

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА ЗА ОСЦИЛОГРАМОЮ ЙОГО РОЗРЯДУ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

Мета роботи: визначити електроємність конденсатора за осцилограмою його розряду через резистор.

Приладдя: графік осцилограми розряду конденсатора через резистор, отриманий за допомогою віртуального стенда LabVIEW.

Теоретичні відомості

Конденсатор, підключений до виводів джерела живлення постійного струму, накопичує заряд, який зберігається в ньому і після відключення джерела. Таким чином, конденсатор – подібно невеликій акумуляторній батареї – зберігає (і згодом може вивільнити) енергію. Швидкість заряду / розряду конденсатора надзвичайно висока, але вона може бути зменшена послідовним резистором, що дозволяє використовувати конденсатор в багатьох електронних схемах в якості компонента для вимірювання часу.

Розглянемо RC -коло, що не містить джерела електричної енергії. Тобто вхідна напруга дорівнює нулю. Така ситуація виникає, якщо джерело постійного струму раптово відключається від кола. При цьому енергія, накопичена в електричному конденсаторі, відводиться до резистора.

Нехай резистор R та заряджений конденсатор C з'єднані послідовно, як показано на рисунку 1.1. Відмітимо, що резистор і конденсатор можуть бути еквівалентним опором і еквівалентною електричною ємністю комбінацій резисторів і конденсаторів. Знайдемо напругу $U(t)$ на конденсаторі (напруга залежить від часу, конденсатор розряджається, напруга на ньому спадає).



Рисунок 1.1 – RC -коло без джерела електричної енергії

Нехай в початковий момент часу $t = 0$ початкова напруга на конденсаторі:

$$U(0) = U_0, \quad (1.1)$$

Застосуємо друге правило Кірхгофа (про напругу), запишемо

$$U_C + U_R = 0, \quad (1.2)$$

де U_C – миттєве значення напруги на конденсаторі під час перехідного процесу;

U_R – миттєве значення напруги на резисторі.
За законом Ома для ділянки кола:

$$U_R = iR, \quad (1.3)$$

де i – миттєве значення сили струму.

За визначеннями електроємності конденсатора та сили струму, отримаємо

$$i = C \frac{dU_C}{dt}. \quad (1.4)$$

Підставляючи (1.4) в (1.3), а (1.3) в (1.2), одержимо

$$RC \frac{dU}{dt} + U = 0$$

або

$$\frac{dU}{dt} + \frac{U}{RC} = 0. \quad (1.5)$$

Рівняння (1.5) є диференціальним рівнянням першого порядку, оскільки містить лише першу похідну за часом від напруги U . Щоб розв'язати його, розділимо змінні U і t :

$$\frac{dU}{U} = -\frac{1}{RC} dt.$$

Інтегруючи ліву та праву сторони, отримуємо

$$\ln U = -\frac{t}{RC} + \ln A,$$

де $\ln A$ – деяка константа інтегрування.

Таким чином

$$\ln \frac{U}{A} = -\frac{t}{RC}.$$

Візьмемо експоненту від лівої та правої частини:

$$U(t) = Ae^{-t/RC}.$$

Прийmemo до уваги початкову умову (1.1). Отже, розв'язок диференціального рівняння (1.5) набуде вигляду

$$U(t) = U_0 e^{-t/RC}. \quad (1.6)$$

Вираз (1.6) показує, що відгук напруги в RC -колі є експоненціальним спадом початкової напруги. Він обумовлюється початковою енергією, накопиченою в конденсаторі, та фізичними характеристиками кола, а не якоюсь зовнішньою напругою або джерелом струму.

Процес розрядження конденсатора в RC -колі ілюструється графічно на рисунку 1.2. Відмітимо, що в початковий момент часу $t = 0$ ми в точності отримуємо початкову умову (1.1). Зі зростанням часу t напруга зменшується до

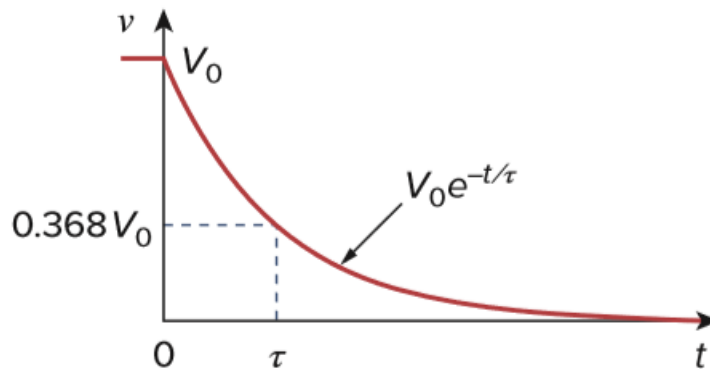


Рисунок 1.2 – Зменшення з часом напруги в RC -колі при відключенні від джерела електричної енергії

нуля. Швидкість, з якою напруга зменшується, виражається через константу – час релаксації τ . Протягом цього часу значення відповідної величини зменшується в e разів ($e \approx 2,718$ – основа натурального логарифма). Звідси випливає, що при $t = \tau$ рівняння (1.6) набуває вигляду

$$U_0 e^{-\tau/RC} = U_0 e^{-1} = 0,368 U_0.$$

Таким чином,

$$\tau = RC. \quad (1.7)$$

Враховуючи це співвідношення, перепишемо вираз (1.6) з часом релаксації:

$$U(t) = U_0 e^{-t/\tau}. \quad (1.8)$$

RC -коло з малим часом релаксації демонструє швидкий відгук, воно швидко досягає кінцевого стану завдяки швидкому розсіюванню накопиченої енергії. RC -коло з великим часом релаксації демонструє повільний відгук, для досягнення стаціонарного стану потрібно більше часу. У будь-якому разі, незалежно від того, малий чи великий час релаксації, на практиці RC -коло досягає кінцевий стан за п'ять часів релаксації.

З виразу (1.6) отримаємо розрахункову формулу для визначення електроємності конденсатора:

$$C = \frac{t}{R \ln \frac{U_0}{U}}. \quad (1.9)$$

Опір резистора R має бути відомим.

Хід виконання роботи

1. Запишіть значення опору резистора R .
2. За графіком осцилограми розряду конденсатора визначте початкову напругу на конденсаторі U_0 .
3. За графіком осцилограми розряду конденсатора для п'яти значень часу t визначте відповідні п'ять значень миттєвої напруги U . Запишіть їх в таблицю 1.1.
4. Для п'яти пар значень (t , U) за формулою (1.9) розрахуйте відповідні п'ять значень електроємності C . Запишіть їх в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

№	Час t , с	Напруга U , В	Ємність C , мкФ	Похибка ΔC_i
1				
2				
3				
4				
5				
		Середнє		

5. Знайдіть середню електроємність за формулою

$$C_{\text{сер}} = \frac{1}{5} (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5).$$

Запишіть її в таблицю 1.1.

6. Обчисліть абсолютні похибки для C_i за формулою

$$\Delta C_i = |C_i - C_{\text{сер}}|.$$

Запишіть їх в таблицю 1.1.

7. Розрахуйте похибку обчислення електроємності C як середнє арифметичне абсолютних похибок:

$$\Delta C_{\text{сер}} = \frac{1}{5} (\Delta C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3 + \Delta C_4 + \Delta C_5).$$

Запишіть її в таблицю 1.1.

8. Запишіть висновок, подавши результати розрахунків електроємності конденсатора у вигляді $C = C_{\text{сер}} \pm \Delta C_{\text{сер}}$.

Література

1. Кругляк М. В. Моделювання фізичних процесів в електронних RC-фільтрах : робота на здобуття кваліфікаційного рівня магістра; спец.: 171 – електроніка / М. В. Кругляк; наук. керівник А. М. Вітренко. – Суми : СумДУ, 2019. – 27 с. – URL : https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/76588/1/Kruhliak_Labview.pdf (дата звернення : 24.10.2023).