Практичне заняття № 2

Параметри постійних конденсаторів

Постановка задачі

Ознайомитесь з властивостями, маркуванням і конструкцією основних типів постійних конденсаторів, використовуваних в РЕА, а також методикою розрахунку RC-фільтрів.

Домашнє завдання

1. Вивчити основні параметри і маркування постійних конденсаторів.
2. Вивчити методику розрахунку RC-фільтрів низьких і високих частот.
3. Підготувати необхідні таблиці для результатів практичної роботи.

Загальні відомості

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 створення ємності.

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 ін. Опір конденсатора $Z_к$ змінному струму обернено пропорційний ємності конденсатора C та частоті змінного струму f

$$Z_{\text{к}} = \frac{1}{2\pi f C}$$

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.

Класифікація конденсаторів

Конденсатори класифікують за такими ознаками:

1. *В залежності від характеру зміни ємності* конденсатори ділять на **постійні** (ємність фіксована), **змінні** (ємність може змінюватися в будь-який час в певних межах багаторазово), **підстроювальні** (ємність може змінюватися в будь-який час в обмежених межах і обмежена кількість разів).

2. *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 ± 5% до ± 30), **високочастотні** (мають малу індуктивність виводів), **високовольтні** (робоча напруга від 1 кВ до 50 кВ), **імпульсні** (призначені для роботи в імпульсних колах), **пускові** (допускають роботу при великих короткочасних струмах) і т.п.

3. *В залежності від способу захисту від зовнішніх факторів* конденсатори поділяються на **неізольовані** (які не допускають з'єднання з корпусом РЕА), **ізольовані** (які допускають з'єднання з корпусом РЕА), **герметизовані** (мають герметичну конструкцію корпусу), **незахищені** (не мають захисного корпуса), **захищеності** (мають захисний корпус), **ущільнені** (мають ущільнену органічними речовинами конструкцію корпусу).

4. *За матеріалом використовуваного діелектрика* розрізняють таки види конденсаторів:

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 обкладинки 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).

5. *За способом кріплення* розрізняють конденсатори для **навісного** та **друкованого** монтажу, існують конденсатори для мікросхем та мікромодулів.

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 строго 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.

Параметри постійних конденсаторів

До основних відносять:

1. **Номінальне значення ємності**, яке вказується на корпусі конденсатора згідно з нормативною документацією; фактична ємність, так як і у резисторів, кожного екземпляра відрізняється від номінальної, але не більше, ніж на допустиме відхилення. Одиницею вимірювання ємності є **фарад,** але оскільки це дуже велика величина, ємність конденсатора прийнято вимірювати в мікрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) або пікофарадах (пФ). Конденсатори мають, як і резистори ряди номінальної ємності: Е3, Е6, Е12, Е24, Е48, Е96. Числа вказують кількість номінальних значень в кожній декаді. Так ряд Е6 має 6 значень ємності в межах декади: 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; а ряд Е12 – 12 значень ємності в межах декади: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2.

2. **Допуск** – допустиме відхилення ємності від номінального. Характеризує точність значення ємності. Значення цих відхилень встановлені у відсотках для конденсаторів 10 і більше піко фарад і піко фарадах для конденсаторів з меншою ємністю. Залежно від допустимого відхилення ємності розрізняють 11 класів конденсаторів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Клас точності конденсаторів і допустиме відхилення ємності

Клас точності	001	002	005	00	0	I	II	IV	V	VI
Відхилення,%	±0,01	±0,2	±0,5	±1	±2	±5	±10	-10 +20	-20 +30	-20 +50

3. **Електрична міцність** оцінюється пробивною, випробувальною та номінальною (робочою) напругами. В основному електрична міцність конденсатора залежить від якості і товщини діелектрика, а також від площі обкладинок та умов тепловіддачі.

4. **Тангенс кута втрат** характеризує втрати енергії в конденсаторі в діелектрику і обкладинках. 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 $P_{\text{а}}$ до реактивної $P_{\text{р}}$ при синусоїдальної напрузі певної частоти

$$tg\delta = \frac{P_{\text{а}}}{P_{\text{р}}} = \frac{sin\ \delta}{cos\ \delta},$$

із зростанням частоти значення $tg\delta$ збільшується. Величина, обернена $tg\delta$, називають **добротністю** конденсатора. Чим більша добротність конденсатора, тим менші втрати в ньому.

5. **Електричний опір ізоляції конденсатора** – електричний опір ізоляції конденсатора постійному струму. Опір ізоляції характеризує якість діелектрика і визначається відношенням напруги постійного струму, прикладеної до конденсатора, до струму витікання і виражається в мегомах та гігаомах.

6. **Температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ)** – параметр, що застосовується для характеристики конденсаторів з лінійною залежністю ємності від температури. Практично ТКЄ визначається як відносна зміна ємності конденсатора при зміні температури на 1 °С. Слюдяні, керамічні та деякі плівкові конденсатори залежно від температурної стабільності поділяють на групи, кожна з яких характеризується своїм ТКЄ. Якщо залежність ємності від температури нелінійна, температурну стабільність ємності конденсатора характеризують відносною зміною ємності при

переході від нормальної температури (20 ± 5 °С) до граничних значень робочої температури.

7. **Власна індуктивність** конденсатора – це індуктивність, що створюється виводами і обкладинками. Пониження власної індуктивності конденсатора забезпечується вкорочуванням виводів.

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 – число, яке позначає тип діелектрика (табл. 2.2).

Третій елемент – це порядковий номер розробки.

Повне умовне позначення конденсатора має вигляд:

К75-10-250 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.

На корпус постійного конденсатора виноситься у вигляді маркування тип конденсатора, кодоване позначення номінального значення ємності, допуск, група ТКЄ і дата виготовлення. Через малих габаритних розмірів не всі зазначені параметри можуть перебувати в маркуванні 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 (n) – нано = 10^{-9} Ф; М (μ або m) – мікро = 10^{-6} Ф. Наприклад, 2,2 пФ – 2П2 (2р2); 1500 нФ – 1Н5 (1n5); 0,1 мкФ – М1 (μ1); 10 мкФ – 10М (10μ).

Таблиця 2.2 – 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
	Тонкоплівкові	26
	Слюдяні	31
	Паперові з напругою нижче 2000 В	40
	Паперові металізовані	42
	Оксидно-алюмінієві	50
	Оксидно-танталові	51
	Об’ємнопорісті	52
	Оксидно-напівпровідникові	53
	Іоністори	58
	Повітряні	60
	Полістирольні	71
	Фторопластові	72
	Поліетилентерефталатні	73
	Комбіновані	75
	Полікарбонатні	77
	Поліпропіленові	78

Крім буквено-цифрового маркування використовується спосіб цифрового маркування трьома або чотирма цифрами за стандартами IEC. При такому способі маркування перші дві або три цифри позначають значення ємності в піко фарадах (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 2.4 – 2.9 наведено порядок кольорового маркування конденсаторів різних груп.

Таблиця 2.3 – 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 2.4 – 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 2.5 – 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	10μF	
Сірий	47	0,01pF	3,2
Білий	56	0,1pF	6,3

Таблиця 2.6 – Кольорове маркування електролітичних танталових конденсаторів

Колір смужки (точки)	Напруга, %	Номінал	Множник	Допуск
Золотий	1,6	82		
Срібний	2,5	68		
Чорний	4	10	μ	±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	1μF	
Фіолетовий		39	10μF	-20…+50%
Сірий	3,2	47	0,01pF	-20…+80%
Білий	6,3	56	0,1pF	±10%

Таблиця 2.7 – Кольорове маркування високовольтних конденсаторів

Колір смужки (точки)	1-ий елемент	2-ий елемент	Множник	Допуск	Напруга, %
Золотий					
Срібний					
Чорний		0		±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		±10%	

Таблиця 2.8 – 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%	МП0
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 2.9 – Конденсатори. Кольорове маркування ТКЄ

Колір смужки	Червоний + Фіолетовий	Сірий	Чорний	Коричневий	Червоний	Оранжевий
ТКЄ	П100	П33	МП0	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.

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. 2.1 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 завадозахисні.

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. 2.1 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. 2.1 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 (К10, К15).

4. **Оксидні**. В цьому випадку діелектриком служить оксид металу. Наприклад, для конденсаторів оксидно-алюмінієвих (К50) це Al_2O_3, а для оксидно-танталових (К51) – Ta_2O_3. Однією обкладинкою служить металева фольга (анод), а інший (катод) служить електроліт, яким просочують прокладку з паперу або тканини (рис. 2.1 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 К-50.

5. **Литі секційні**. Таку конструкцію мають керамічні конденсатори. З кераміки відливають «гребінку» з дуже тонкими стінками. Зазор між стінками металізують (рис. 2.1 д). Такі конденсатори мають більшу питому ємність і малу індуктивність. Це керамічні конденсатори типу К10, КМ-4, КМ-5 і SMD-конденсатори.

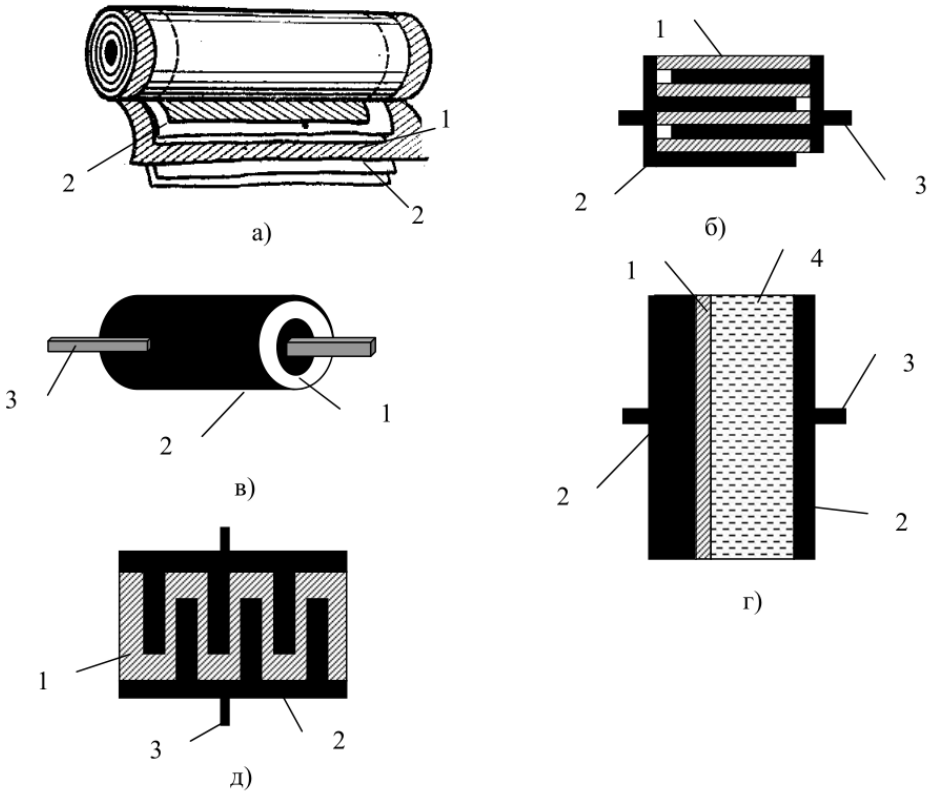


Рис.2.1 – Конструкції конденсаторів постійної ємності: а – рулонна; б – пакетна; в – циліндрична; г – оксидна; д – лита секційна.

1 – діелектрик; 2 – металева обкладка; 3 - виводи; 4 – електроліт.

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 витоку. 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 індустріальних 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.

Частотні RC-фільтри

Частотним фільтром називають радіотехнічний пристрій, який володіє здатністю порівняно легко пропускати змінні сигнали окремих частот і пригнічувати змінні сигнали, що лежать поза цими частотами.

Фільтром високих частот (ФВЧ) називають такий фільтр, який пропускає змінні сигнали високих частот і послаблює (зменшує амплітуду) сигналів з частотами нижче частоти зрізу фільтра.

Фільтром низьких частот (ФНЧ) називають такий фільтр, який пропускає змінні сигнали низьких частот та послаблює частоти, розташовані вище частоти зрізу фільтра.

Смуговим фільтром називають такий фільтр, який пропускає зміни сигнали в певному діапазоні (смузі) частот та послаблює (вирізає) сигнали частот за межами цієї смуги

Загороджувальний (режекторний) фільтр – фільтр, що не пропускає сигнали з частотами з певного визначеного діапазону та пропускає сигнали з усіма іншими частотами (які в цей діапазон не потрапляють).

Будь-фільтр характеризується комплексним коефіцієнтом передачі $K_{\Pi}(j\omega)$:

$$K_{\Pi}(j\omega) = \frac{\overrightarrow{U_2}}{\overrightarrow{U_1}}, \tag{2.1}$$

де $\overrightarrow{U_1}$ – вектор змінної напруги на вході фільтра; $\overrightarrow{U_1}$ – вектор змінної напруги на виході фільтра; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного сигналу.

Комплексний коефіцієнт передачі являє собою запис двох характеристик: амплітудно-частотної (АЧХ) і фазочастотної (ФЧХ):

$$K_{\Pi}(j\omega) = N_1(\omega) + N_2(\omega), \tag{2.2}$$

Перша характеристика виражається модулем комплексного коефіцієнта

Передачі $K_{\Pi}(\omega)$, а друга – його аргументом $\varphi(\omega)$

$$K_{\Pi}(\omega) = \sqrt{N_1^2(\omega) + N_2^2(\omega)}, \tag{2.3}$$

$$\varphi(\omega) = arctg\frac{N_2(\omega)}{N_1(\omega)}, \tag{2.4}$$

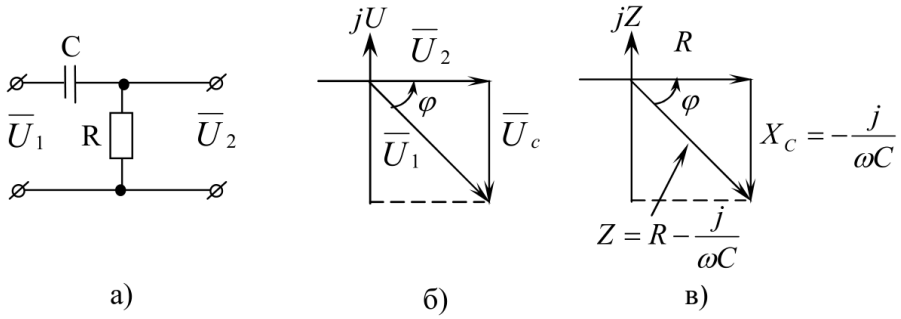
Якщо зміни амплітуд вхідного і вихідного сигналів великі, то АЧХ виражають в логарифмічному масштабі. З цією метою вводиться

логарифмічна одиниця виміру модуля комплексного коефіцієнта передачі – децибел, яка визначається рівністю:

$$K_{\text{П}}(j\omega), = 20lg\frac{U_2}{U_1}, \tag{2.5}$$

де U_1 і U_2 – амплітудні значення вхідної і вихідної напруги.

RC-фільтр високих частот



а) б) в)

Рис.2.2 – RC-фільтр високих частот

а – схема; б – векторна діаграма напруг; в – векторна діаграма опорів

Схема RC-фільтра високих частот наведена на рис.2.2 а.

Комплексний коефіцієнт передачі такого фільтра дорівнює:

$$K_{\text{П}}(j\omega) = \frac{\overrightarrow{U_2}}{\overrightarrow{U_1}} = \frac{R}{R - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}. \tag{2.6}$$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) має вигляд:

$$K_{\text{П}}(\omega) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (-j\frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}. \tag{2.7}$$

Фазочастотна характеристика (ФЧХ) має вигляд:

$$\varphi(\omega) = arctg\frac{1}{\omega RC}. \tag{2.8}$$

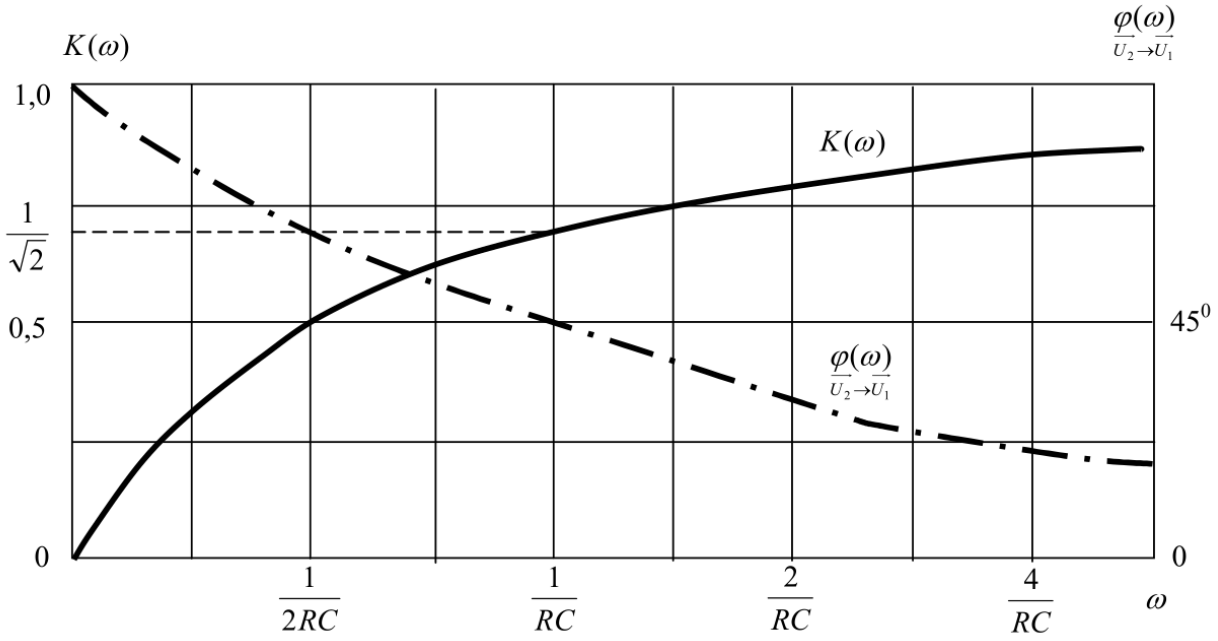


Рис.2.3 Амплітудно-частотна (а) і фазочастотна (б) характеристики RC-фільтра високих частот

З векторної діаграми (рис.2.2 б) випливає, що вихідний сигнал випереджає вхідний сигнал на кут $\varphi(\omega)$. АЧХ і ФЧХ фільтра високих частот наведені на рис.2.3. При частоті сигналу рівній $\omega_{зр} = \frac{1}{RC}$ амплітуда сигналу зменшується на -3дБ, тобто в $\sqrt{2}$ раз, а вихідний сигнал випереджає вхідний сигнал на 45^0. Така частота називається частотою зрізу фільтра.

RC-фільтр низьких частот

Схема RC-фільтра низьких частот наведена на рис.2.4 а.

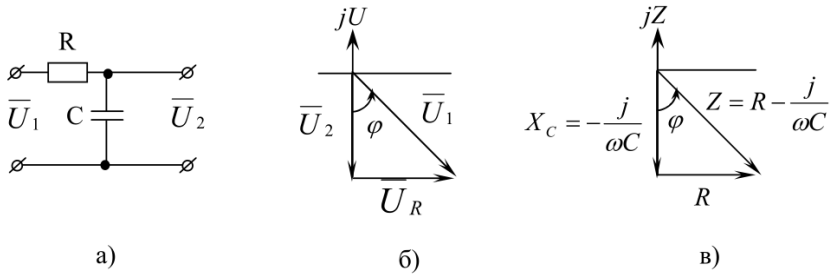


Рис.2.4 – RC-фільтр низьких частот

а – схема; б – векторна діаграма напруг; в – векторна діаграма опорів

Комплексний коефіцієнт передачі такого фільтра дорівнює:

$$K_{\Pi}(j\omega) = \frac{\overrightarrow{U_2}}{\overrightarrow{U_1}} = \frac{-j\frac{1}{\omega C}}{R - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 + \omega RC}. \quad (2.9)$$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) має вигляд:

$$K_{\Pi}(\omega) = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + (-\frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}. \quad (2.10)$$

Фазочастотна характеристика (ФЧХ) має вигляд:

$$\varphi(\omega) = arctg(\omega RC). \quad (2.11)$$

З векторної діаграми (рис.2.4 б) випливає, що вихідний сигнал відстає від вхідного сигналу на кут $\varphi(\omega)$. АЧХ і ФЧХ фільтра високих частот наведені на рис.2.5. При частоті сигналу рівній $\omega_{зр} = \frac{1}{RC}$ амплітуда сигналу зменшується на -3дБ, тобто в $\sqrt{2}$ раз, а вихідний сигнал відстає від вхідного на 45^0. Така частота називається частотою зрізу фільтра.

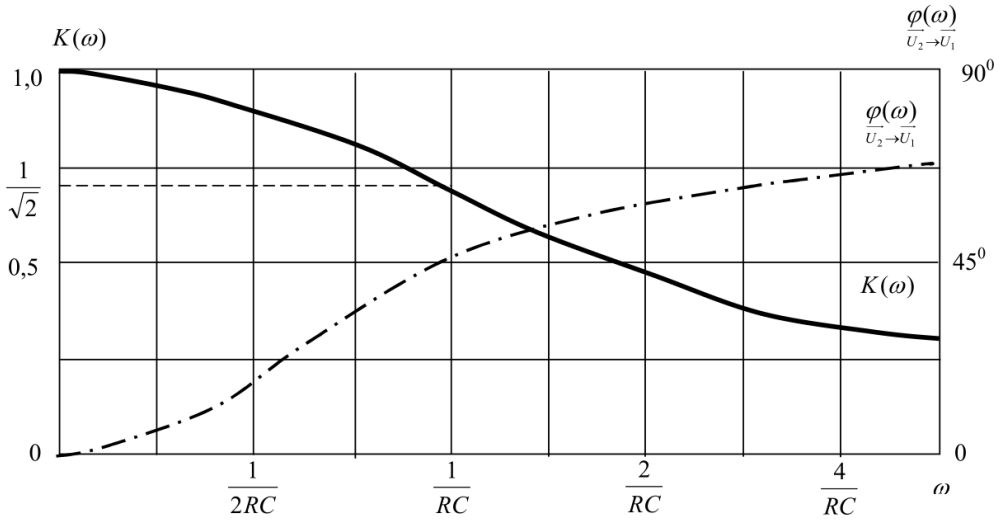


Рис.2.5 Амплітудно-частотна (а) і фазочастотна (б) характеристики RC-фільтра низьких частот

Завдання до практичної роботи

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

1. Змалюйте маркування, яки нанесене на корпусі кожного конденсатора.
2. Розшифруйте значення номінальної ємності $C_Н$, допуску $\Delta C_Н$, ТКЕ, а також додаткові відомості, зазначені в маркуванні на корпусі конденсатора.
3. Заміряйте значення ємності $C_Е$ кожного конденсатора.
4. Визначте відхилення заміряний ємності від номінального значення $\Delta C_Е$ і порівняйте з припустимим відхиленням даного конденсатора.
5. Виходячи з геометричних розмірів, зовнішнього вигляду або маркування визначте тип конденсатора.
6. Отримані дані занесіть в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри досліджуваних конденсаторів постійної ємності

Позначення	Маркування на корпусі конденсатора	Маркування		Експеримент		ТКЄ, %	Робоча напруга, В	Примітка
		$C_Н$, нФ	$\Delta C_Н$, %	$C_Е$, нФ	$\Delta C_Е$, %			
Дискретні постійні конденсатори								
С1								
…								
С16								

7. Розрахуйте частоту і кут зсуву фаз, при яких вихідна напруга RC-фільтра високої або низької частоти зменшиться на -3 дБ, -6 дБ, -12 дБ. Номінали елементів фільтра і тип фільтра візьміть згідно і варіанту завдання, наведеного в таблиці 2.11. Методика розрахунку наведена в розділі «Частотні RC-фільтри».

. Для цього спочатку, використовуючи вираз (2.5), знайдіть відношення $K_{П}(j\omega)=\frac{U_2}{U_1}$. Потім з виразів (2.7) або (2.10) розрахуйте відповідну частоту сигналу $f=\frac{\omega}{2\pi}$, при якій досягається задане ослаблення. Потім, використовуючи вирази (2.8) і (2.11) знайдіть кут фазового зсуву φ (ω) між вхідним і вихідним сигналами. Розраховані дані занесіть в табл.2.11.

8. Намалюйте схематично часові діаграми синусоїдальної напруги вхідного і вихідного сигналів.

9. Зробіть висновки по роботі, в яких висвітліть застосування зазначених типів постійних конденсаторів.

Таблиця 2.11 – Варіанти завдань для розрахунку RC-фільтра високої і низької частот

Варіант	R, кОм	C, нФ	Тип фільтра	послаблення вихідного сигналу								
				−3 дБ			−6 дБ			−12 дБ		
				К$(j\omega)$	f, Гц	φ, град	К$(j\omega)$	f, Гц	φ, град	К$(j\omega)$	f, Гц	φ, град
1	1	20	ФВЧ									
2	5	15	ФНЧ									
3	10	10	ФВЧ									
4	15	5	ФНЧ									
5	20	1	ФВЧ									
6	1	20	ФНЧ									
7	5	15	ФВЧ									
8	10	10	ФНЧ									
9	15	5	ФВЧ									
10	20	1	ФНЧ									

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію конденсаторів.
2. Назвіть основні параметри конденсаторів.
3. Як позначаються і маркуються постійні конденсатори?
4. Наведіть основні конструкції постійних конденсаторів.
5. Наведіть визначення частотних фільтрів різного типу.

6. Наведіть АЧХ і ФЧХ RC-фільтра високих частот.

7. Наведіть АЧХ і ФЧХ RC-фільтра низьких частот.

8. Які типи RC-фільтрів ви знаєте?