

Лабораторна робота №2 ВИВЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ МАРКУВАННЯ

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

Прилади і матеріали

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

Теоретичні відомості

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

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

Класифікація конденсаторів. Конденсатори класифікують за декількома ознаками, зокрема: зміною ємності, способами керування нею, матеріалом діелектрика, геометричною конфігурацією, робочою напругою, початковим відхиленням ємності, температурною стабільністю, застосуванням. Класифікація за зміною ємності передбачає поділ на конденсатори постійної ємності, конденсатори змінної ємності, підстроювальні.

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

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

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

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

Таблиця 2.1 – Система умовних позначень конденсаторів

Група конденсаторів	Позначення	Старе позначення
Постійної ємності		
Керамічні на напругу нижче 1600 В	К10	КМК, КЛГ, КЛС, КМ, КП, КПС, КД, КДУ, КТ, КТБ, КТН, УПТ, КО, КДО, КМ-С
Керамічні на напругу 1600 В і вище	К15	КВИ, КВЦ, КВДС
Скляні	К21	КС, ДС
Склокерамічні	К22, К23	СКМ, СКМ-Т
Тонкоплівкові	К26	

Слюдяні малої потужності	К31	КСГ, КСО, КСОТ, СГМ, СГВ, СГО-С, ОСГ, ССГ
Слюдяні великої потужності	К32	
Паперові на напругу до 2 кВ, фольгові	К40	КБП, КБГ, ОКБП, ООПБТ, КБП, БМ, БГТ, КВГ, БМТ, КМБП
Паперові на напругу 2 кВ і вище, фольгові	К41	
Паперові металізовані	К42	МБГВ, МБГ, МБГО, МБГТ, МБГЧ, МБМ
Оксидні алюмінієві	К50	КЭ, ЭГЦ, ЭМ
Оксидні танталові, ніобієві і ін.	К51	ЭТ, ЭТН
Об'ємно-пористі	К52	ЭТО
Оксидно-напівпровідникові	К53	КОПП
З повітряним діелектриком	К60	
Вакуумні	К61	В, КВ, ВВ, ВМ
Полістирольні (фольгові)	К71(К70)	МПО, МПГЦ, МПГП, МПГО, ОППТ, ПМ, ПО, МПС, ПОВ
Фторопластові	К72	ФТ, ФГТИ, ФЧ
Поліетилентерефталатні (фольгові)	К73(К74)	ПМГП, КМПМ
Комбіновані	К75	ПКГИ, ПКГТ
Лакоплівкові	К76	
Полікарбонатні	К77	
Поліпропіленові	К78	
Підстроювальні (КТ) та змінні (КП)		
Вакуумні	КТ1, КП1	
З повітряним діелектриком	КТ2, КП2	КПВ, КПВМ,
З газоподібним діелектриком	КТ3, КП3	
З твердим діелектриком	КТ4, КП4	КПК, КПК-М, КПКТ, КВК, ММКТ

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

За робочою напругою розрізняють низьковольтні і високовольтні конденсатори.

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

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

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

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

наведені на рисунку 2.1.

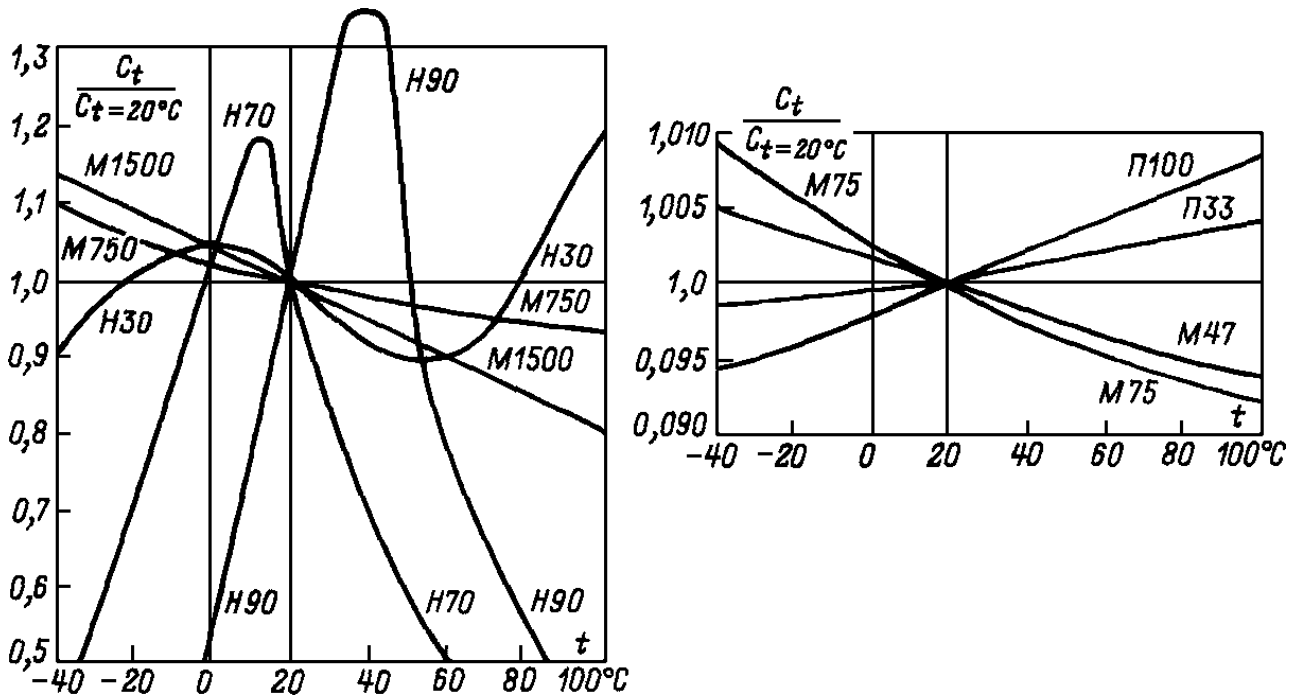


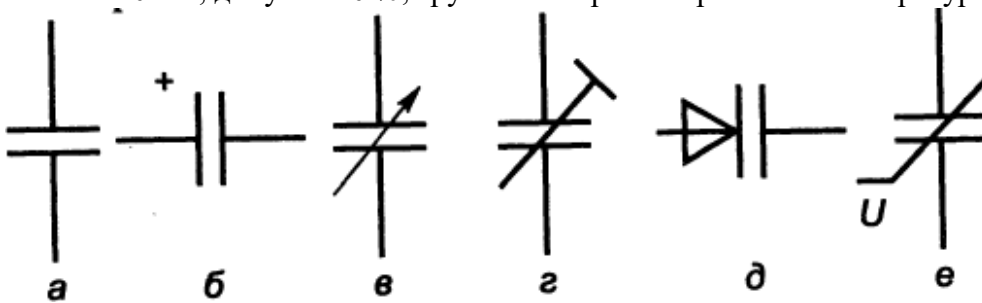
Рисунок 2.1 – Графік зміни ємності конденсаторів з різним типом ТКС від температури

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

Умовні зображення і позначення.

Умовні зображення конденсаторів на схемах наведено на рисунку 2.2.

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



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

Рисунок 2.2 – Умовні зображення конденсаторів на схемах

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

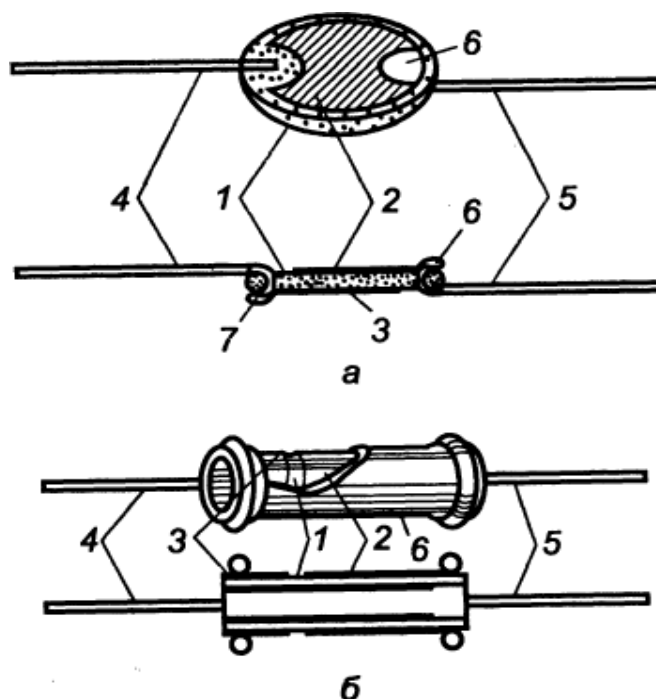
Виготовляють конденсатори з номінальною ємністю із десяткових логари- фмічних рядів значень: E3, E6, E12, E24 (Додаток А). Хоча раніше використовувалися і інші ряди, наприклад номінали кратні п'яти (... , 1, 5, 10, 50, ...).

Будова.

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

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

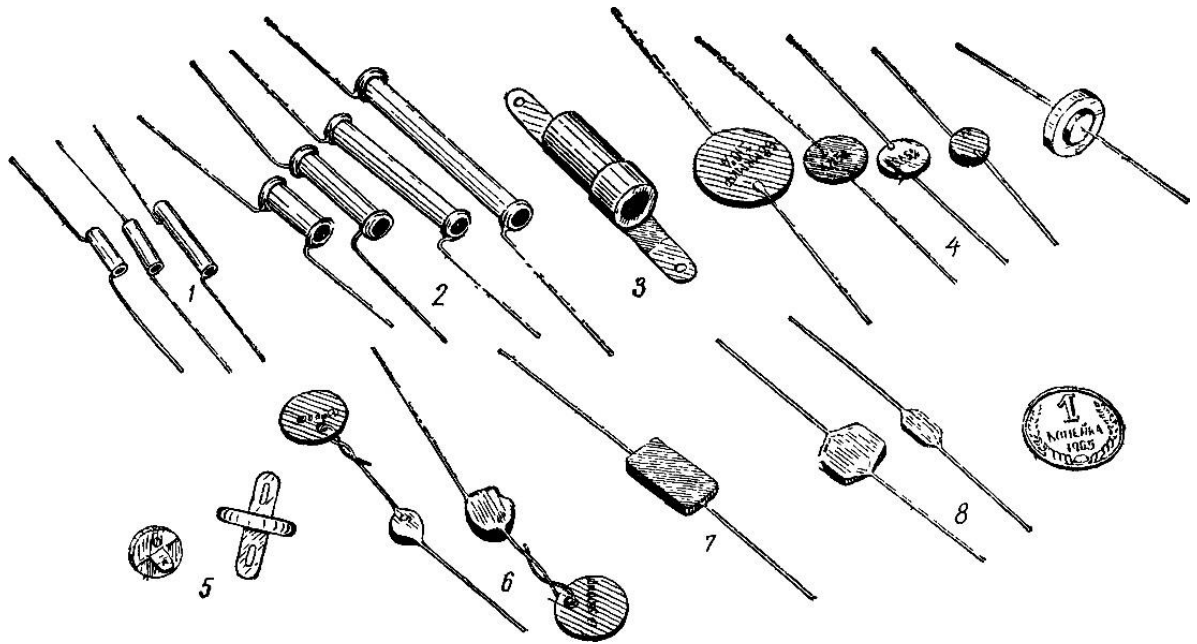
Керамічні конденсатори постійної ємності – це конструкції, в яких керамічна механічна основа одночасно є діелектриком. На неї з обох боків нанесено металеві обкладинки, до яких підключені виводи (рисунок 2.3, 2.4). Захист виконано склоемаллю. Для роботи в несприятливих кліматичних умовах розроблено конструкції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



а - дискові: 1 - керамічний диск; 2,3- обкладинки; 4,5- виводи; 6,7- припій;

б - трубчасті: 1 - керамічна трубка; 2 - зовнішня обкладка; 3 – внутрішня обкладка; 4,5- виводи; 6 - емалеве покриття

Рисунок 2.3 – Будова керамічних конденсаторів

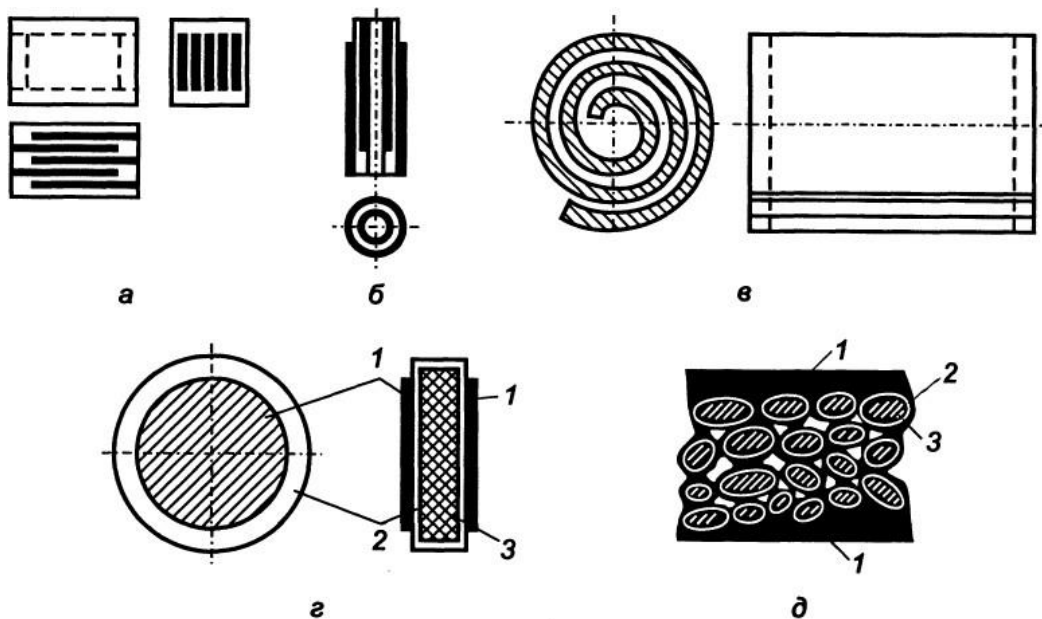


1 – КТ-1; 2 – КТ-2; 3 – КТ-3; 4 – КД; 5 – КДУ; 6 – КПМ; 7 – КС; 8 – КЛС

Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд керамічних конденсаторів

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

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



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

Рисунок 2.5 – Будова малогабаритних конденсаторів з великою питомою ємністю

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

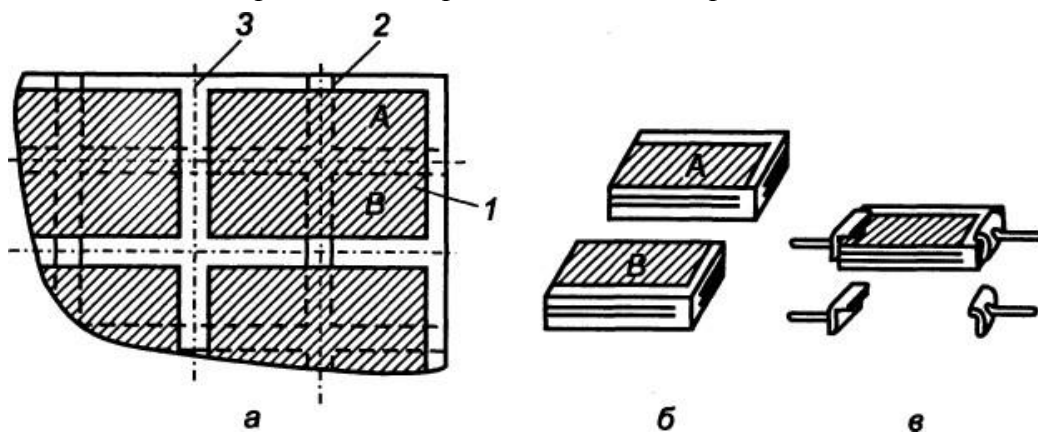
Модифікацією конденсатора з бар'єрним шаром є конденсатор з примежовим шаром, диски для якого виготовляють з крупинок напівпровідної кераміки, покритої тонким діелектричним шаром. Внаслідок цього збільшується опір ізоляції і зменшуються втрати енергії.

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

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

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

а - заготовка до різання: 1 - верхня обкладка; 2 - край нижньої обкладки;



3 - лінія розрізу; б - нарізані заготовки; в - конденсатор з припаяними виводами Рисунок 2.6 –

Будова склоемалевих конденсаторів

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

Специфічну конструкцію мають високовольтні керамічні конденсатори, показані на рисунку 2.7.
а - дисковий; *б* - горщиківий; *в* - бочковий; *г* - трубчастий: 1 - керамічна заготовка; 2 - виводи; 3 -

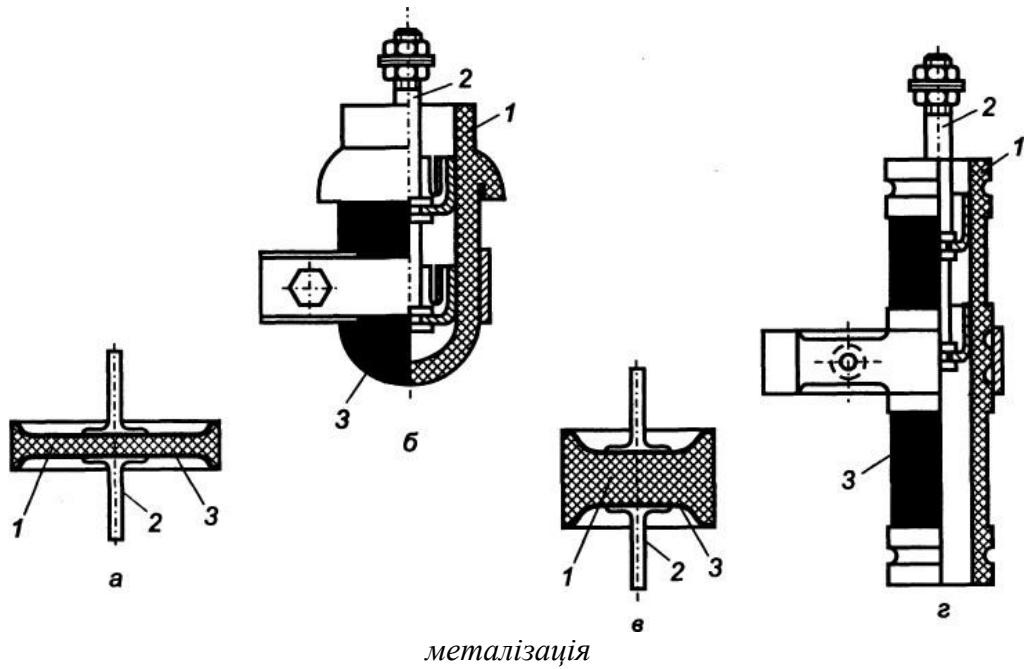


Рисунок 2.7 – Будова високовольтних керамічних конденсаторів

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

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

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

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

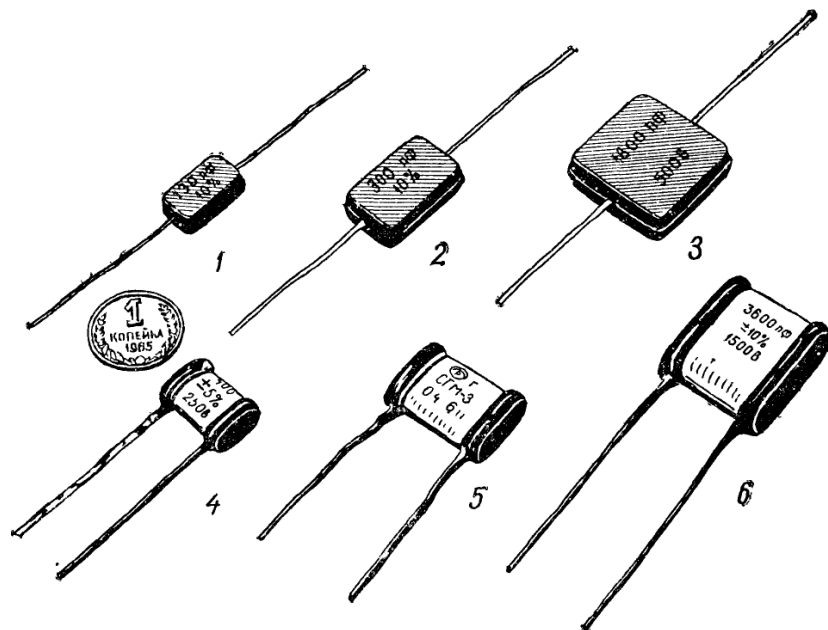
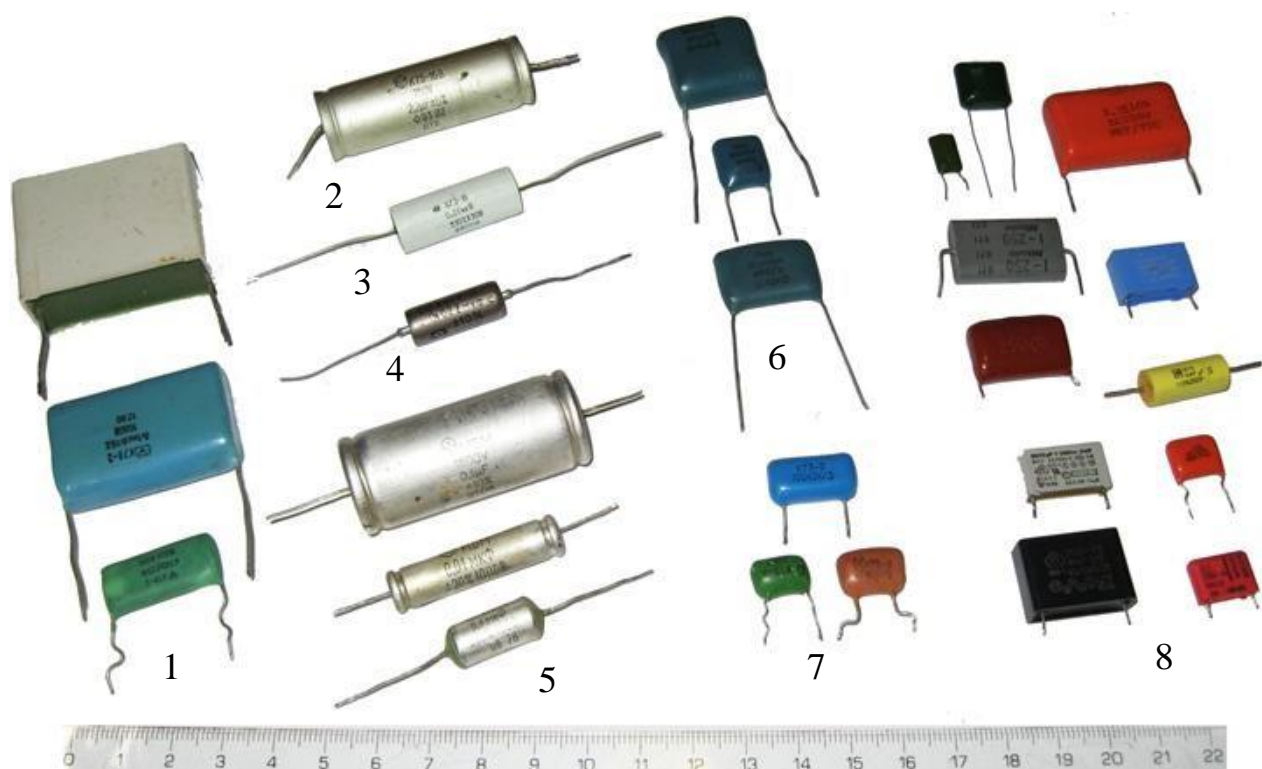


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд слюдяних конденсаторів

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

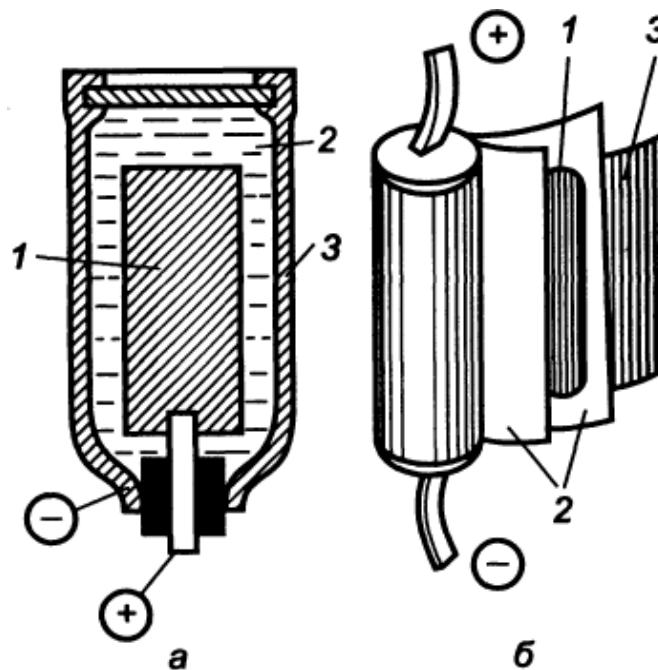
Зовнішній вигляд деяких металопліткових та паперових конденсаторів показаний на рисунку 2.9. Будова електролітичних конденсаторів, які завдяки тонкій окисній плівці вентильного металу мають велику питому ємність, залежить від їх виду. Розрізняють три основні види електролітичних конденсаторів: з рідким електролітом, з сухим електролітом і окисно-напівпровідникові (тверді). Всі вони є полярними. Анодом в них слугує вентильний метал (тантал, ніобій або алюміній), діелектриком – окис на поверхні анода, катодом – будь-який інший провідник. Форму електродів визначає вид електролітичного конденсатора.

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



1 – K78-2; 2 – K73-16B; 3 – K73-11; 4 – K40-Y9; 5 – МБМ; 6 – K73-17,
7 – K73-9, K73-10, 8 – закордонні

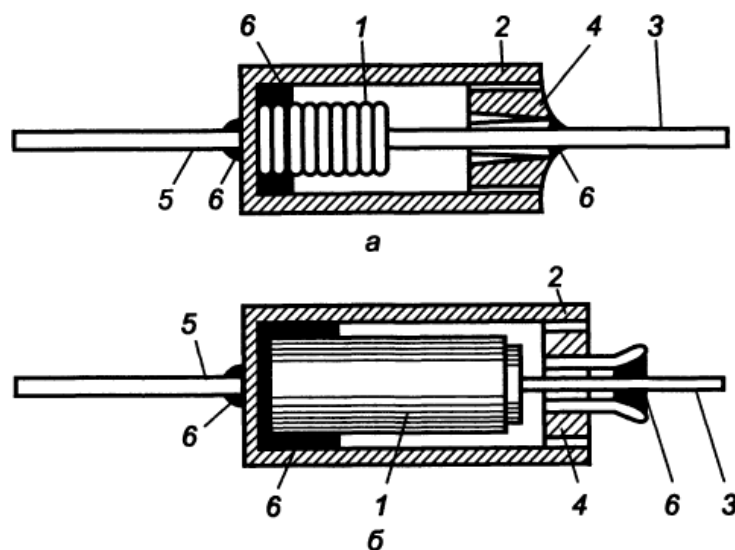
Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд плівкових та металопліткових конденсаторів



З рідким (а) і сухим (б) електролітом. 1 - анод, 2 - електроліт, 3 – катод Рисунок 2.10 – Будова електролітичних конденсаторів

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

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



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

Рисунок 2.11 – Танталові окисно-напівпровідникові герметизовані конденсатори

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

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

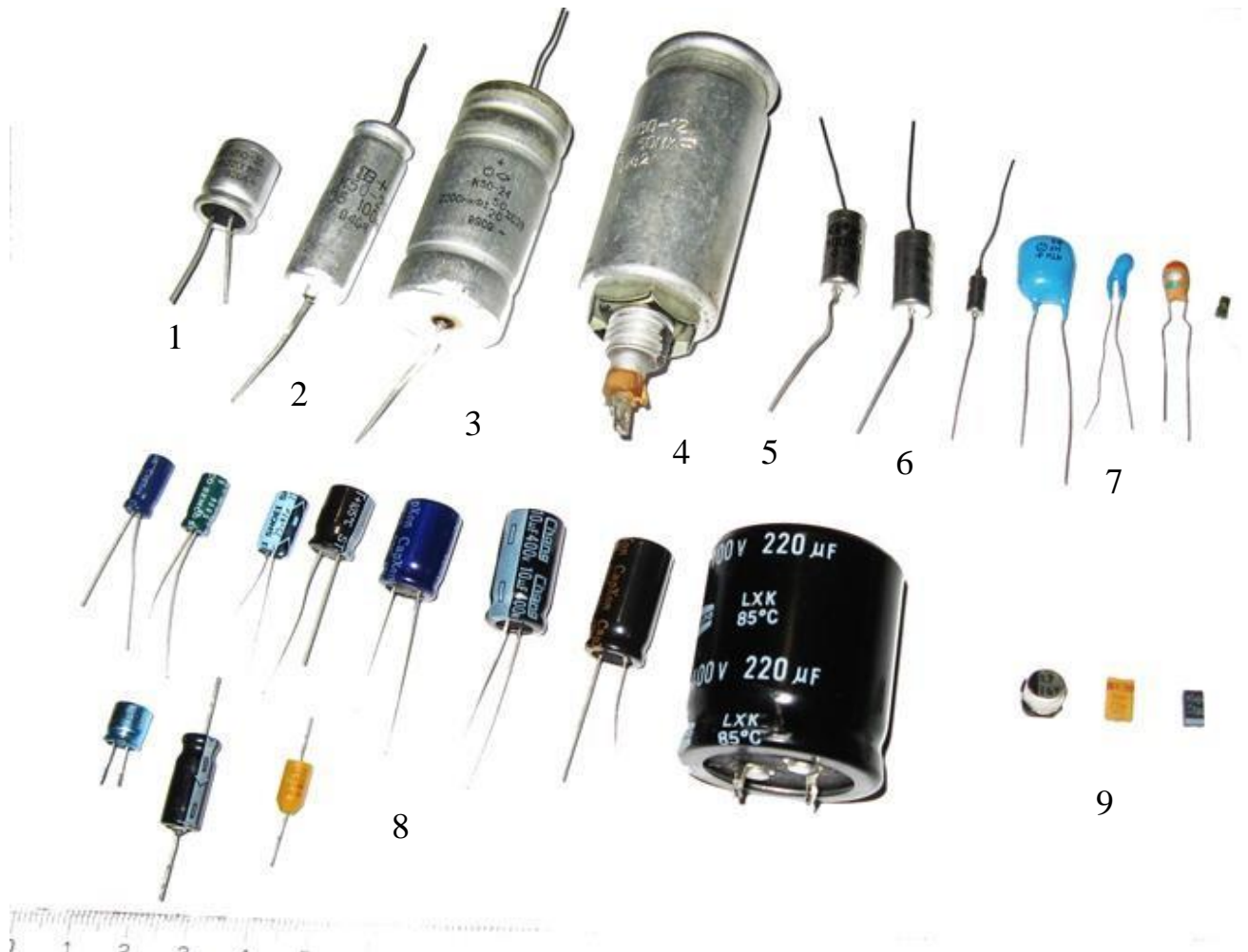
Допустима величина змінної складової напруги на конденсаторі нормується. Сума амплітудного значення змінної складової і постійної напруги не повинна перевищувати номінальної робочої напруги.

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

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

Зовнішній вигляд деяких електролітичних конденсаторів показаний на рисунку 2.12.

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



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

Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд електролітичних конденсаторів

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

де: ε – відносна діелектрична проникність;

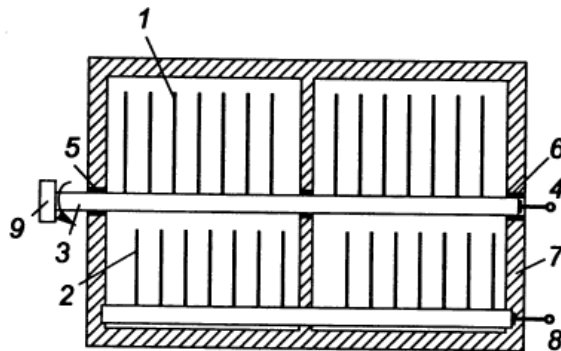
d – товщина діелектрика, м;

S – площа перекриття обкладинок, м².

У таблиці 2.2 приведені значення діелектричної проникненості для деяких речовин.

Змінювати ємність конденсатора можна лише зміною трьох параметрів: площі перекриття обкладинок, діелектричної проникності діелектрика та його товщини. Закони зміни ємності будуть різними. Будова блока конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням наведена на рисунку 2.13. З рисунку видно, що основними елементами конструкції конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням є статор з набором обкладинок, ротор з набором обкладинок, вісь ротора, ручка повертання ротора, струмознімач та корпус.

Конденсатори з повітряним проміжком між обкладинками ротора і статора мають порівняно великі габарити. Зменшення габаритів за рахунок зменшення проміжку (відстані між обкладинками) знижує технологічність конденсаторів та зменшує їх стійкість до ударів, вібрацій і температурних змін. Тому в малогабаритних конденсаторах змінної ємності з механічним керуванням поряд з повітряним діелектриком, діелектрична проникність якого $\varepsilon \approx 1$, використовують додатково тверді діелектрики, діелектрична проникність яких $\varepsilon > 1$, які у вигляді плівок кріпляться до обкладинок ротора або наносяться на їх поверхню.



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

Рисунок 2.13 – Блок конденсаторів змінної ємності з механічним керуванням ємністю

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

Таблиця 2.2 – Значення діелектричної проникності для речовин

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

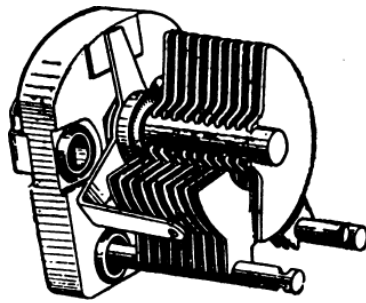
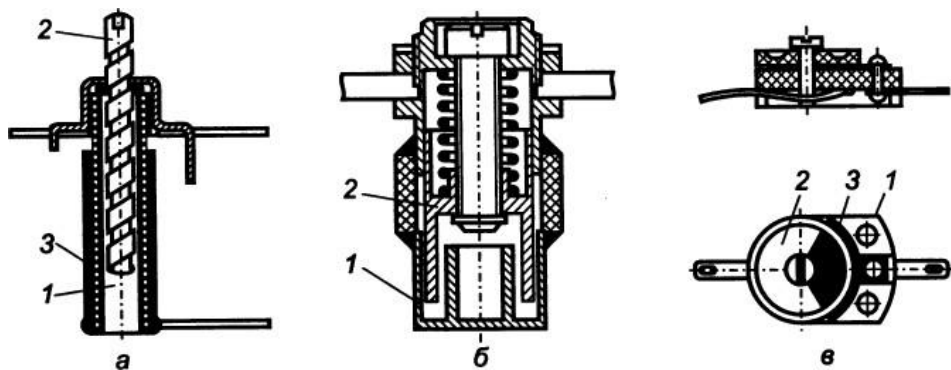


Рисунок 2.14 – Підстроювальний конденсатор з обертовим ротором

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



а - трубчасті, б – коаксіальні, в - шайбові.

1 - статор; 2 - ротор; 3 - металізація

Рисунок 2.15 – Будова підстроювальних конденсаторів

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

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

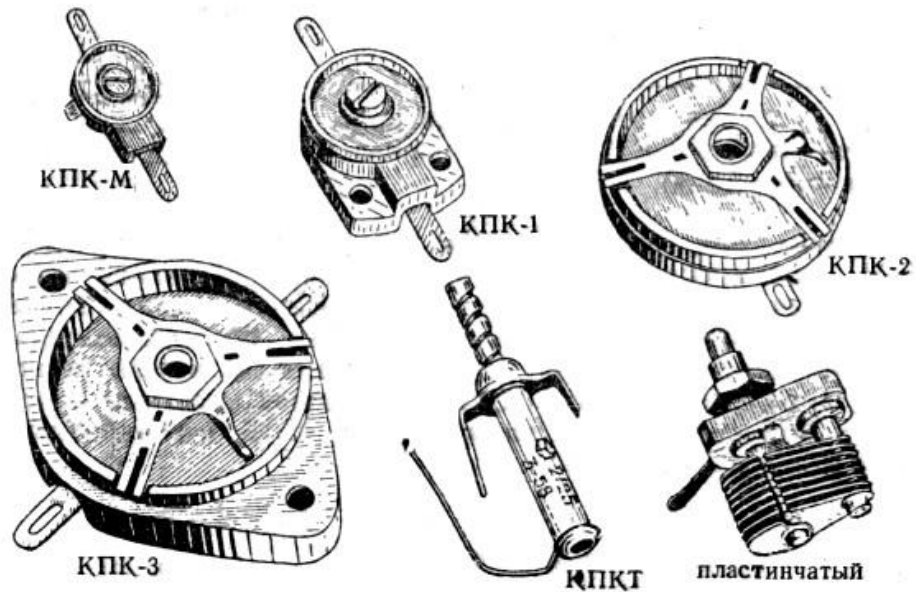


Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд підстроювальних конденсаторів

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

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

U_K – контактна напруга;

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

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

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

Робота та параметри конденсаторів.

Основне призначення конденсатора – накопичувати та віддавати електричний заряд. Зарядження та розрядження – це основний режим роботи конденсатора. Під зарядом конденсатора розуміють абсолютне значення заряду однієї з його обкладинок. Для того, щоб надати конденсатору заряд, його необхідно на короткий час увімкнути в коло постійного струму. У такому разі на обкладці конденсатора, з'єднаній з позитивним полюсом джерела струму, яку покидають електрони, накопичується позитивний заряд, а на другій, куди надійшли електрони – негативний. Накопичення заряду q прямо пропорційне до добутку ємності конденсатора C на напругу U (2.3).

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

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

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

$$X_c = 1/\omega C \quad (2.4)$$

де ω – циклічна частота зміни струму.

Конденсатор як елемент коливального контуру визначає його резонансну частоту згідно з формулою

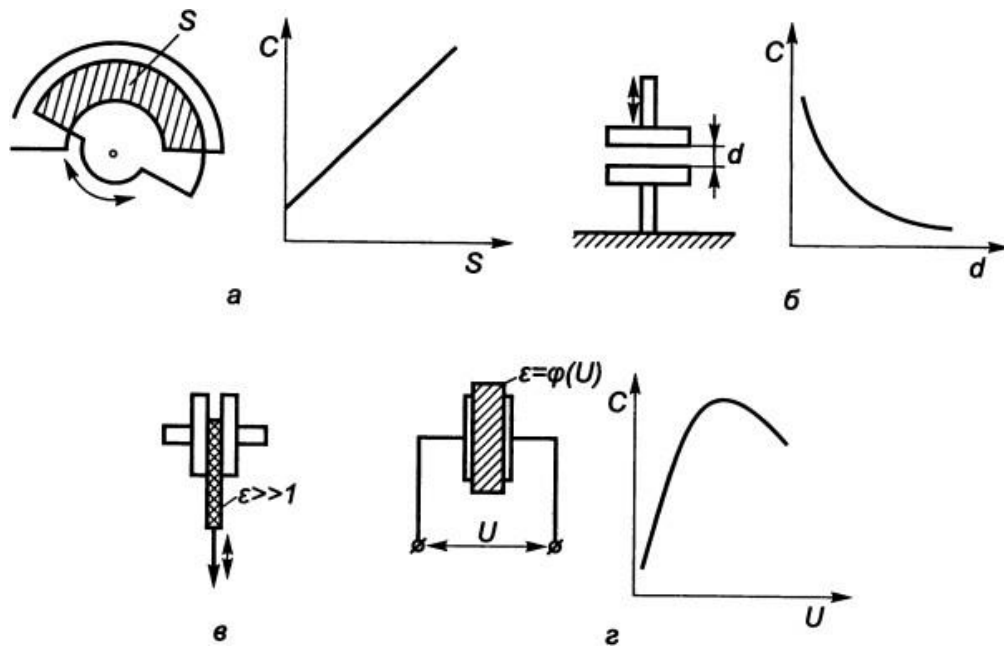
$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.5)$$

де L, C – індуктивність та ємність коливального контуру.

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

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

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



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

Рисунок 2.17 – Способи зміни ємності конденсаторів

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

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

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

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

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

Частотні характеристики ємності конденсаторів значною мірою зумовлені їх конструкцією, з якою пов'язані паразитні ємності та індуктивності, та частково залежністю діелектричної проникності від частоти, яка визначається механізмом поляризації. Вказані чинники призводять до того, що з підвищенням частоти ємність конденсаторів зростає, але на дуже високих частотах вона може з підвищенням частоти знижуватись за рахунок зменшення діелектричної проникності.

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

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

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

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

де: r – опір, еквівалентний втратам у металевих елементах конденсатора;

R – опір, еквівалентний втратам в діелектрику.

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

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

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

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

Електрична міцність конденсаторів характеризується номінальною, випробувальною та пробивною напругами. Номінальна напруга – це максимальна напруга, за якої конденсатор може працювати в заданому діапазоні температур упродовж гарантованого терміну служби. Випробувальна напруга – це максимальна напруга, за якої конденсатор може працювати без пробиття упродовж часу від одиниць секунд до одиниць хвилин. Пробивна напруга – це максимальна напруга, за якої відбувається пробій діелектрика.

Номінальна напруга більшості дискретних конденсаторів не перевищує 1500 В.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Втрати енергії в конденсаторі характеризують тангенсом куга втрат $tg\delta$, де δ – це кут, який доповнює кут зсування фаз між напругою і струмом у конденсаторі до 90° . Величину, обернену до втрат,

називають добротністю конденсатора Q .

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

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

Наявність власної індуктивності L_c збільшує еквівалентну ємність конденсатора, призводить до сильної її залежності від частоти і спричиняє виникнення резонансних явищ в конденсаторі. Максимальні робочі частоти учасних дискретних конденсаторів лежать в межах від десятків до сотень мега- герц.

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

Коефіцієнт старіння ємності характеризує незворотні зміни ємності конденсатора з часом.

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

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

Маркування конденсаторів.

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

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

Для маркування малогабаритних конденсаторів відповідно введені кодові позначення ємності і допустимих відхилень ємності від номінального значення. Вони складаються з цифр, що позначають номінальну величину ємності, букви, що позначає одиницю виміру ємності, і букви, що позначає допустиме відхилення ємності від номінальної величини. Ємності до 100 пФ виражаються в пікофарадах і позначаються буквою «П» або «р», ємності від 0,1 нФ до 100 нФ — в нанофарадах і позначаються буквою «Н», «п» або «N»(нФ, nF), а ємності від 0,1 мкФ и вище – в мікрофарадах і позначаються буквою, «М» або «μ»(мкФ, μF). Ці букви ставляться замість десяткової коми дробу, котра виражає величину ємності. Якщо номінальна ємність виражається цілим числом, то буква, що позначає одиницю виміру, ставиться після цього числа. Якщо ж номінальна величина ємності виражається десятковим дробом, менше одиниці, то нуль цілих і кома із маркування виключаються, і символічне позначення одиниці виміру розташовується перед числом. Наприклад, 9,1 пФ позначається 9П1 або 9р1; 22 пФ – 22П або 22р; 150 пФ – Н15 або n15; 1800 пФ – 1Н8 або 1n8; 0,01 мкФ – 10Н; 0,15 мкФ

– М15 або μ15; 47 мкФ – 47М або 47μ.

Номінальна ємність зарубіжних конденсаторів часто кодується трьома чи чотирма цифрами, остання з яких позначає порядок (число нулів) в значенні ємності в пікофарадах. Наприклад, код 391 позначає 390 пФ; 152 – 1500 пФ

(1,5 нФ); 223 – 22000 пФ (22 нФ); 1623 – 162000 пФ (162 нФ); 154 – 150000 пФ

(0,15 мкФ); 106 – 10000000 пФ (10 мкФ). Номінальну ємність конденсаторів до 99 пФ позначають двома підкресленими цифрами. Ємність конденсаторів від 0,001 до 0,9 мкФ іноді позначають десятковим дробом без першого нуля. Наприклад, код «.01» позначає 0,01 мкФ; «.22» – 0,22 мкФ. На малогабаритних та на імпортованих конденсаторах також використовується символічне маркування допуску та робочої напруги. Може складатися з одного символу чи цифри та символу [10 – 12]. Наприклад, маркування напруги **2A** вказує на напругу 100 В, а **1C** – 16 В, а маркування допуску **K** відповідає значенню $\pm 10\%$, а **Z** – «(-20..+80)% ».

Маркування дати виготовлення передбачає двозначний чи чотиризначний код позначення. Позначається рік і місяць виготовлення конденсатору або рік і тиждень виготовлення [10-12]. Кольорове кодування використовується для маркування номінальної ємності, допуску, номінальної напруги до 63 В і групи ТКЄ. Маркування наносять у вигляді кольорових крапок чи смужок [10 – 12].

Порядок виконання роботи

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

Контрольні запитання

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

