту завдання, наведеного в таблиці 2.13. Методика розрахунку наведена вище. Частота змінної напруги $f = 50$ Гц.

Таблиця 2.13 – Варіанти завдань для розрахунку конденсаторного подільника напруги

Варіант	$U_{вх}$, В	$U_{вих}$, В	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	I_{C1} , мА	I_{C2} , мА
1	10	1,5				
2	20	6,0				
3	30	20				
4	40	15				

5	50	30				
6	10	2,4				
7	20	9,0				
8	30	24				
9	40	12				
10	50	24				
11	10	3,0				
12	20	12,0				
13	30	27				
14	40	9				
15	50	15				
16	10	4,0				
17	20	15				
18	30	12				
19	40	6				
20	50	9,0				
21	10	5,0				
22	20	12,6				
23	30	9,0				
24	40	5				

3.2. Зібрати схему розрахованого конденсаторного подільника напруги, що наведена на рис.2.8.

3.3. Перевірити функціонування розрахованого резистивного подільника напруги на частотах 25, 50, 100 Гц.

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва роботи та мета її виконання.
2. Варіант.
3. Результати обчислення подільника напруги.
4. Скріншот із зібраною схемою.
3. Скріншот результатів симуляції.
5. Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Наведіть класифікацію конденсаторів.
2. Назвіть основні параметри конденсаторів.
3. Як позначаються і маркуються постійні конденсатори?
4. Наведіть основні конструкції постійних конденсаторів.