

Міністерство освіти і науки України
Національний університет Запорізька політехніка

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи з дисципліни

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ТА СИГНАЛІВ

для студентів спеціальностей
172 «Електронні комунікації та радіотехніка» та
G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та
радіотехніка»
всіх форм навчання

**Дослідження перехідних процесів у колах першого порядку
із застосуванням пакетів прикладних програм
MathCAD та *Electronics Workbench***

Запоріжжя - 2026

Методичні вказівки «Дослідження перехідних процесів у колах першого порядку із застосуванням пакетів прикладних програм *MathCAD* та *Electronics Workbench*» призначені для студентів спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» та 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» всіх форм навчання / Укладачі В.О. Костенко, Л.М. Карпуков – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026 – 27 с.

Укладачі:

канд. техн. наук, доцент
д-р тех. наук, професор

В.О. Костенко
Л.М. Карпуков

Відповідальний за випуск:
канд. техн. наук, доцент

В.О. Костенко

Затверджено
на засіданні кафедри РТТ
Протокол № 6 від 03.02.2026 р.

Затверджено
на засіданні НМК факультету ФІБЕК
Протокол №6 від 04.03.2026 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Короткі теоретичні відомості про перехідні процеси у найпростіших ланцюгах.....	5
1.1 RL-ланцюг.....	5
1.2 RC-ланцюг.....	8
1.3 Підключення генератора сигналів П-образної форми до таких ланцюгів.....	11
2 Моделювання імпульсів та перехідних процесів за допомогою математичного пакету програм MATHCAD.....	13
2.1 Формування прямокутних імпульсів.....	13
2.2 Моделювання перехідних процесів.....	15
3 Моделювання перехідних процесів за допомогою пакету ELECTRONIC WORKBENCH.....	19
4 Лабораторне завдання.....	20
5 Зміст звіту.....	24
6 Контрольні запитання.....	25
Перелік джерел посилань.....	26
Додаток.....	27

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять у собі короткі теоретичні поняття про класичний метод розрахунку перехідних процесів у ланцюгах першого порядку, рекомендоване застосування новітніх інформаційних технологій: математичного пакету *MathCAD* та пакету прикладного моделювання лінійних та нелінійних кіл *Electronics Workbench* (далі *EWB*).

Поширене практичне застосування цих двох пакетів комп'ютерних програм пов'язано з тим, що мова *MathCAD* дуже нагадує загальноприйнятую мову математичних та науково-технічних розрахунків, а прикладний пакет *EWB* є фактично віртуальною електронною лабораторією, де можна моделювати роботу будь-яких електричних кіл на персональному комп'ютері.

Після ознайомлення з теоретичним матеріалом [1] треба виконати попередній розрахунок даної роботи. Завдання до лабораторної роботи обирають відповідно до номера варіанту, що є номером студента в списку журналу академічної групи, складеному на початку семестру.

Позначка роботи: вивчення перехідних процесів в електричних колах першого порядку при підключення кола до джерела постійної напруги, набуття навичок практичного розрахунку за допомогою програмного середовища *MathCad* та моделювання в пакеті *Electronics WorkBench*.

1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ У НАЙПРОСТІШИХ ЛАНЦЮГАХ

Процес переходу електричного кола з одного встановленого режиму до іншого називають перехідним процесом [2;3;4]. Перехідні процеси виникають у колах з елементами, які можуть накопичувати електричну енергію у магнітному або електричному полі при різноманітних комутаціях: ввімкненнях, вимиканнях, обривах, коротких замиканнях та інших змінах конфігурації або параметрів кола.

1.1 RL-ланцюг

На рис. 1.1 подана схема електричного кола з резистором R та котушкою індуктивності L , причому активний опір котушки додано до опору резистора.

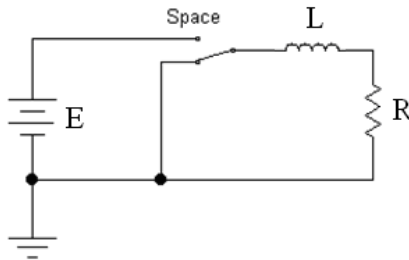


Рисунок 1.1 – Схема електричного кола з резистором та котушкою індуктивності

При ввімкненні тумблера S у колі виникає струм i , а на елементах утворюються спади напруг:

$$U_R = R \cdot i \quad \text{та} \quad U_L = L di/dt.$$

Згідно з другим законом Кірхгофа рівняння електричної рівноваги для миттєвих значень записується наступним чином:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = E \quad (1.1)$$

Отримано неоднорідне диференціальне рівняння першого порядку, рішенням якого являється додаток двох складових струму:

$$i(t) = i_B + i_{np},$$

де $i(t)$ - перехідний струм;
 i_B - вільна складова струму;
 i_{np} - примушена складова струму.

Для знаходження вільної складової струму розв'язують однорідне диференціальне рівняння:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = 0.$$

Замінив d/dt на p , записуємо характеристичне рівняння:

$$Lp + R = 0,$$

звідки його корінь дорівнює $p = -R/L$.

Після цього можна записати вільну складову перехідного струму:

$$i_B = Ae^{pt} = Ae^{-(R/L)t},$$

де A – стала інтегрування, яку розраховують використовуючи початкові умови.

Примушена складова перехідного струму – це струм при встановленому становищі після закінчення перехідного процесу. Її розраховують з рівняння (1.1) при похідних, які дорівнюють нулеві (частинне рішення неоднорідного диференціального рівняння):

$$i_{np} = E/R.$$

З урахуванням вільної та примушеної складових перехідний струм запишеться:

$$i(t) = i_{np} + i_g = \frac{E}{R} + A \cdot e^{pt} \quad (1.2)$$

У цьому рівнянні стала інтегрування визначають, використовуючи початкові умови для часу $t = 0(+)$, та перший закон комутації, який затверджує, що струм у котушці індуктивності до комутації дорівнює струму у котушці безпосередньо після комутації $i(0+) = i(0-)$. Струм у котушці індуктивності до ввімкнення джерела постійної ЕРС був відсутній, тому початкова умова нульова: $i(0+) = 0$.

Перепишемо рівняння (1.2) з урахуванням цієї початкової умови:

$$i(0+) = \frac{E}{R} + A \cdot e^{p \cdot 0} \rightarrow 0 = \frac{E}{R} + A.$$

Звідки стала інтегрування дорівнює: $A = -E/R$.

Остаточно вираз функції перехідного струму у колі з резистором та котушкою індуктивності запишеться:

$$i(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{\frac{R}{L}t} = \frac{E}{R} \cdot (1 - e^{\frac{-t}{\tau}}), \quad (1.3)$$

$$\tau = \frac{1}{|p|},$$

де τ – стала часу.

Коли підставити у рівняння (1.3) час від нуля до нескінченності, одержимо графік перехідного струму (дивись рис. 1.2).

Перехідний процес вважають закінченим, коли помилка δ дорівнює:

$$\delta = \frac{i_{np} - i(t)}{i_{np}} \cdot 100\% = (5 \dots 1,5\%),$$

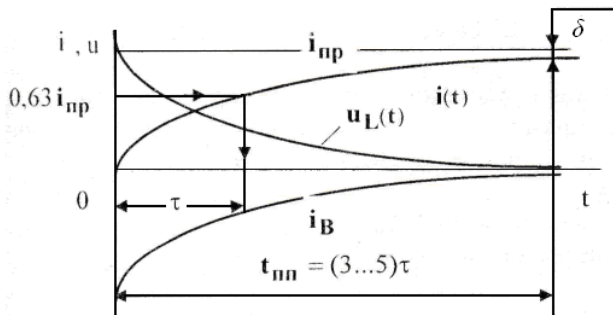


Рисунок 1.2 – Графіки перехідних процесів у колі з резистором та котушкою індуктивності

причому 3τ при 5% -ій помилці, а 5τ при 1,5% -ій помилці.

Сталу часу можна визначити з графіка перехідного процесу, коли відложити на вісі ординат величину $0,63 i_{нр}$ і визначити час, відповідний цьому значенню струму.

Для визначення спаду напруги на котушці індуктивності досить взяти похідну перехідного струму, яку помножити на індуктивність:

$$U_L(t) = L \frac{di}{dt} = E \cdot e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Графік перехідної напруги $U_L(t)$ подано на рисунку 1.2.

1.2 RC-ланцюг

На рисунку 1.3 наведена схема електричного кола, яка складається з резистору, конденсатора та джерела ЕРС.

При вмиканні тумблера у колі виникає перехідний струм, а на елементах спади напруг Ri та U_C .

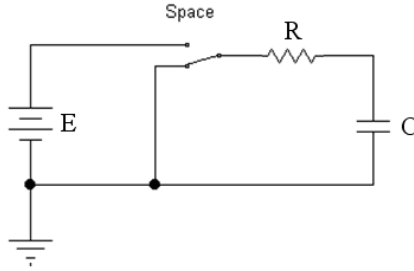


Рисунок 1.3 – Схема електричного кола з резистором та конденсатором

Струм крізь конденсатор дорівнює: $i = CdU_C/dt$, після закінчення процесу заряду струм припиняється. Рівняння за другим законом Кірхгофа записується так:

$$Ri + U_C = E \Rightarrow RCdU_C/dt + U_C = E \quad (1.4)$$

Отримано диференціальне рівняння першого порядку, розв'язування якого дає перехідну напругу на конденсаторі $U_C(t)$:

$$U_C(t) = U_{CB} + U_{Cnp},$$

де U_{CB} – вільна складова перехідної напруги (загальне рішення однорідного диференціального рівняння);

U_{Cnp} – примушена складова перехідної напруги (частинне рішення диференціального рівняння).

Для визначення вільної складової перехідної напруги прирівнюють рівняння (1.4) нулевій та змінюють d/dt на p , отримують характеристичне рівняння:

$$RCp + 1 = 0.$$

Звідки корінь характеристичного рівняння дорівнює:

$$p = -1/RC,$$

тоді вільна складова перехідної напруги на конденсаторі запишеться:

$$U_C(t) = Ae^{pt} = Ae^{-t/RC},$$

де A – стала інтегрування (буде визначена пізніше).

Для визначення примушеної складової напруги в рівняння (1.4) підставляють $d/dt = 0$, так як це є напруга після закінчення перехідного процесу:

$$U_{Cnp} = E.$$

Загальна перехідна напруга на конденсаторі запишеться:

$$U_C(t) = U_{Cnp} + U_{CB} = E + Ae^{-t/RC}.$$

Тепер визначимо сталу інтегрування, для цього використовуємо початкові умови (напруги або струми у момент комутації) та другий закон комутації (напруга на конденсаторі до комутації дорівнює напрузі безпосередньо після комутації). Для нашого конденсатора другий закон комутації запишеться : $U_C(0-) = U_C(0+)$. Початкова умова називається незалежною, тому що до комутації і після комутації її значення не змінюється. Так як до комутації конденсатор був незаряджений, то і після комутації його напруга дорівнює нулеві:

$$U_C(0-) = U_C(0+) = 0.$$

З урахуванням початкових умов перехідна напруга на конденсаторі для часу $t = 0+$ запишеться:

$$U_C(0+) = E + Ae^{-0/RC}, \text{ або } 0 = A + E.$$

Звідки визначиться стала інтегрування: $A = -E$.

Після завершення розв'язування диференційного рівняння (1.4) одержимо функцію перехідної напруги на конденсаторі:

$$U_C(t) = E - E e^{-t/RC} = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.5)$$

де $\tau = RC$ – стала часу електричного кола.

На рисунку 1.4 задані графіки перехідних напруг : $U_C(t)$, U_{Cnp} , U_{CB} , які побудовані за виразом (1.5). Вважають, що перехідний процес

закінчився, коли помилка $\delta = (U_{Cnp} - U_c(t))100\% / U_{Cnp}$ досягне 5...-1,5%, причому $\delta = 5\%$ відповідає $t_{nn} = 3\tau$, а $\delta = 1,5\%$ - 5τ .

Сталу часу можна визначити за графіком (див. рис. 1.4), коли відкласти на вісі ординат значення напруги $0,63 U_{Cnp}$ й знайти час, який відповідає цій напрузі.

Струм крізь конденсатор дорівнює похідній напруги на конденсаторі:

$$i_c(t) = C \cdot \frac{dU_c}{dt} = C \cdot (-E) \cdot \left(-\frac{1}{R \cdot C}\right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

Його графік подано на рисунку 1.4, як видно, спочатку струм стрибає до максимального значення, потім зменшується до нуля. Конденсатор не пропускає постійний струм.

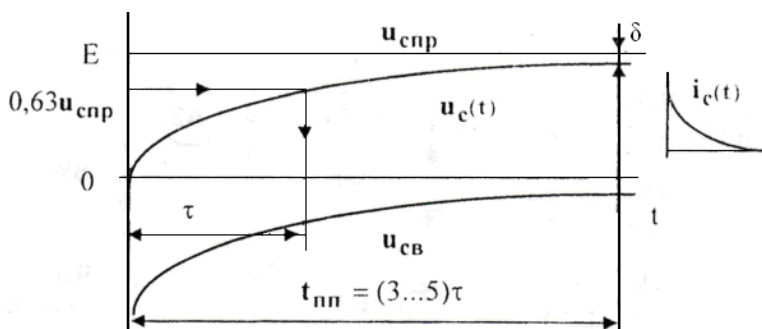
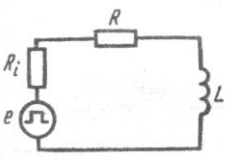
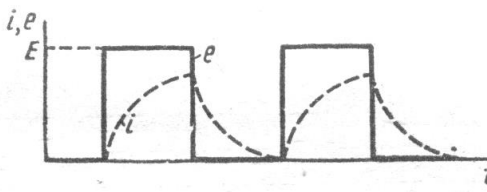


Рисунок 1.4 – Графіки перехідних процесів у колі з резистором та конденсатором

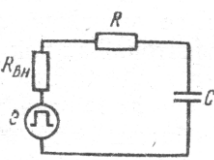
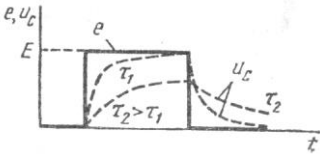
1.3 Підключення генератора сигналів П-образної форми до таких ланцюгів

Якщо до RL або RC - ланцюга підключити генератор, ЕРС якого має прямокутну форму [6], то це буде відповідати тому, що постійна напруга періодично відключається й підключається до ланцюга $(R_{вн}+R)L$ або $(R_{вн}+R)C$, де

$R_{вн}$ – внутрішній опір генератора сигналів П-образної форми (рис. 1.5, 1.6).

	
<p>Рисунок 1.5 – Підключення RL – ланцюга до генератора сигналів П-образної форми</p>	<p>Рисунок 1.6 – Осцилограми вхідної напруги та струму в ланцюзі</p>

Чим менше R в RL - ланцюзі, тим більше τ і тим повільніше наростає й спадає струм. Чим більше R в RC - ланцюгу, тим більше τ і тим повільніше наростає й спадає напруга на конденсаторі (рис. 1.7, 1.8).

	
<p>Рисунок 1.7 – Підключення RC – ланцюга до генератора сигналів П-образної форми</p>	<p>Рисунок 1.8 – Осцилограми вхідної напруги та напруги на ємності C в залежності від величини τ ланцюга</p>

2 МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСІВ ТА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ПАКЕТУ ПРОГРАМ MATHCAD

2.1 Формування прямокутних імпульсів

Прямокутні імпульси можна змоделювати двома способами.

Перший спосіб. У бібліотеці програми є східчаста функція Хевисайда, що позначена буквою Φ грецького алфавіту:

$$\Phi(t) = \begin{cases} 1 & \text{де } t \geq 0, \\ 0 & \text{де } t < 0. \end{cases}$$

Якщо програмно протабулювати функцію $\Phi(t)$, наприклад, на ділянці зміни t від -0.5 до 2 з кроком 0.001 та побудувати графік, то на екрані дисплею одержимо наступне зображення (рис. 2.1 а):

Якщо від отриманого імпульсу (рис. 2.1а) відняти графічно (додати негативний імпульс, рис. 2.1 б), то сформується бажаний прямокутний імпульс (рис. 2.1 в).

$$f1(t) := \Phi(t) - \Phi(t-T),$$

де $T=1$.

У такий спосіб можна одержати прямокутний імпульс. Але більш привабливим способом можна одержати прямокутний імпульс програмуванням на *MathCAD*.

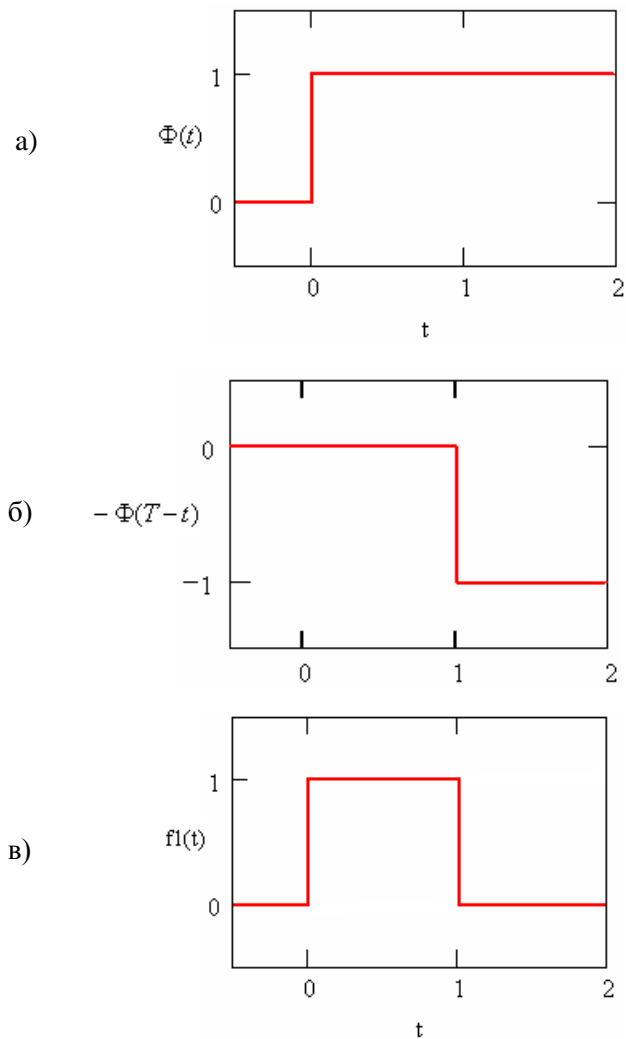


Рисунок 2.1 – Графічне складання функції Хевисайда (а) зі зміщеною функцією Хевисайда (б) з метою одержання прямокутного імпульсу (в)

Другий спосіб. Він заснований на програмуванні, тобто на використанні панелі “ПРОГРАМУВАННЯ”. В результаті на екрані дисплея одержимо наступне зображення:

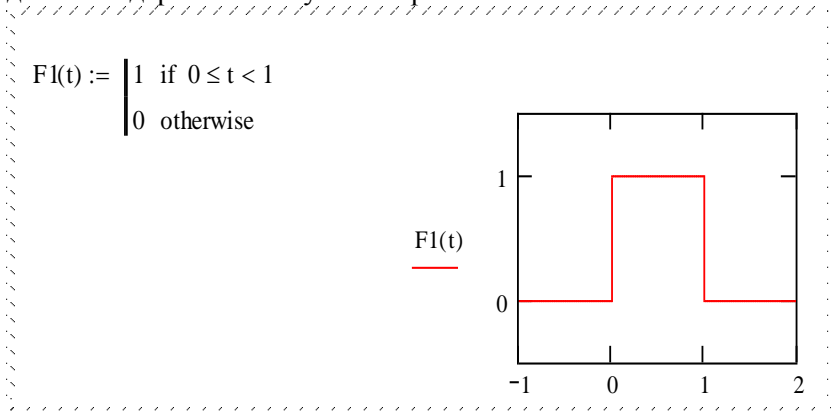


Рисунок 2.2 – Графік прямокутного імпульсу, одержаного програмуванням на *MathCAD*

Порядок набору представленої на рис. 2.2 програми наступний:

– після уведення лівої частини визначення функції й знака рівності “:=” необхідно переконатися в тім, що з’явилося поле уведення;

– тепер потрібно відкрити панель **програмування**, клацнувши по кнопці **програмування** в панелі **керування**. Потім потрібно нажати на панелі кнопку “**Add Line**”. З’явиться вертикальний стовпець із двома полями уведення для занесення операторів, що утворять програму. Поля уведення для додаткових операторів відкриваються за допомогою щиглика по кнопці “**Add Line**”;

– перейдіть у верхнє поле уведення, нажавши [Tab]. Надрукуйте 1 і натисніть кнопку “←” на панелі **програмування**.

У такий спосіб також одержано прямокутний імпульс (рис. 2.2).

2.2 Моделювання перехідних процесів

Для переходу від одиничного імпульсу до реального сигналу досить зробити множення такого імпульсу ($F1(t)$ або $f1(t)$) на амплітуду реального сигналу E [7]:

$$U(t) = E \cdot f1(t).$$

Якщо ввести t_1 – час включення імпульсу, t_2 – час виключення імпульсу, t_3 - момент включення наступного імпульсу, то математично одержимо прямокутні імпульси з періодом $T = t_3 - t_1$ (рис. 1.6).

Кожний прямокутний імпульс буде породжувати два перехідних процеси: від дії переднього фронту імпульсу та від дії заднього фронту.

RL-ланцюг. Після закінчення першого перехідного процесу ($t \geq 5\tau$), який описаний вище, в ланцюгу настане сталий режим:

$$i_L(t) = \frac{E}{R}, \quad U_L(t) = 0, \quad U_R(t) = i_L(t) \cdot R;$$

Якщо зараз ($t_2 = \text{time}$) перемкнути Space в другу позицію, то джерело енергії відключиться з одиночного прямокутного імпульсу (рис. 2.2) можна одержати серію і почнеться другий перехідний процес. Енергія, яка запасена в котушці індуктивності, буде розряджатися на резистор R . Початкові умови другого перехідного процесу будуть наступні:

$$i_L(t_2+) = i_L(t_2-) = \frac{E}{R}.$$

У новому режимі ($t_2 < t < T$):

$$i_{np}(t) = 0; \quad i_B(t) = i_L(t_2+) \cdot e^{-\frac{R}{L}t} = i_L(t_2+) \cdot e^{pt};$$

$$i_L(t) = i_{np}(t) + i_B(t) = i_L(t_2+) \cdot e^{pt}.$$

Згідно другого закону Кірхгофа:

$$U_L(t) + U_R(t) = 0,$$

тому

$$U_L(t) = -R \cdot i_L(t) = -R \cdot i_L(t_2+) \cdot e^{pt} = -E \cdot e^{pt} \quad (t_2 \leq t \leq T).$$

RC-ланцюг. Після закінчення першого перехідного процесу ($t \geq 5\tau$) в ланцюгу настане сталий режим: струм буде рівний нулю, а конденсатор зарядиться до напруги джерела.

Перемикач Space спрацює в момент $t=t_2$. Почнеться другий перехідний процес. Його початкові умови наступні:

$$U_C(t_2-) = U_C(t_2+) = E.$$

Перехід перемикача Space в другу позицію еквівалентний дії заднього фронту прямокутного імпульсу. Фактично джерело енергії буде вимкнено і почнеться новий (другий) перехідний процес. Енергія, яка була запасена в конденсаторі, буде розряджатися на резистор R.

У новому режимі ($t_2 < t \leq T$):

$$i_{np}(t) = 0; \quad i_B(t) = -\frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{1}{RC}(t-t_2)} = -\frac{E}{R} \cdot e^{p(t-\tilde{t}m)};$$

$$i_C(t) = i_{np}(t) + i_B(t) = -\frac{E}{R} \cdot e^{p(t-\tilde{t}m)};$$

$$U_C(t) = U_C(t_2+) \cdot e^{p(t-t_2)} = E \cdot e^{p(t-\tilde{t}m)}.$$

Зведемо реакції RL- та RC-ланцюгів на передній та задній фронти прямокутного імпульсу до купи і запишемо у зручній для моделювання на *Mathcad* формі.

Реакцію RL й RC - ланцюгів на вплив одного імпульсу можна представити в такий спосіб:

Для RL – ланцюгів.

$$UL(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ E \cdot e^{p \cdot t} & \text{if } 0 \leq t < \tilde{t}m \\ -E \cdot e^{p \cdot (t-\tilde{t}m)} & \text{if } \tilde{t}m \leq t \leq T \end{cases} \quad S(t) := \begin{cases} E & \text{if } 0 \leq t < \tilde{t}m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

де $p = -\frac{R}{L}$, $t_1 = 0$, $\tilde{t}m = t_2 - t_1$, $T = t_3 - t_1$.

Це справедливо для всіх ситуацій, коли $(t_2 - t_1) > 5 \cdot \tau$.

$$\Pi(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ \left(\frac{E}{R}\right) \cdot (1 - e^{p \cdot t}) & \text{if } 0 \leq t < \tau_{im} \\ \left(\frac{E}{R}\right) \cdot e^{p \cdot (t - \tau_{im})} & \text{if } \tau_{im} \leq t \leq T \end{cases} .$$

Для RC – ланцюгів

$$UC(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ E \cdot (1 - e^{p \cdot t}) & \text{if } 0 \leq t < \tau_{im} \\ E \cdot e^{p \cdot (t - \tau_{im})} & \text{if } \tau_{im} \leq t \leq T \end{cases} ;$$

де $p = -\frac{1}{R \cdot C}$.

$$IC(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ \left(\frac{E}{R}\right) \cdot (e^{p \cdot t}) & \text{if } 0 \leq t < \tau_{im} \\ -\left(\frac{E}{R}\right) \cdot e^{p \cdot (t - \tau_{im})} & \text{if } \tau_{im} \leq t \leq T \end{cases} .$$

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ *ELECTRONIC WORKBENCH*

Для успішної роботи треба навчитися працювати з осцилоскопом (осцилографом) згідно [5].

Все інше робимо так, як і в попередніх лабораторних роботах. Тобто, *Electronic Workbench* запускаємо звичайним шляхом (Пуск > Програми > *Electronic Workbench*). Коли на екрані монітора з'явиться оболонка інтерфейсу *EWB* – можна почати роботу.

Стрілкою маніпулятора «миша» на панелі компонентів обираємо необхідне поле, натискаємо ліву кнопку – входимо у відповідне поле компонентів. Обираємо необхідний елемент (прилад), утримуючи ліву кнопку маніпулятора, перемістимо цей елемент на робоче поле.

Натиснувши праву кнопку маніпулятора, відкриємо додаткове вікно із властивостями елемента (Label, Value, Fault, Display, Analysis Setup), які можна заповнити в разі споживи (не обов'язково).

З'єднаємо всі елементи та вимірювальні прилади в робочу схему.

4 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Намалюємо в звіті дві наступні схеми (рис. 1.1 та рис. 1.3)

4.2 Визначимо параметри елементів схем наступним чином

Якщо N – порядковий номер прізвища студента в журналі групи, то $h = N/10$. Тоді вхідні параметри для схеми рис. 1.1 визначимо, як:

$$E = 12 + h \text{ (В)}, \quad R = 10 + N \text{ (кОм)}, \quad L = 10 + h \text{ (мГ)};$$

а для схеми рис. 1.3, як:

$$E = 12 + h \text{ (В)}, \quad R = 1 + h \text{ (кОм)}, \quad C = 1 + h \text{ (мкФ)}.$$

4.3 Зробимо попередній розрахунок за допомогою калькулятора. Знайдемо для схем (рис. 1.1 та рис. 1.3) корені характеристичного рівняння p , сталу часу τ . Знайдемо окремо для RL та RC-ланцюгів тривалість імпульсу як

$$\Delta t_m = t_2 - t_1 = 10 \cdot \tau,$$

а період повторення імпульсів як

$$T = 2 \cdot \Delta t_m.$$

Визначимо сталу інтегрування A . Запишемо перехідний струм з урахуванням вільної та примушеної складових у загальній формі.

4.4 Сформуємо за допомогою пакету *Mathcad* одиничний імпульс одним із приведених способів, та змодельємо ваш імпульс з амплітудою E . Параметри елементів, програму та одержаний імпульс занотуємо у звіті.

4.5 Далі, використовуючи формули п.2.2, моделюємо в *Mathcad* перехідний процес під час надходження вашого прямокутного імпульсу до ланцюгів (схеми на рис. 1.5, 1.7).

4.6 При моделюванні перехідних процесів в пакеті *EWB* треба виконати чотири експерименти.

Експеримент 1. Підключення котушки індуктивності до неідеального джерела постійної ЕРС

Подивіться на часову залежність напруги на котушці $U_L(t)$ та струму через неї $i_L(t)$ при підключенні RL-кола до джерела постійної ЕРС (п.4.3), які вам треба одержати в пакеті *EWB*.

Наберіть наступну схему (рис. 4.1) в пакеті *EWB*.

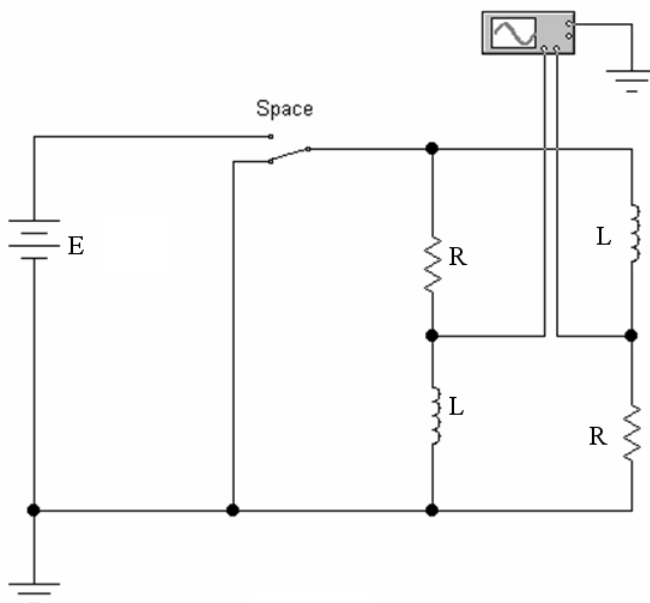


Рисунок 4.1 – Схема одночасного одержання осцилограм напруги на котушці та напруги на резисторі

Оскільки параметри двох гілок на рис. 4.1 однакові, процеси у них ідентичні, то можливо отримати на одному з входів осцилографа напругу на котушці, а на другому – напругу на резисторі, пропорційну струму через котушку.

Підключення виконується перемиканням ключа [Space]. Отримайте осцилограми $U_L(t)$ та $i_L(t)$. За осцилограмою визначте $I_L(0+)$, $U_L(0+)$ та сталу часу τ . Порівняйте їх з розрахунковими значеннями.

Експеримент 2.

Замініть у схемі (рис. 4.1) джерело струму ЕРС в E В та перемикач (Space) на джерело прямокутних імпульсів тієї ж амплітуди E В. Отримайте осцилограми $U_L(t)$ та $i_L(t)$. Чи є відмінності від отриманих раніше осцилограм у експерименті 1?

Експеримент 3. Розряд конденсатора через резистор

Подивіться на часову залежність напруги на конденсаторі $U_C(t)$ та току через нього $i_C(t)$ при закорочуванні RC-кола перемикача [Space], одержані в пакеті *Mathcad*.

Наберіть наступну схему (рис. 4.2) в пакеті *EWB*.

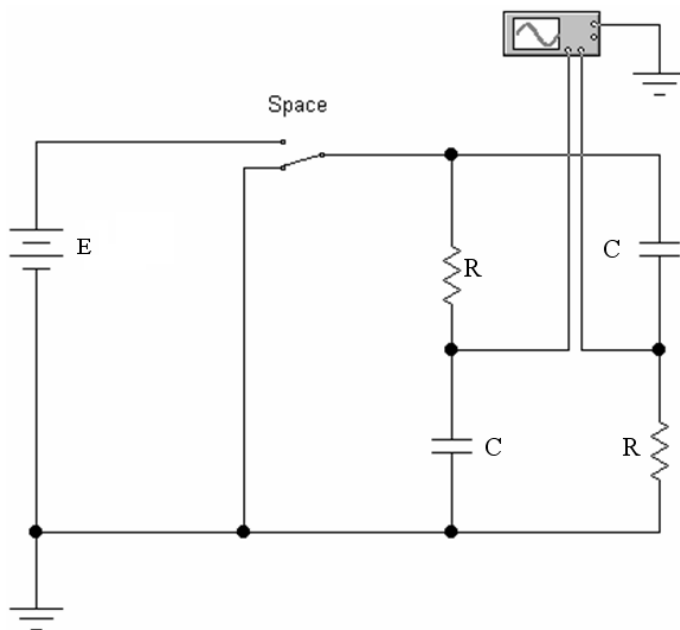


Рисунок 4.2 Схема одночасного одержання осцилограм напруги на конденсаторі та напруги на резисторі

Отримайте осцилограми $U_C(t)$ та $i_C(t)$. За осцилограмою визначить $I_C(0+)$, $U_C(0)$ та сталу часу τ . Порівняйте їх з розрахунковими значеннями. $I_C(0+)$ - струм через конденсатор зразу після комутації.

Оскільки параметри двох гілок на рис. 4.2 однакові, процеси у них ідентичні, то можливо отримати на одному з входів осцилографа напругу на конденсаторі, а на другому – напругу на резисторі, пропорційну струму через конденсатор.

Експеримент 4.

Замініть у схемі (рис. 4.2) джерело струму ЕРС в E В та перемикач (Spac) на джерело прямокутних імпульсів тієї ж амплітуди E В. Отримайте осцилограми $U_C(t)$ та $i_C(t)$. Чи є відмінності від отриманих раніше осцилограм у експерименті 3?

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт необхідно оформити на білих аркушах стандарту А4 згідно вимогам ДСТУ 3008:2015. На титульному аркуші обов'язково повинні бути назва роботи, прізвище виконавця, номер академічної групи, номер варіанту.

Звіт повинний вміщувати в собі:

- титульний аркуш,
- мету роботи,
- схеми електричні принципи, параметри елементів;
- записи характеристичних рівнянь, розрахунок коренів цих рівнянь та постійних інтегрування A , записи примушених та вільних складових перехідного струму в котушці та напруги на конденсаторі;
- сформований в *Mathcad* одиничний імпульс (параметри, формули, графіки);
- епюри перехідних процесів в *Mathcad*,
- схеми, набрані в *EWB*, та епюри перехідних процесів, одержаних на екрані осцилографа;
- висновок.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

6.1 Дати визначення перехідних та усталених режимів роботи електричного кола.

6.2 В яких електричних колах і при яких умовах виникають перехідні процеси?

6.3 Що таке вільні та усталені складові струми та напруги? Як вони визначаються.

6.4 Сформулюйте перший та другий закони комутації. Дати їм пояснення.

6.5 Що називається початковими умовами? Як вони визначаються?

6.6 Які початкові умови називаються незалежними, а які залежними?

6.7 Як визначаються сталі інтегрування у виразах перехідних струмів та напруг?

6.8 Який фізичний зміст мають сталі часу та від чого вони залежать?

6.9 Як протікають перехідні процеси при підключенні котушки індуктивності до джерела с постійною ЕРС?

6.10 Що таке характеристичне рівняння?

6.11 Чим визначається число коренів характеристичного рівняння?

6.12 У чому полягає сутність класичного методу розрахунку перехідного процесу?

6.13 Який принцип складання рівнянь для визначення постійних інтегрування?

6.14 Яка тривалість перехідного процесу та від чого вона залежить?

6.15 Як протікають перехідні процеси при підключенні конденсатору до джерела з постійною ЕРС?

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія електричних кіл та сигналів» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання. Частина I. / Укл.: В.О. Костенко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 108 с
2. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 1./ Волощук Ю.І. – Харків. Компанія «Сміт». – 2003. – 580 с.
3. Маляр В.С. Теоретичні основи електротехніки / Маляр В.С. – Л. Profbook. Львівська політехніка. – 2018. – 416 с.
4. Карпов Ю.О. Теоретичні основи електротехніки. Комп'ютерні розрахунки та моделювання лінійних електричних кіл. / Ю.О. Карпов, С.Ш. Каців, В.В. Кухарчук Л. – 2019. – 210 с.
5. Шегедин О.І. Теоретичні основи з електротехніки / О.І. Шегедин, В.С. Маляр. – К. Новий світ-2000. – 2020 – 172 с.
6. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Електроніка і мікросхемотехніка». (Електронне видання) / Уклад.: А.С. Торопов. – Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2022. – 14 с.
E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com.
7. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. – К.: Каравела, 2003. – 440 с.

ДОДАТОК

Правила виконання лабораторної роботи

Вся робота в математичному пакеті *MathCAD* та прикладному пакеті *EWB* виконується в комп'ютерному класі кафедри радіотехніки та телекомунікацій ЗНТУ згідно із розкладом занять академічної групи та учбовим планом кафедри. Результати розрахунків студенти зберігають у пам'яті комп'ютера в «папках», що відведені для кожного студента системним адміністратором комп'ютерного класу.

Працювати в комп'ютерному класі треба з дотриманням правил техніки безпеки:

– до початку роботи на комп'ютері студент зобов'язаний засвоїти правила безпечної роботи. Комп'ютер необхідно використовувати тільки для виконання своєї розрахункової роботи у своєму «робочому просторі». Ні в якому разі не відкривати інші папки, системи, програми, тим більше вносити туди зміни або видаляти їх;

– переконатися в наявності Вашої «Папки» на «Робочому столі» комп'ютера, відкрити «*MathCAD*» («Пуск – Програми – MathSoft Apps – MathCad 2000 Professional») або «*Electronics Workbench*» («Пуск – Програми – Electronics Workbench»);

– увійти до свого робочого файлу (головне меню File – пункт Open, або *Ctrl+O*), працювати тільки з ним;

– результати роботи показати викладачу, який проводив заняття в комп'ютерному класі;

– періодично через 15-20 хвилин зберігати результати роботи (меню File – пункт Save As або Save, або *Ctrl+S*) у файлі з оригінальним ім'ям, розташованим у своїй «Папці». По закінченню заняття обов'язково зберегти результати своєї роботи, завершити всі програми і сеанс.