

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІ-
ШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Основи електрики та електроніки, електричні
вимірювання та їх стандартизація»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

за темою № 8 - Конденсатори та резистори в електричних колах. Еквівалентні перетворення електричних кіл

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного уні-
верситету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

Розробник: викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Резистори
2. З'єднання резисторів.
3. Конденсатори
4. З'єднання конденсаторів
5. Еквівалентні перетворення електричних кіл

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

Допоміжна:

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

Текст лекції

В основу аналізу електричних кіл покладено принцип моделювання, при якому реальні електричні кола замінюють певною ідеалізованою моделлю. При цьому елемент виконує лише одну функцію.

Ідеалізовані елементи поділяють на активні і пасивні. Активними елементами є джерела електричної енергії.

Пасивні елементи – це елементи, що не є джерелами енергії. Вони поділяються на дисипативні і реактивні.

1. Резистори

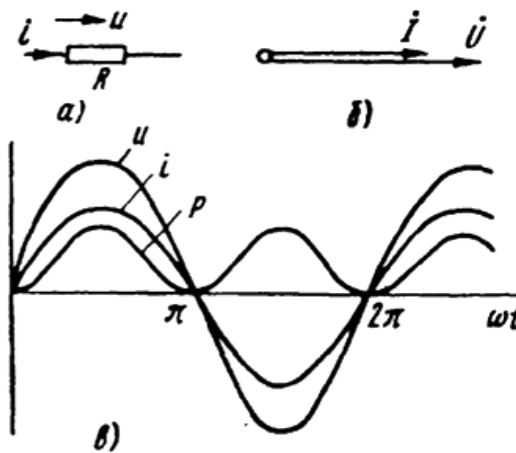


Рисунок 1 – Резистивний елемент

Дисипативні елементи (dissipation – розсіювання) – це елементи, що здійснюють необоротне вилучення енергії з електричного кола. Основною характеристикою резистивного елементу є його опір R .

Співвідношення між струмом та напругою в резисторі визначається за законом Ома

$$i = \frac{u}{R}.$$

Нехай до резистивного елементу R прикладається гармонічна напруга

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u).$$

За законом Ома, струм, що тектиме резистором становитиме

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin(\omega t + \varphi_u)}{R} = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

де $I_m = U_m/R$ – амплітуда;

$\varphi_i = \varphi_u$ – початкова фаза струму.

Таким чином, струм i та напруга u в резистивному елементі збігаються за фазою (рис. 1, в).

2. З'єднання резисторів.

Шляхом послідовних спрощень всю пасивну частину такого кола можна замінити одним еквівалентним резистором.

Умовою еквівалентності перетворень є умови незмінності струмів і напруг у тих частинах схеми, які не підлягали перетворенню.

При послідовному з'єднанні елементів ними протікатиме один і той же струм i , а напруга, прикладена до всього кола, дорівнюватиме сумі напруг на кожному елементі з'єднання:

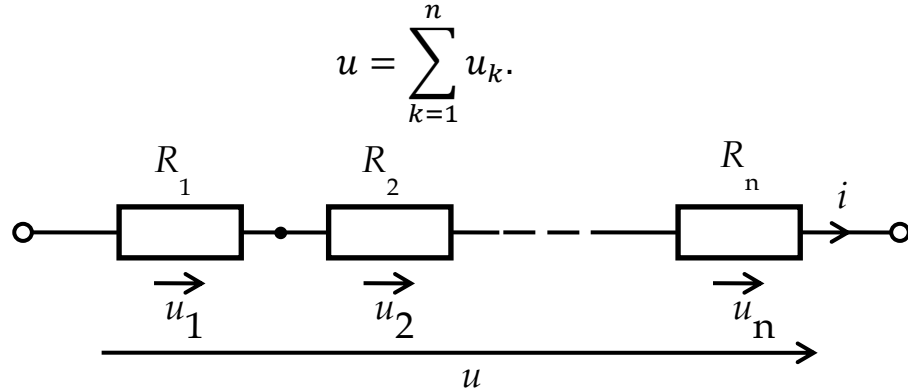


Рисунок 2 – Послідовне з'єднання резисторів

Тоді для послідовного з'єднання резистивних елементів R_1, R_2, \dots, R_n матимемо:

$$u = i \sum_{k=1}^n R_k = iR.$$

Звідки

$$R = \sum_{k=1}^n R_k.$$

Тобто еквівалентний опір групи послідовно з'єднаних резисторів дорівнює сумі опорів резисторів, що входять до цієї групи.

При паралельному з'єднанні елементів до них прикладатиметься однакова напруга u , а загальний струм дорівнюватиме сумі струмів окремих ділянок схеми:

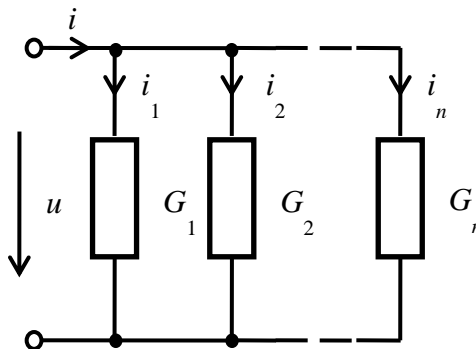


Рисунок 3 – Паралельне з'єднання резисторів

$$i = \sum_{k=1}^n i_k.$$

На рисунку 3 для зручності розрахунків опори резисторів замінені їх провідностями

$$G_1 = \frac{1}{R_1}; G_2 = \frac{1}{R_2}; \dots; G_n = \frac{1}{R_n}.$$

Тоді для паралельно з'єднаних провідностей матимемо

$$i = u \sum_{k=1}^n G_k = uG.$$

Звідки

$$G = \sum_{k=1}^n G_k.$$

Тобто еквівалентна провідність групи паралельно з'єднаних резистивних елементів дорівнює сумі провідностей кожного елементу групи.

Переходячи до опорів резисторів, одержимо

$$\frac{1}{R} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}.$$

3. Конденсатори

Ємнісним елементом називають ідеалізований елемент електричного кола, який має єдину властивість – накопичення енергії електричного поля. Умовне позначення ємнісного елементу представлено на рис. 1.34, а.

Математична модель, що описує властивості ємнісного елементу (параметричне рівняння) визначається вольт-кулонною характеристикою

$$q = Cu.$$

Коефіцієнт пропорційності C називають ємністю і він є кількісною характеристикою ємнісного елементу..

Між струмом і напругою на ємнісному елементі існує зв'язок

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}.$$

Тобто струм у ємнісному елементі є пропорційним швидкості зміни прикладеної до нього напруги. При постійній напрузі $u = \text{const}$, $i = 0$ і ємнісний елемент за своїми властивостями подібний до розриву кола.

Якщо напруга є гармонічною функцією

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u),$$

То струм

$$i = C \frac{du}{dt} = \omega C U_m \cos(\omega t + \varphi_u) = \omega C U_m \sin\left(\omega t + \varphi_u + \frac{\pi}{2}\right).$$

Тобто струм у ємності випереджає напругу на кут $\pi/2$ (див. рис. 4, б).

Енергія, що накопичується у ємнісному елементі до моменту часу t складає:

$$W_C = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t C u \frac{du}{dt} = \frac{C u^2}{2}.$$

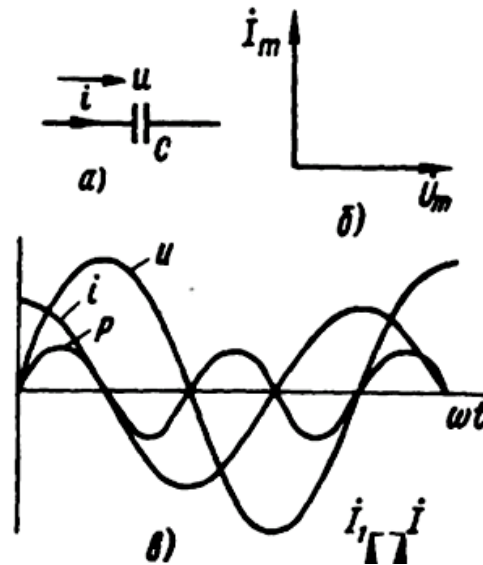


Рисунок 4 – Ємнісний елемент

4. З'єднання конденсаторів

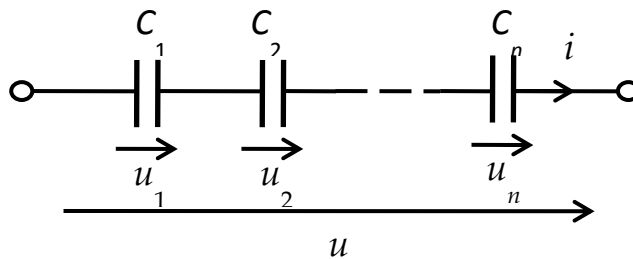


Рисунок 5 – Послідовне з'єднання конденсаторів

Напруга на ємнісному елементі становитиме

$$u = \frac{1}{C} \int i dt.$$

Для послідовного з'єднання ємнісних елементів C_1, C_2, \dots, C_n за законами Кірхгофа маємо

$$u = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \int i dt = \frac{1}{C} \int i dt.$$

Звідки

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}.$$

Тобто, величина зворотна до загальної ємності батареї з n послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнюватиме сумі величин зворотних ємності кожного конденсатора батареї.

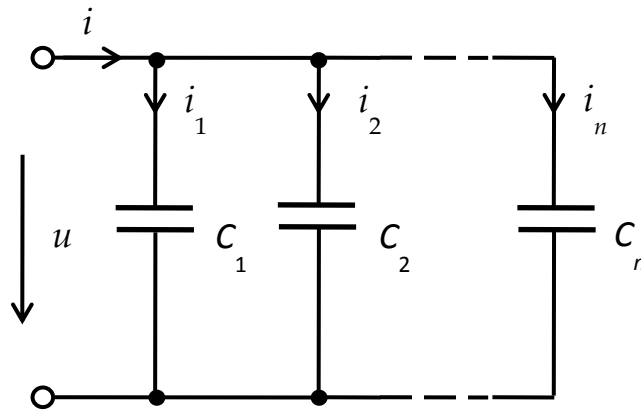


Рисунок 6 – Паралельне з'єднання конденсаторів

Для паралельного з'єднання ємнісних елементів за законами Кірхгофа матимемо:

$$i = \sum_{k=1}^n C_k \frac{du}{dt} = C \frac{du}{dt}.$$

Звідки маємо:

$$C = \sum_{k=1}^n C_k.$$

Тобто ємність батареї паралельно з'єднаних ємнісних елементів дорівнюватиме сумі ємностей окремих елементів батареї.

5. Еквівалентні перетворення електричних кіл

Властивості послідовного та паралельного з'єднань резистивних елементів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

	Послідовне з'єднання	Паралельне з'єднання
Схеми		
Струми	$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
Напруги	$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
Опори	$R = R_1 + R_2$	$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 = Y_1 + Y_2 = Y$, де $Y=1/R$ – провідність резистора

Перетворення «зірка»—«трикутник» буде еквівалентним, якщо струми зовнішніх гілок I_1, I_2, I_3 та напруги U_{12}, U_{23}, U_{31} залишаться незмінними (рис. 7).

Опори сторін «трикутника» R_{12}, R_{23}, R_{31} можна перерахувати в опори променів еквівалентної «зірки» R_1, R_2, R_3 за формулами:

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}. \quad (1.1)$$

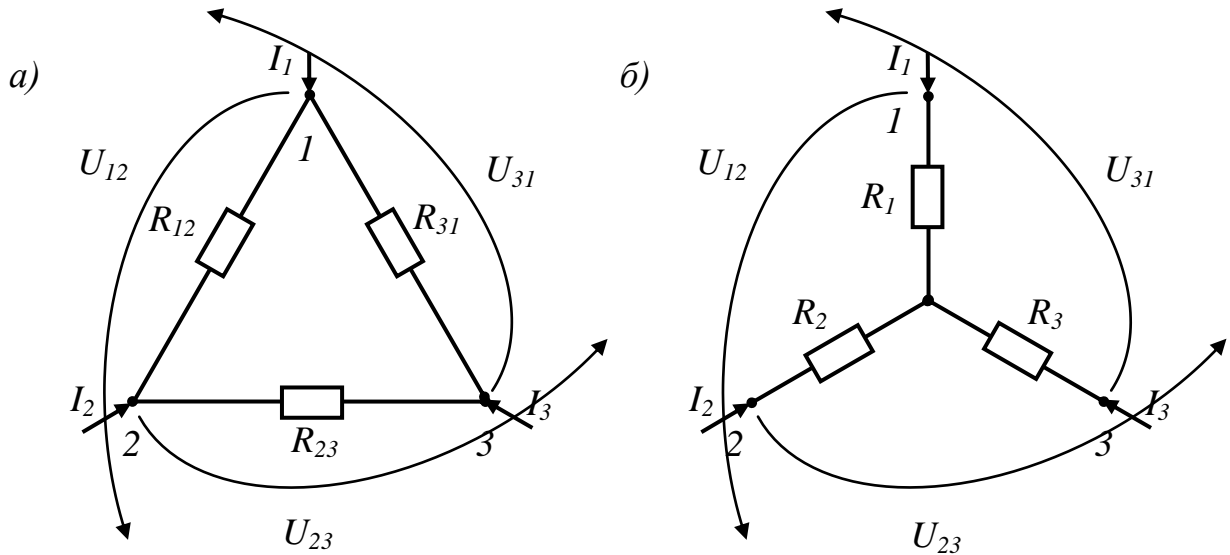


Рисунок 7 – Схеми еквівалентних перетворень «трикутник» (а) – «зірка» (б)

Перерахунок опорів променів еквівалентної «зірки» R_1, R_2, R_3 в опори сторін «трикутника» R_{12}, R_{23}, R_{31} можна здійснити за формулами:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1R_2}{R_3}, R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2R_3}{R_1}, R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3R_1}{R_2}. \quad (1.2)$$

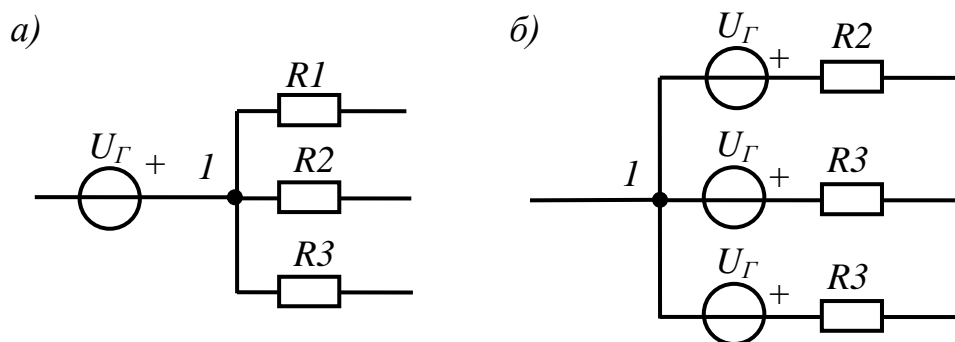
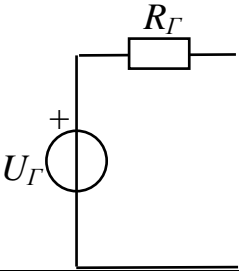
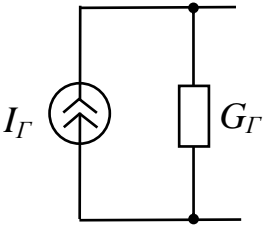
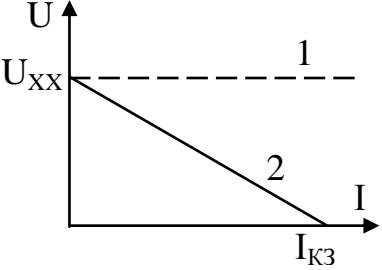
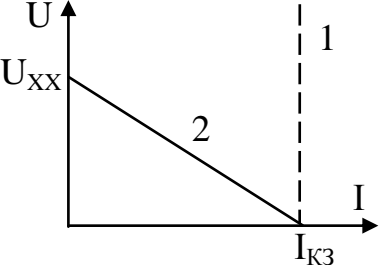


Рисунок 8 – Винесення ідеального джерела напруги за вузол

Ідеальне джерело напруги U_Γ можна перенести за вузол 1 (рис. 1.2, а), якщо у кожен гілку за вузлом увімкнути таке саме джерело U_Γ (рис. 1.2, б).

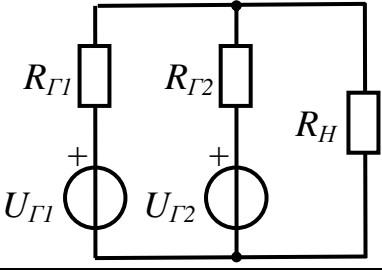
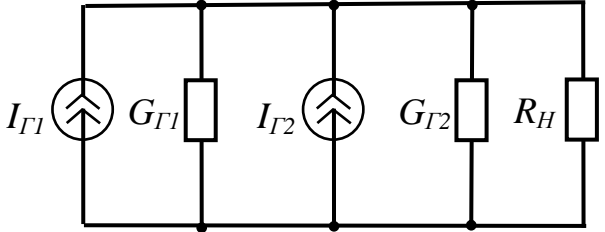
Основні характеристики джерел і співвідношення для еквівалентного перетворення наведені в табл. 2.

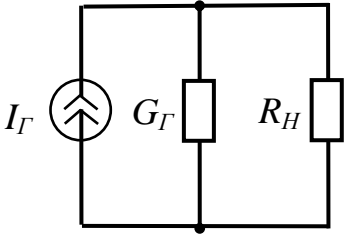
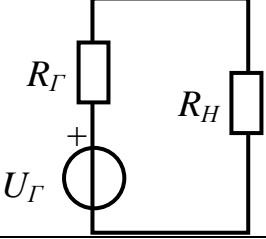
Таблиця 2

	Джерело напруги	Джерело струму
Реальне		
Ідеальне	$R_G = 0$	$G_G = 0$
Співвідношення при перетворенні	$U_G = I_G / G_G,$ $R_G = 1 / G_G$	$I_G = U_G / R_G,$ $G_G = 1 / R_G$
Вольт-амперні характеристики	 <p>1 – ідеальне джерело; 2 – реальне джерело</p>	 <p>1 – ідеальне джерело; 2 – реальне джерело</p>

Приклад застосування перетворення джерел для спрощення схеми поетапно наведено у табл. 3.

Таблиця 3

№	Розрахункові формули	Схеми перетворення
1	Вихідна схема	
2	$I_{G1} = U_{G1} / R_{G1},$ $G_{G1} = 1 / R_{G1},$ $I_{G2} = U_{G2} / R_{G2},$ $G_{G2} = 1 / R_{G2}$	

3	$I_{\Gamma} = I_{\Gamma 1} + I_{\Gamma 2},$ $G_{\Gamma} = G_{\Gamma 1} + G_{\Gamma 2}$	 <p>The diagram shows a current source labeled I_{Γ} in parallel with a conductance labeled G_{Γ}. This combination is in parallel with a resistor labeled R_H. The circuit is represented by three vertical branches connected by top and bottom horizontal wires. The first branch contains the current source, the second contains the conductance, and the third contains the resistor.</p>
4	$U_{\Gamma} = I_{\Gamma}/G_{\Gamma},$ $R_{\Gamma} = 1/ G_{\Gamma}$	 <p>The diagram shows a resistor labeled R_{Γ} in series with a voltage source labeled U_{Γ}. This series combination is in parallel with a resistor labeled R_H. The circuit is represented by two vertical branches connected by top and bottom horizontal wires. The left branch contains the resistor and the voltage source in series, and the right branch contains the resistor.</p>