

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ**

Козбур І.Р.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних занять і розрахункової
роботи по дисципліні**

«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ»

**«Дослідження перехідних характеристик
динамічних ланок в середовищі MicroCAP»**

**для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»**

Тернопіль 2018

література



Навчально-методична

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ**

**Кафедра
Автоматизації технологічних
процесів і виробництв**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт по курсу
"ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ"
Дослідження перехідних характеристик динамічних ланок в
середовищі MicroCAP**

Для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Тернопіль - ТНТУ – 2018

Методичні вказівки до виконання практичних робіт по курсу "Теорія автоматичного управління", – Дослідження перехідних характеристик динамічних ланок в середовищі MicroCAP для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р. -Тернопіль: ТНТУ, 2018. - с. 36

Укладач: ст. викл. Козбур І.Р.

Рекомендовано кафедрою “Автоматизації технологічних процесів і виробництв”, протокол №_____ від «___» _____201___ р.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ПЕРЕДМОВА	5
МЕТА РОБОТИ	6
1. Часові функції та характеристики	7
2. Основні положення роботи у програмному середовищі Micro-CAP	15
3. Визначення часових перехідних характеристик для типових динамічних ланок CAP. Аперіодична ланка 1-го порядку	29
4. Вимоги до виконання розрахунково-практичної роботи	31
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	32
Додаток 1 Схемні рішення для проведення моделювання	33
Додаток 2 Варіанти числових номіналів для схемних рішень	36

ПЕРЕДМОВА

Теорія автоматичного управління (ТАУ) – наукова дисципліна, предметом вивчення якої є процеси, що відбуваються в системах автоматичного керування (САК).

Завданнями курсу є:

- вивчення функцій, які виконують у САК окремі пристрої і елементи;
- виявлення загальних закономірностей функціонування САК в цілому;
- розробка на основі вищевказаних закономірностей методів аналізу існуючих і синтезу нових САК.

Рішення цих завдань проводиться з використанням:

- теорії диференціальних рівнянь;
- операційного числення (перетворення Лапласа);
- спектрального аналізу (перетворення Фур'є);
- математичного моделювання.

Вивчати матеріал курсу рекомендується в порядку, наведеному в дійсних методичних вказівках. Після вивчення кожної теми необхідно розібратися з рішенням типових завдань, наведених у вказівках, і відповісти на контрольні питання.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є визначення передавальних, перехідних і вагових функцій для R,C,L-з'єднань.

Створення відповідних схемних рішень у програмному середовищі Micro-CAP9, проведення в ньому моделювання часових перехідних характеристик. Визначення впливу на форму і параметри перехідних характеристик зміни номіналів елементів, котрі входять у R,C,L-з'єднання.

Проведення порівняльного аналізу розрахункових і модельованих перехідних часових характеристик.

Робота дозволить закріпити теоретичні знання у розділах Теорії автоматичного керування, які стосуються динамічних ланок та визначення їх характеристик. Крім цього, дасть можливість покращити практичні навички роботи у сучасному програмному середовищі моделювання електронних і радіо схем Micro-CAP9, котрі можна використати при вивченні паралельних і наступних дисциплін в навчальному плані підготовки фахівців спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», таких як «Основи електроніки», «Основи електротехніки» і.т.п.

1. Часові функції та характеристики

Під часовими характеристиками в загальному випадку розуміють аналітичний вираз та графічне зображення процесу зміни функції вихідної величини у часі, при переході системи з одного рівноважного стану в інший, в результаті надходження на вхід системи деякого типового впливу.

Тому що диференціальне рівняння динаміки системи теж визначає зміну функції вихідної величини у часі при деяких початкових умовах, тоді часова характеристика зображує собою рішення диференціального рівняння для прийнятого типового впливу й, отже, повністю характеризує динамічні властивості системи.

Так як часові характеристики можуть бути отримані не тільки шляхом рішення диференціального рівняння динаміки, але й експериментально, тому існує можливість визначення динамічних властивостей системи по часовій характеристиці, що має винятково важливе практичне значення, оскільки в цьому випадку не потрібно виводити й вирішувати диференціальні рівняння.

В якості типових, при визначенні часових перехідних функцій і характеристик, найбільш широке застосування знайшли **одиничний ступеневий й одиничний імпульсний впливи**.

Математичний вираз одиничного ступеневого впливу (функція Хевісайда) може бути записаний, при виконанні нульових початкових умов, у вигляді, –

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

Під одиничним імпульсним впливом розуміється гранично короткий імпульс з безмежною амплітудою

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t \neq 0, \end{cases}$$

площа якого дорівнює одиниці, тобто

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Вираз для одиничного імпульсу $\delta(t)$ в математиці прийнято називати дельта-функцією (функція Дірака).

Графічне зображення реакції системи на одиничний ступеневий вплив називається **перехідною** характеристикою.

Аналітичний вираз перехідної характеристики позначається $h(t)$ й називається перехідною функцією.

Графічне зображення реакції системи на одиничний імпульсний вплив називають **імпульсною перехідною** характеристикою.

Аналітичний вираз імпульсної перехідної характеристики в часовій формі позначається $w(t)$ й називається імпульсною перехідною функцією або ваговою функцією (функцією ваги).

При практичних розрахунках найбільш широке застосування знаходить часова характеристика у вигляді перехідної характеристики, тому що її досить просто отримати експериментально й, крім того, обумовлений нею перехідний процес часто виникає при включеннях і змінах задаючого впливу.

При надходженні на вхід системи з передатною функцією $W(p)$ величини $x_{ex}(t) = 1(t)$, при $t_0 = 0$ на виході одержуємо перехідну характеристику $x_{вих}(t) = h(t)$.

У перетвореному по Лапласу вигляді вхідна й вихідна величини запишуться

$$X_{ex}(p) = L\{X_{ex}(t)\} = L\{1(t)\} = \frac{1}{p},$$

$$L\{h(t)\} = h(p) = X_{вих}(p).$$

З урахуванням цих співвідношень одержимо:

$$W(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = p \times h(p) = p \times L\{h(t)\}. \quad (1.1)$$

З останнього виразу випливає, що по перехідній функції можна отримати передавальну функцію.

При надходженні на вхід САР величини $x_{\text{вх}}(t) = d(t)$ на виході одержуємо імпульсну перехідну характеристику $w(t)$ або в перетвореному по Лапласу виді:

$$X_{\text{вх}}(p) = L\{x_{\text{вх}}(t)\} = L\{d(t)\} = 1,$$

$$X_{\text{вх}}(p) = L\{w(t)\} = w(p).$$

У результаті визначимо:

$$W(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = w(p) = L\{w(t)\}. \quad (1.2)$$

Встановимо зв'язок між перехідною й імпульсною перехідний функціями, дорівнявши праві частини виразів (1.1) і (1.2):

$$p \times L\{h(t)\} = L\{w(t)\}.$$

Але тому що p відповідає символу диференціювання, тому буде справедливою рівність

$$w(t) = h'(t).$$

Імпульсна перехідна функція є похідною від перехідної функції.

Вирішення питань аналізу існуючих і синтезу нових САК можливе лише при наявності відповідного математичного опису їхніх властивостей. Цей опис називають *математичною моделлю САК*, тому що при її складанні завжди робляться ті або інші допущення і наближення.

При математичному описі САК застосовують два підходи: перший з них ґрунтується на поданні моделей у змінних *вхід – вихід*, а іншої – у *змінних стану*.

Математичний опис системи складається на основі опису всіх складових елементів.

Для САК, що має один вхід $x(t)$ і один вихід $y(t)$, математичну модель можна представити у вигляді:

$$F\left(x(t), \dot{x}(t), y(t), \dot{y}(t), \ddot{y}(t), \dots, y^{(n)}(t)\right) = 0. \quad (1.3)$$

Для лінійної стаціонарної САК рівняння (2.1) є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням виду:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 u^{(m)}(t) + b_1 u^{(m-1)}(t) + \dots + b_m u(t), \quad (1.4)$$

де $u(t)$ й $y(t)$ – відповідно, вхідна і вихідна величини, що змінюються в часі; a_i , b_j – постійні коефіцієнти, обумовлені параметрами системи; n – порядок рівняння.

При дослідженні САК, особливо при порівнянні властивостей систем і їхніх елементів між собою, зручно представляти рівняння в так званій *стандартній формі*. При цьому використовуються наступні правила:

- вихідну величину і всі її похідні записують у лівій частині рівняння, а всі інші члени – у правій;
- коефіцієнт при вихідній величині шляхом еквівалентних перетворень роблять рівним одиниці;
- якщо в правій частині є похідні, то члени, що містять певну вихідну величину і її похідні, поєднують в одну групу а коефіцієнт при цій величині виносять за дужки.

У ТАК саме широке застосування знайшов *операційний метод опису*, заснований на використанні інтегрального перетворення Лапласа (L-перетворення):

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt. \quad (1.5)$$

Це перетворення встановлює відповідність між функцією $f(t)$

дійсної змінної t і функцією $F(s)$ комплексної змінної $s = a + jb$. При цьому $f(t)$ називають *оригіналом*, а $F(s)$ - *зображенням*.

Перетворення Лапласа ставить у відповідність операціям над оригіналами деякі певні операції над зображеннями. У таблиці 2.1 наведені основні співвідношення, які використовуються при описі лінійних САК.

Застосування перетворення Лапласа при математичному описі САК обумовлюється також і тим, що з його допомогою визначають так називану передатну функцію, що є самою компактною формою опису властивостей САК або її складових елементів.

Передатною функцією називається відношення вихідної величини до вхідної, перетворених за Лапласом при нульових початкових умовах.

Таблиця 1.1 - Властивості перетворення Лапласа

Найменування властивості	Оригінал	Зображення
Лінійність	$\sum_{k=1}^n a_k f_k(t)$	$\sum_{k=1}^n a_k F_k(s)$
Диференціювання оригіналу при нульових початкових умовах	$\frac{d^{(n)} f(t)}{dt^n}$	$s^n F(s)$
Інтегрування оригіналу при нульових початкових умовах	$\int_0^t f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s}$
Зміна масштабу	$f(at)$	$\frac{1}{a} F\left(\frac{s}{a}\right)$
Зсув аргументу оригіналу	$f(t - t_0)$	$F(s)e^{-st_0}$
Згортка функцій	$\int_0^t f_1(t) f_2(t - t) dt$	$F_1(s)F_2(s)$
Початкове значення оригіналу	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t)$	$\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$
Кінцеве значення оригіналу	$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$	$\lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$

Диференціальні рівняння не залежно від форми подання є самою загальною формою опису САК і не дають наочного подання про всі її властивості. Більш наочно характеризують ці властивості функції $y(t)$, що є рішеннями диференціальних рівнянь. Найбільш широке використання при описі динамічних властивостей одержала перехідна функція $h(t)$. *Перехідною функцією* називають функцію, що описує зміну вихідної величини, яка виникає після подачі на вхід одиничного східчастого впливу $1(t)$ при нульових початкових умовах. Графік перехідної функції називається *перехідною характеристикою*.

Другою часовою характеристикою є *імпульсна перехідна функція* $w(t)$. Під цією функцією мають на увазі функцію, що описує зміну вихідної величини, яка виникає після подачі на вхід дельта-функції при нульових початкових умовах. Графік $w(t)$ називають *імпульсною перехідною характеристикою*.

Лінійні САК описуються диференціальними рівняннями вигляду:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 x^{(m)}(t) + b_1 x^{(m-1)}(t) + \dots + b_m x(t), \quad (1.6)$$

де $x(t)$ й $y(t)$ – відповідно, вхідна і вихідна величини; a_i , b_j – коефіцієнти; n – порядок рівняння.

З курсу вищої математики відомо, що інтегрування рівняння (1.6) зводиться до знаходження суми загального рішення однорідного рівняння без правої частини $y_c(t)$ і якого-небудь приватного рішення неоднорідного рівняння $y_b(t)$, тобто:

$$y(t) = y_c(t) + y_b(t). \quad (1.7)$$

Зміна вихідної величини, обумовлена складовою $y_c(t)$ називається *вільним рухом*, тому що залежить тільки від виду лівої частини рівняння (3.1), тобто від внутрішніх властивостей самого об'єкту. Складова $y_b(t)$,

навпаки, залежить від характеру вхідного впливу і тому відповідна зміна називається *змушеним рухом*.

Складову $y_c(t)$ шукаємо у вигляді

$$y_c(t) = e^{pt}, \quad (1.8)$$

де p – деяке раціональне число.

Підставивши (1.8) у рівняння (1.6) при нульовій правій частині, одержимо:

$$a_0 p^n e^{pt} + a_1 p^{n-1} e^{pt} + \mathbf{K} + a_n e^{pt} = 0,$$

або

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \mathbf{K} + a_n = 0. \quad (1.9)$$

Останнє рівняння називається *характеристичним*.

Таким чином вираз (1.8) є рішенням вихідного рівняння за умови, що p є коренем рівняння (1.9). Оскільки це рівняння має n коренів, то маємо і n лінійно незалежних рішень $y_i(t)$. Скористаємося відомою теоремою математики, яка затверджує, що якщо n лінійно незалежних функцій $y_i(t)$ є рішеннями однорідного рівняння, то загальне вирішення цього рівняння визначається виразом

$$y_c(t) = \overset{\circ}{\mathbf{a}} \sum_{i=1}^n C_i y_i(t) = \overset{\circ}{\mathbf{a}} \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}, \quad (1.10)$$

де C_i – довільні постійні інтегрування.

Застосування перетворення Лапласа значно спрощує визначення часових характеристик.

Хід вирішення при цьому наступний.

1. Перетворимо вихідне рівняння (1.6) по Лапласу при нульових початкових умовах:

$$a_0 s^n Y(s) + a_1 s^{n-1} Y(s) + \mathbf{K} + a_n Y(s) = b_0 s^m X(s) + b_1 s^{m-1} X(s) + \mathbf{K} + b_m X(s). \quad (1.11)$$

2. Вирішимо алгебраїчне рівняння (1.11) відносно $Y(s)$ при заданому $X(s)$:

$$Y(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} X(s) = \frac{B(s)}{A(s)} X(s). \quad (1.12)$$

У випадку, якщо зображення є дробово-раціональною функцією, тобто:

$$F(s) = \frac{C(s)}{D(s)} = \frac{c_0 s^l + c_1 s^{l-1} + \dots + c_{l-1} s + c_l}{d_0 s^r + d_1 s^{r-1} + \dots + d_{r-1} s + d_r},$$

причому $l < r$, а коефіцієнти c_i , d_j - дійсні числа, застосовується формула розкладання Хевісайда:

$$f(t) = \sum_{j=1}^N \frac{C(s_j)}{D'(s_j)} e^{s_j t}.$$

де s_j - прості корені рівняння $D(s) = 0$; N - число коренів.

2. Основні положення роботи у програмному середовищі Micro-CAP

Для аналізу електромагнітних процесів в енергетичних системах широко застосовуються PSpice - технології, наприклад програма візуального моделювання Micro-Cap 9, порядок роботи з якої розглянутий нижче.

Запуск керуючої оболонки здійснюється установкою пакета MICRO-CAP 9 і запуском файлу, що виконує, MC9.EXE. Для запуску цієї програми необхідно увійти в меню Пуск - Програми - Micro-CAP 9 - Micro-CAP 9 або натисканням ярлика на робочому столі.

Після виклику програми MC9 на екрані з'явиться основне вікно програми (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 – Основне вікно програми Micro-CAP 9

Після того як з'явилося робоче вікно програми, у верхньому рядку якого ми побачимо меню команд (рисунок 2.1). Нижче розташована панель інструментів. Простір з білим тлом нижче панелі інструментів називають робочою областю або вікном редактора схем.

Системне меню або меню команд є головним меню пакета MICRO - CAP 9. Воно містить наступні розділи:

File, Edit, Component, Windows, Options, Analysis, Help.

Системне меню.

Перший розділ у меню команд називається **File**. У цьому розділі ми можемо зберегти схему, відкрити її, або ж створити нову, все це можна виконати, увійшовши в меню команд **File** (Файл). Для цього треба підвести курсор миші до назви пункту меню **File** і натиснути ліву кнопку миші. Після цього з'явиться вікно як показане на малюнку 2.2. Вибір інших команд системного меню здійснюється аналогічним чином. Найбільш

використовувані команди, які нам будуть потрібні для подальшої роботи - це **New** (Новий), **Open** (Відкрити), **Save** (Зберегти) і **Save As...**(Зберегти як).

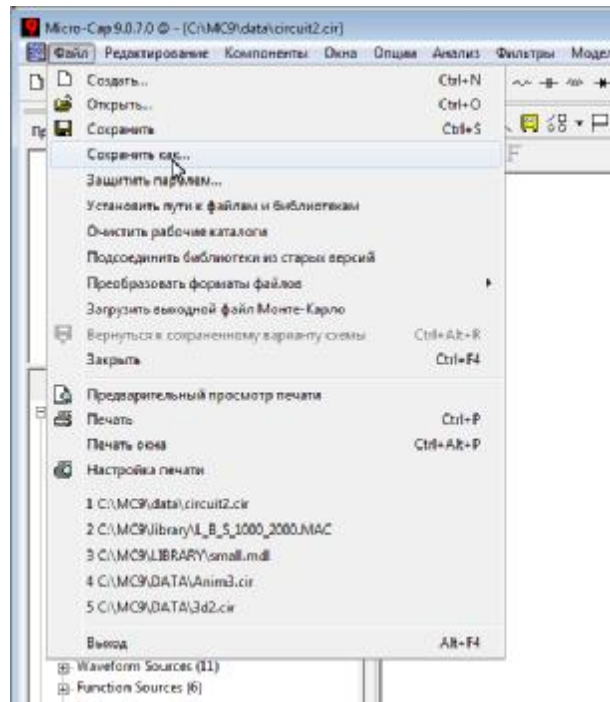


Рисунок 2.2 – Системне меню File

- 1) Створення нової схеми. Спочатку мишкою вибирається режим **File**. По команді **New** (Ctrl + N) пропонується зробити вибір (рис. 2.3).

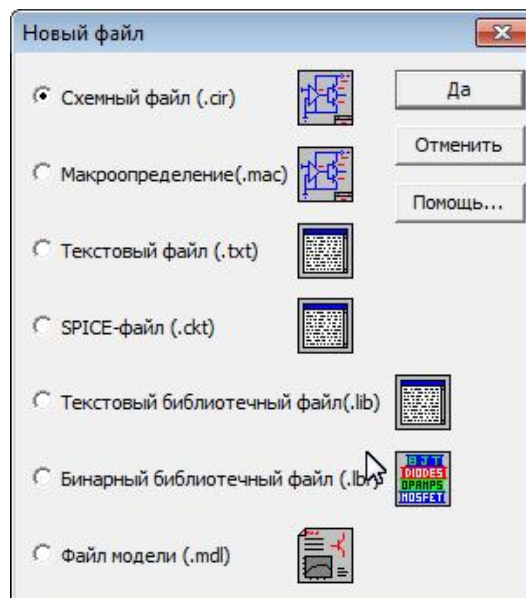


Рисунок 2.3 – Створення нової схеми

Вибираємо тип файлів Schematic і натискаємо "кнопку" ОК.

2) Завантаження схеми. Для завантаження готової схеми вибираємо команди **File - Open** (Ctrl + O). У вікні, що відкрилося, вибираємо каталог C:\MC9\DATA, у якому перебувають файли схем.

3) Збереження схеми. Для збереження схеми з активного вікна використається команда **File - Save** (Ctrl + S). Для того щоб зберегти схему під новим ім'ям, необхідно скористатися командою **File - Save As...**

Нове ім'я схеми, бажано, повинно містити не більше 8 букв і цифр. Ім'я повинне починатися з букви.

Створену схему можна редагувати, для цього треба вибрати курсором миші в меню команд поле **Edit** (Редагування) (рисунок 2.4). Після цього у вікні з'явиться список команд для редагування схеми. Для роботи нам знадобляться наступні команди: **Undo** - скасувати останню дію, **Cut** - вирізати об'єкт, **Copy** - копіювати об'єкт, **Paste** - вставити останнє копіювання, **Clear** - видалити (очистити). Для виконання останніх чотирьох команд необхідно попередньо виділити об'єкт, як показано на малюнку 4. Для цього вкажіть на нього курсором і натисніть один раз на ліву кнопку миші.

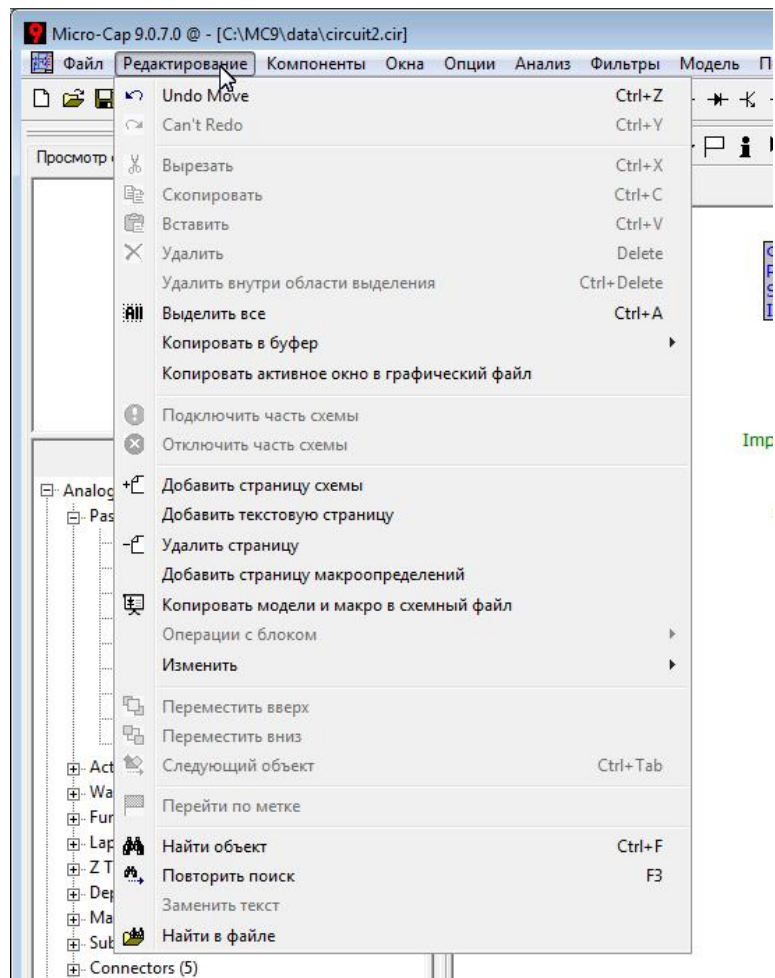


Рисунок 2. 4 – Меню команд **Edit**

Для створення схеми необхідна бібліотека компонентів, за допомогою якої вибираються необхідні елементи схеми. Для цього необхідно увійти в меню команд і вибрати **Component** (Компонент), як показано на малюнку 2.5. У відкритому вікні представиться повний список компонентів, з яких можна вибрати будь-який необхідний, вибравши його курсором. Потім клацаємо лівою кнопкою миші на обраний елемент і повторно клацаємо на те місце на робочому столі, куди хочемо помістити цей компонент. Більше докладний опис компонентів буде розглянуто нижче.

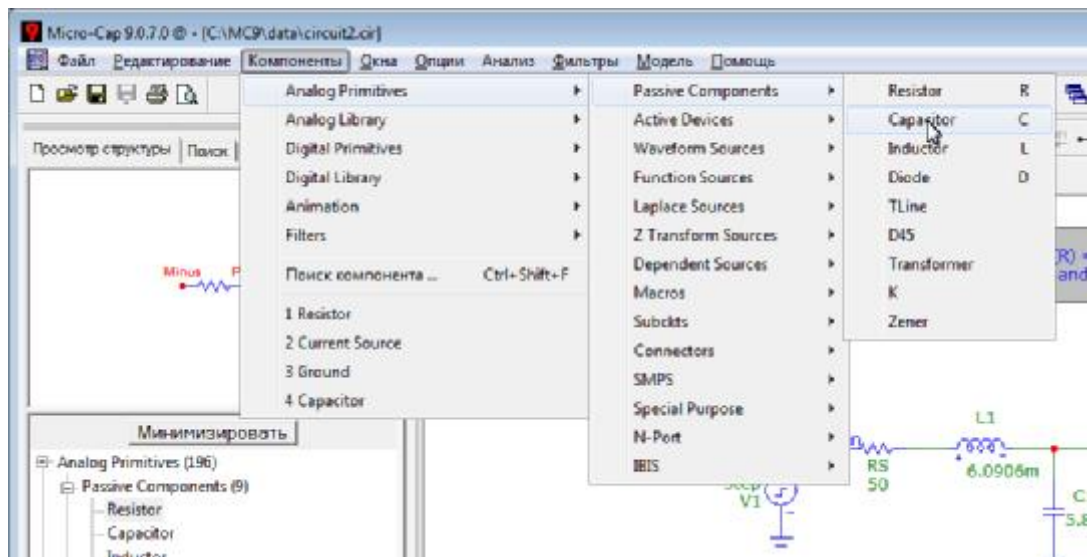


Рисунок 2.5 – Меню команд **Component**

Наступний розділ у командному меню **Windows** (Вікна) дозволяє працювати з вікнами робочої області. Вид вікна **Windows** показаний на малюнку 2.6.

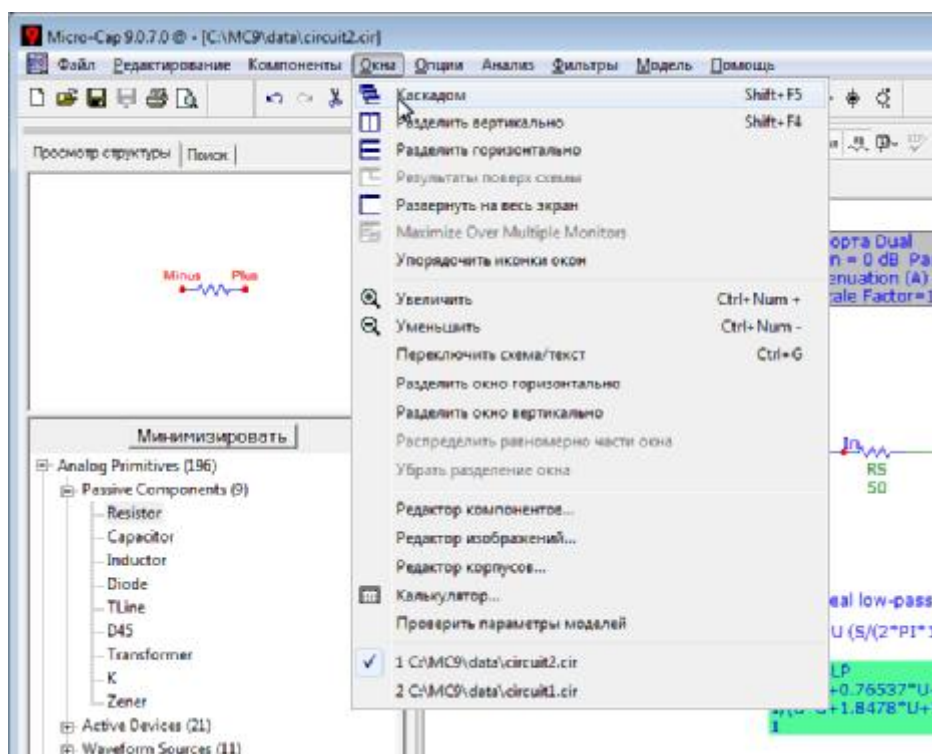


Рисунок 2.6 – Командне меню **Windows** (Вікна)

За допомогою цієї команди, вікна можна розташувати каскадом (**Cascade**), вертикально (**Vertical**), горизонтально (**Horizontal**) і в

розгорнутому виді (**Maximize**). У цьому ж розділі меню можна, як збільшувати розмір схеми на екрані (**Zoom-In**), так і зменшувати (**Zoom-Out**).

Розділ за назвою **Options** (опції) (рисунок 2.7) містить команди виборів режиму редагування й завдання різних параметрів програми. Основні команди, що перебувають у даному розділі, які нам знадобляться для подальшої роботи, винесені в рядок панель інструментів.

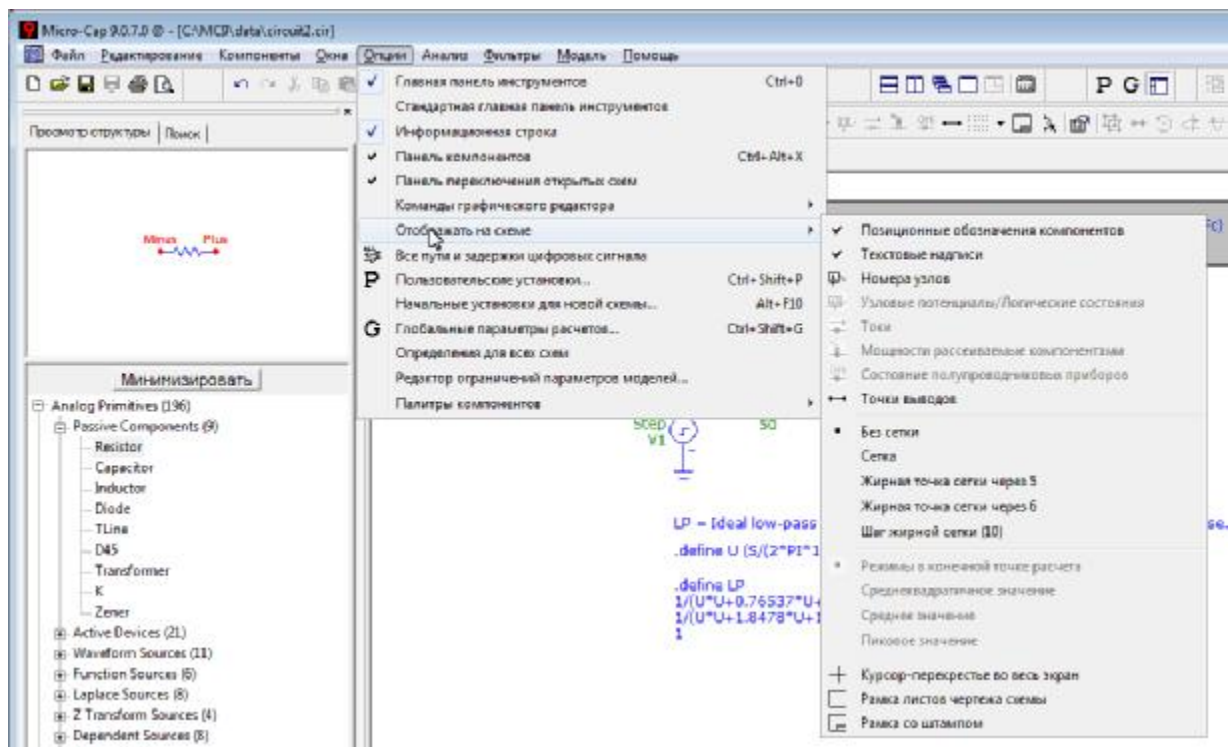


Рисунок 2.7 Розділ командного меню за назвою **Options**

Останній пункт меню **Analysis** містить перелік режимів моделювання, як показано на малюнку 2.8:

- Transient Analysis...(Alt+1) - Аналіз перехідних процесів;
- AC Analysis...(Alt+2) - Аналіз частотних характеристик;
- DC Analysis...(Alt+3) - Аналіз передавальних функцій по постійному струмі;
- **Probe Transient Analysis...**- Аналіз перехідних процесів й відображення їхніх результатів у режимі **Probe**;

- **Probe AC Analysis...**- Аналіз частотних характеристик і відображення їхніх результатів у режимі **Probe**;
- **Probe DC Analysis...**- Аналіз передавальних функцій по постійному струмі й відображення їхніх результатів у режимі **Probe**.

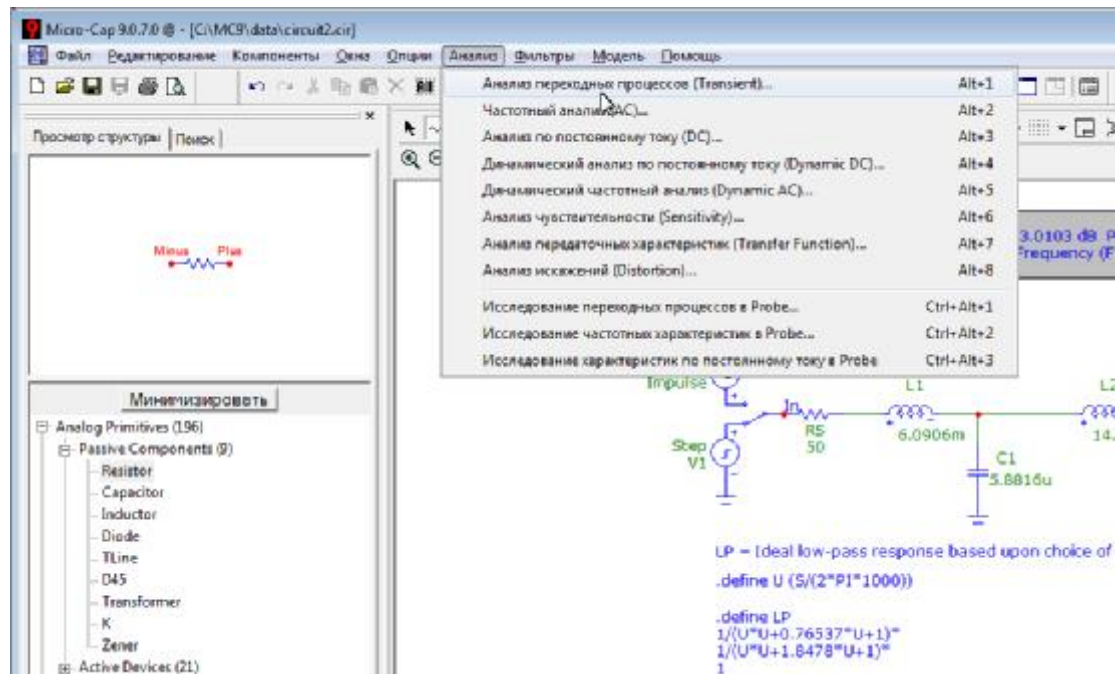


Рисунок 2.8 – Пункт командного меню **Analysis**

Із представленого меню нам знадобиться тільки пункт **Transient Analysis**. Тому інші пункти меню **Analysis** розглядати не будемо.

Після переходу в режим аналізу перехідних процесів програма здійснює перевірку правильності складання схеми. При відсутності помилок у схемі програма становить її топологічний опис, виконує підготовку до чисельного розрахунку перехідних процесів і відкриває вікно завдання параметрів моделювання **Transient Analysis Limits** (рис. 2.9).

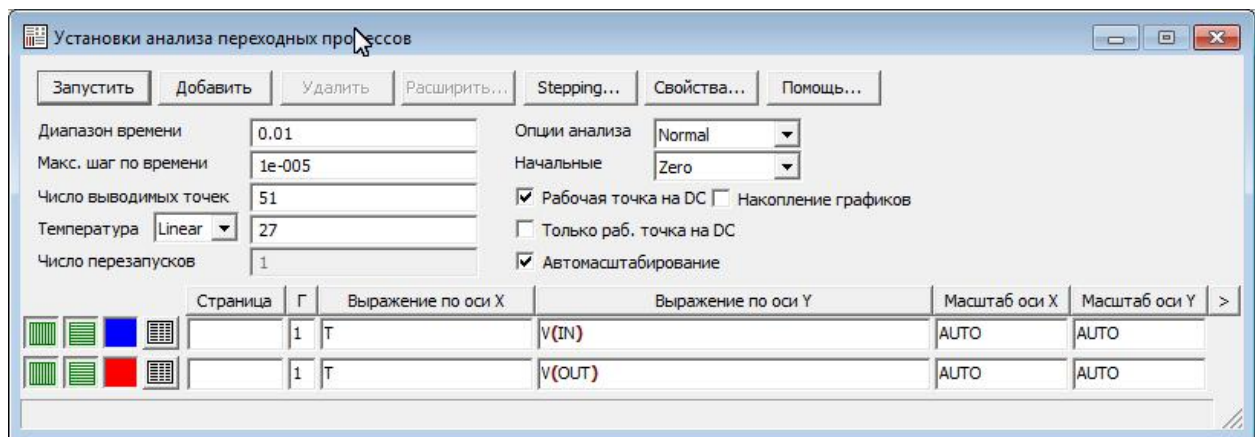


Рисунок 2.9 – Вікно завдання параметрів моделювання *Transient Analysis Limits*

У вікні завдання параметрів розрахунку перехідних процесів, показаному на малюнку 9, є наступні розділи: команди, числові параметри, вирази й опції.

Розглянемо розділ команди, що включає в себе:

- *Run* - початок моделювання. Клік на піктограмі  в рядку інструментів або натискання **F2** також починає моделювання. Моделювання може бути зупинене в будь-який момент натисканням на піктограму  або клавішу **Esc**;
- *Add* - додавання ще одного рядка специфікації виводу результатів після рядка, відзначеного курсором. На цьому рядку встановлюється спосіб відображення результатів й аналітичні вирази для побудови графіків;
- *Delete* - видалення рядка специфікації виводу результатів, відзначеного курсором;
- *Expand* - відкриття додаткового вікна для введення тексту великого розміру при розташуванні курсору в одній із граф, що містять вирази, наприклад Y Expression;
- *Stepping* - відкриття діалогового вікна завдання варіації параметрів.

У розділ *числові* параметри входять:

- *Time Range* - специфікація кінцевого й початкового часу розрахунку перехідних процесів у форматі T_{max} , $[T_{min}]$; за замовчуванням призначається $T_{min}=0$. Наприклад, специфікація "5ms" задає інтервал моделювання від 0,4 до 1,2 мс;
- *Maximum Time Step* - максимальний крок інтегрування.
- *Number of Points* - кількість точок, виведених у таблиці, тобто кількість рядків у таблиці виводу результатів; за замовчуванням 51.
- *Temperature* - діапазон зміни температури.

Розділ *вирази* містить:

- *X Expression* - ім'я змінної, що відкладається по осі X. Звичайно при аналізі перехідних процесів по цій осі відкладається час (змінна T).
- *Y Expression* - математичне вираз для змінної, що відкладається по осі Y. Це може бути проста змінна типу напруги у вузлі V(5), спадання напруги на двохполюсному компоненті V(L1) або струму ланцюга I (2,3), I (L1), або математичний вираз, наприклад, $V(VCC)*I(VCC)$.
- *X Range* - максимальне й мінімальне значення змінної X на графіку High,[Low]. Для автоматичного вибору діапазону змінних у цій графі вказується Auto.
- *Y Range* - максимальне й мінімальне значення змінної Y на графіку. Для автоматичного вибору діапазону змінних у цій графі вказується Auto.

У розділі *опції* передбачається здійснити вибір режимів дослідження:

- *Operation Point* - включення режиму по постійному струму перед початком кожного розрахунку перехідних процесів. Дані цього режиму замінюють значення всіх початкових умов, якщо вони були встановлені;
- *Operation Point Only* - розрахунок тільки режиму по постійному струму (розрахунок перехідних процесів не здійснюється);
- *Auto Scale Ranges* - присвоєння ознаки автоматичного масштабування "Auto" по осях X, Y для кожного нового варіанта розрахунків. Якщо ця

опція виключена, то приймаються в увагу масштаби, зазначені в графах X Range, Y Range.

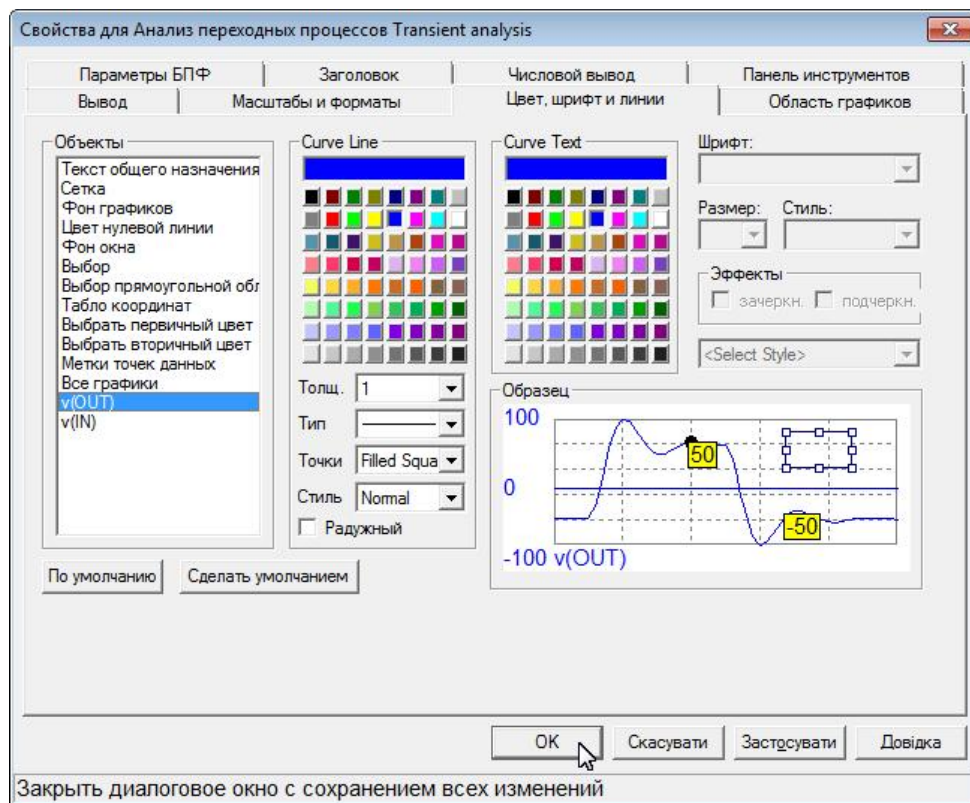
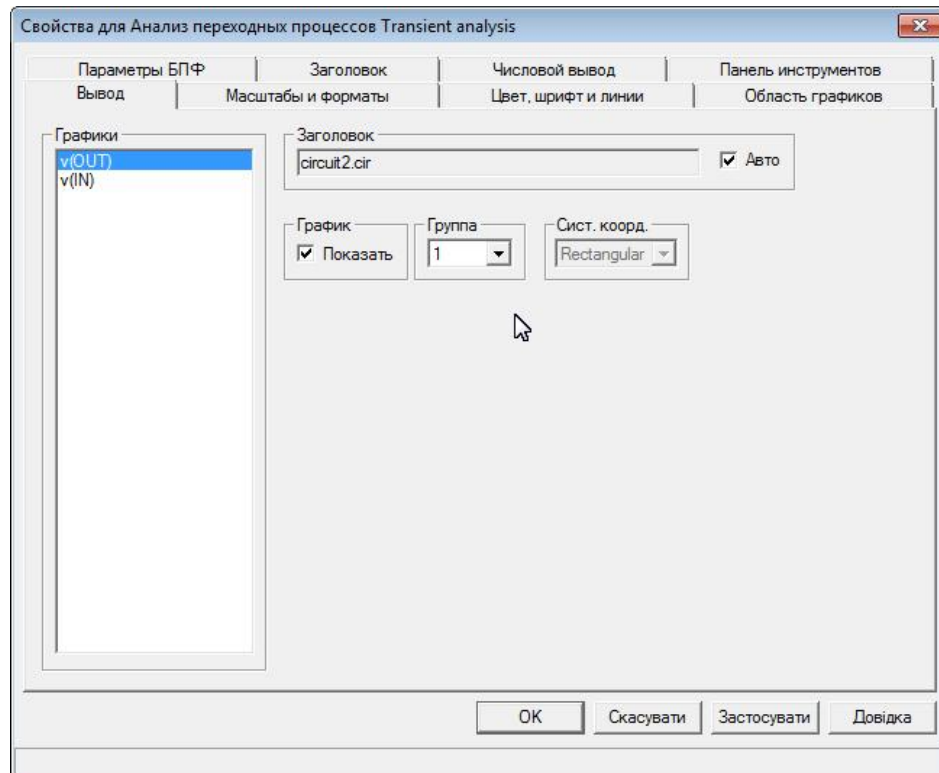


Рисунок 2.10 – Вікна властивостей моделювання перехідних характеристик

Після виконання завдання умов та значень для проведення частотного аналізу, та натиснення кнопки команди **RUN** (Виконати), проводиться аналіз часових перехідних характеристик по заданим параметрам.

Результати виводяться в окремому вікні (рис. 2.11, рис.2.12), – окремо перехідна та імпульсна перехідна характеристики.

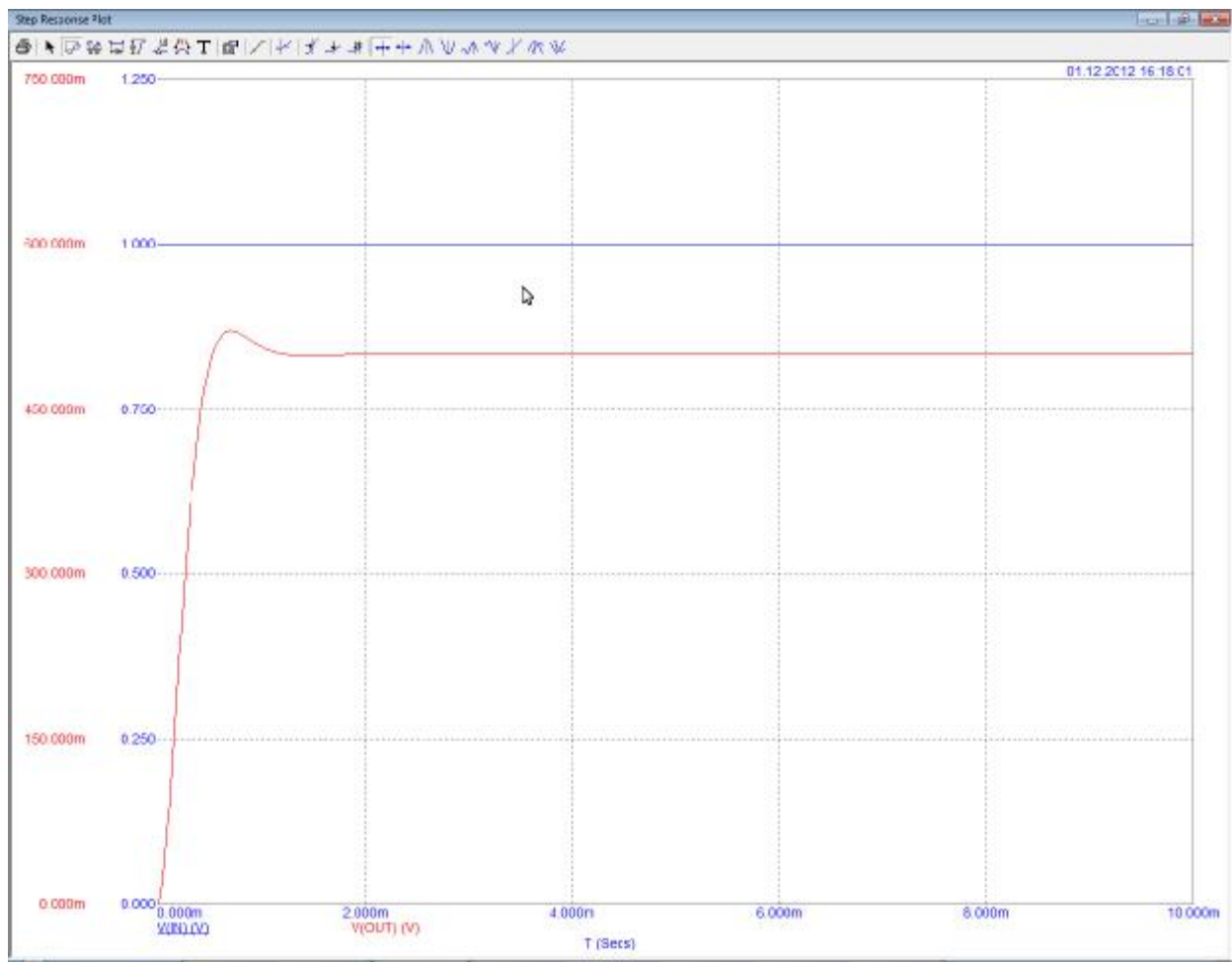


Рисунок 2.11 – Вікно перехідної часової характеристики

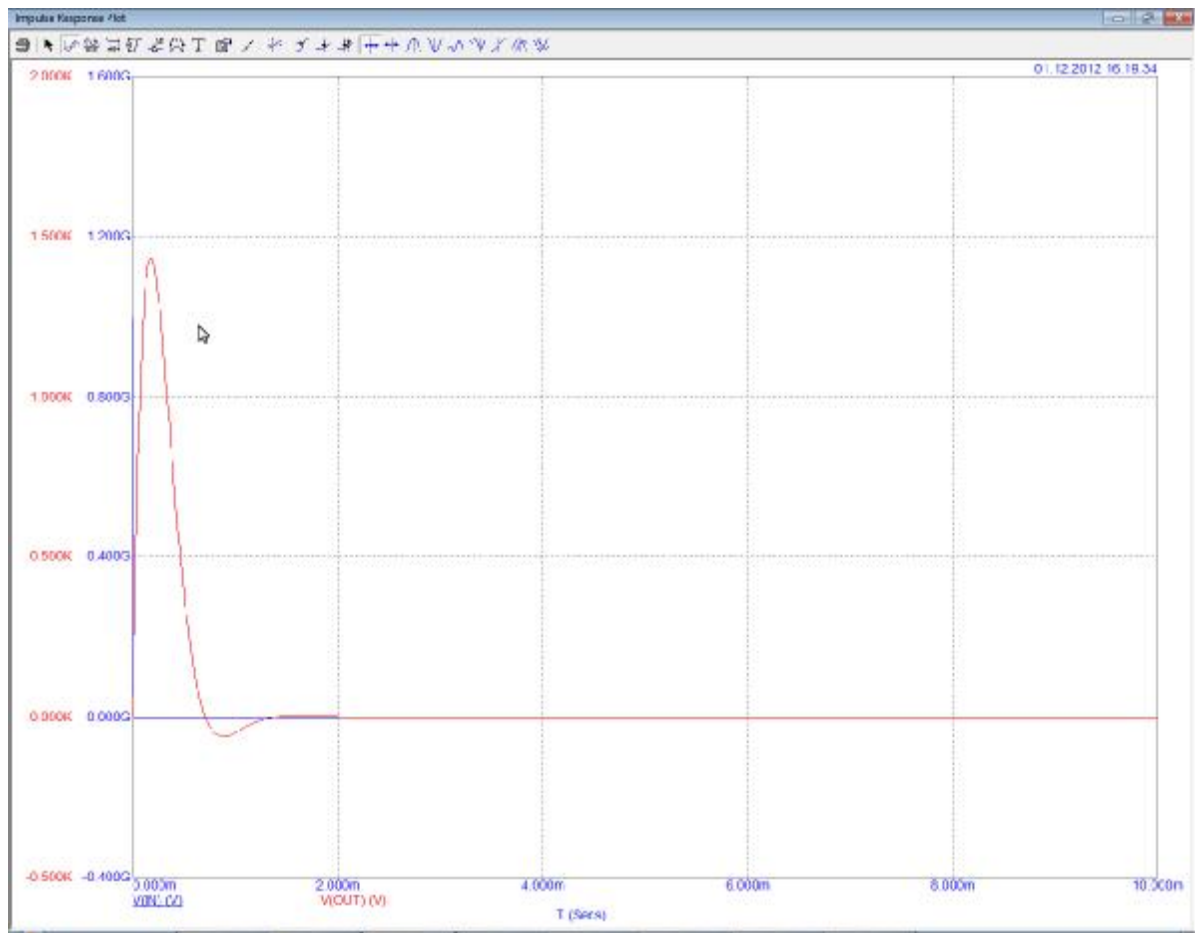


Рисунок 2.12 – Вікно імпульсної перехідної часової (вагової) характеристики

Опис панелі інструментів.

Панель інструментів необхідна для виклику найбільш уживаних команд. Найбільш уживані команди викликаються натисканням на піктограми або комбінації "гарячих" клавіш (рисунок 2.11).

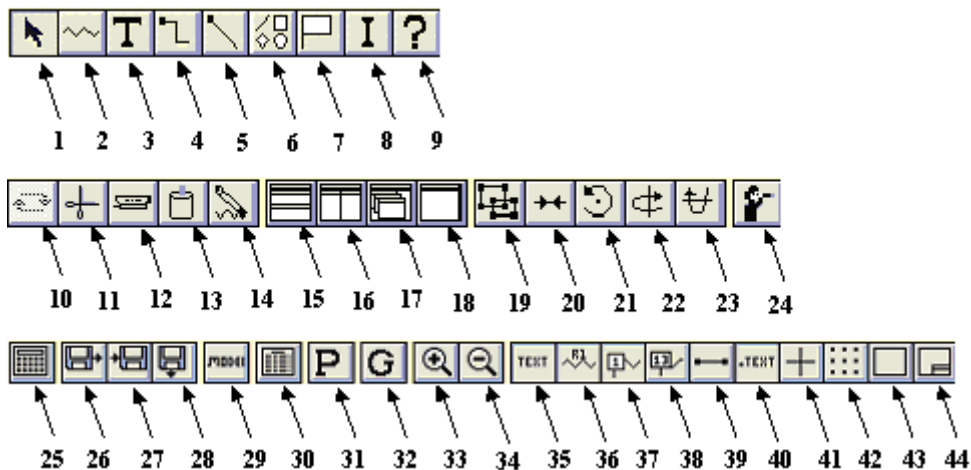


Рисунок 2.11 – Панель інструментів

- 1 - Вибір. Окремий елемент вибирається кліком миші;
- 2 - Додавання компонентів у схему;
- 3 - Нанесення на схему текстових написів;
- 4 - Введення ортогональних провідників;
- 5 - Введення ланцюгів під довільним кутом;
- 6 - Малювання графічних об'єктів;
- 7 - Введення маркерів для швидкої навігації на схемі;
- 8 - Вивід інформації про параметри обраного кліком миші компонента з можливістю редагування;
- 9 - Виклик текстової інформації про моделі компонента;
- 10 - Скасування останньої команди редагування;
- 11 - Видалення обраного об'єкта й розміщення його в буфер обміну;
- 12 - Копіювання обраного об'єкта в буфер обміну;
- 13 - Копіювання змісту буфера обміну в поточне вікно, крапка прив'язки вказується курсором і відзначається кліком миші;
- 14 - Видалення обраного об'єкта без копіювання в буфер обміну;
- 15 - Каскадне розташування відкритих вікон;
- 16 - Послідовне розташування відкритих вікон по вертикалі;
- 17 - Послідовне розташування вікон по горизонталі;
- 18 - Максимізація обраного вікна схем або його іконки;
- 19 - Копіювання фрагмента схеми зазначена кількість разів. Копіювання виробляється по горизонталі або по вертикалі або в обох напрямках;
- 20 - Створення дзеркального відображення фрагмента схеми;
- 21 - Обертання фрагмента схеми на 90° проти вартовий стрілки;
- 22 - Дзеркальне відображення щодо осі Y, розташованої посередині обраної області;
- 23 - Дзеркальне відображення щодо осі X, розташованої посередині обраної області;
- 24 - Пошук у поточному вікні схем або тексту різноманітних об'єктів

- 25 - Виклик убудованого калькулятора;
- 26 - Відкриття існуючого файлу;
- 27 - Збереження схеми з активного вікна з використанням імені й шляху;
- 28 - Відновлення вмісту файлу поточного вікна з диска;
- 29 - Розміщення у вікні тексту опису моделей компонентів, які ще не були поміщені в нього;
- 30 - Створення текстового файлу у форматі SPICE 2G або PSpice;
- 31 - Відкриття діалогового вікна для зміни призначення кольорів різних об'єктів, шрифтів й інших параметрів;
- 32 - Завдання глобальних параметрів, що визначають режим моделювання;
- 33 - Збільшення масштабу зображення;
- 34 - Зменшення масштабу зображення;
- 35 - Текстові написи;
- 36 - Позиційні позначення компонентів;
- 37 - Номера вузлів схеми;
- 38 - Вузлові потенціали аналогових вузлів у режимі по постійному струмі;
- 39 - Виводи компонентів;
- 40 - Команди моделювання, розташовувані на схемі;
- 41 - Курсор у вигляді перехрестя у весь екран;
- 42 - Вузли сітки;
- 43 - Нанесення рамки на креслення схеми;
- 44 - Зображення кутового штампа.

3. Визначення часових перехідних характеристик для типових динамічних ланок САР

Під типовою ланкою розуміється така ланка, що описується диференціальним рівнянням не вище другого порядку.

Характеристики типових ланок більш докладно розглянуті нижче

Аперіодична ланка 1-го порядку

Ланка ставиться до групи позиційних ланок й описується рівнянням

$$(Tp + 1) x_2 = k x_1. \quad (3.1)$$

Передавальна функція цієї ланки

$$W(p) = \frac{k}{1 + Tp}. \quad (3.2)$$

Одним із прикладів аперіодичної ланки першого порядку є RL – ланцюг (мал. 3.1, а), де входною величиною є напруга U_1 , що надходить на ланцюг, а як вихідна величина може розглядатися струм або напруга U_2 на опорі R .

У першому випадку коефіцієнт передачі $k = 1 / R$, а в другому $k = 1$. Постійна часу ланки $T = L / R$.

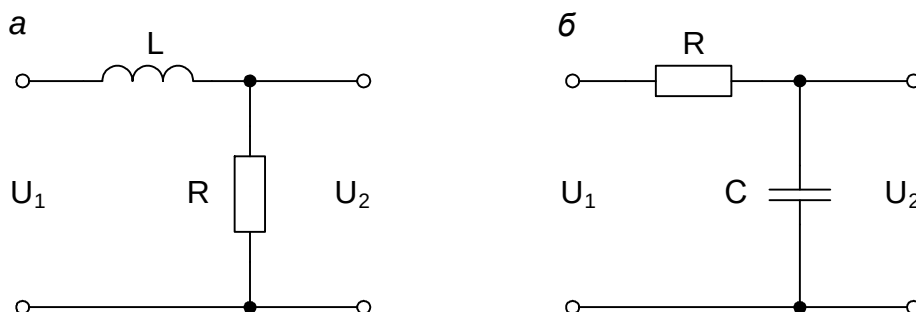


Рис. 3.1. Аперіодичні ланки першого порядку

Іншим прикладом є *RC-ланцюг* (мал. 3.1, б) з коефіцієнтом передачі $k = 1$ і постійною часу $T = RC$.

Перехідна функція ланки знаходиться як рішення рівняння (3.1) при $x_1 = 1$ і початковій умові $x_2 = 0$ при $t = 0$. Це рішення, геометрично, являє собою експоненту (мал. 3.2, а)

$$x_2 = A(t) = k \cdot 1 - e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1(t). \quad (3.3)$$

Множник $1(t)$ вказує, що експонента розглядається, починаючи з моменту $t = 0$, тобто для позитивного часу. У багатьох випадках цей множник опускається, але слід враховувати, що експонента розглядається для $t \geq 0$.

Відрізок, що відтинається дотичною до кривої, у будь-якій точці кривої на асимптоті дорівнює постійній часу T . Видно, що чим більша постійна часу ланки, тим довше триває перехідний процес, тобто повільніше встановлюється статичне значення $x_2 = k$ на виході ланки.

Строго говорячи, експонента наближається до цього значення в нескінченності. Прийнято, що перехідний процес вважається вже закінчується через проміжок часу $3T$.

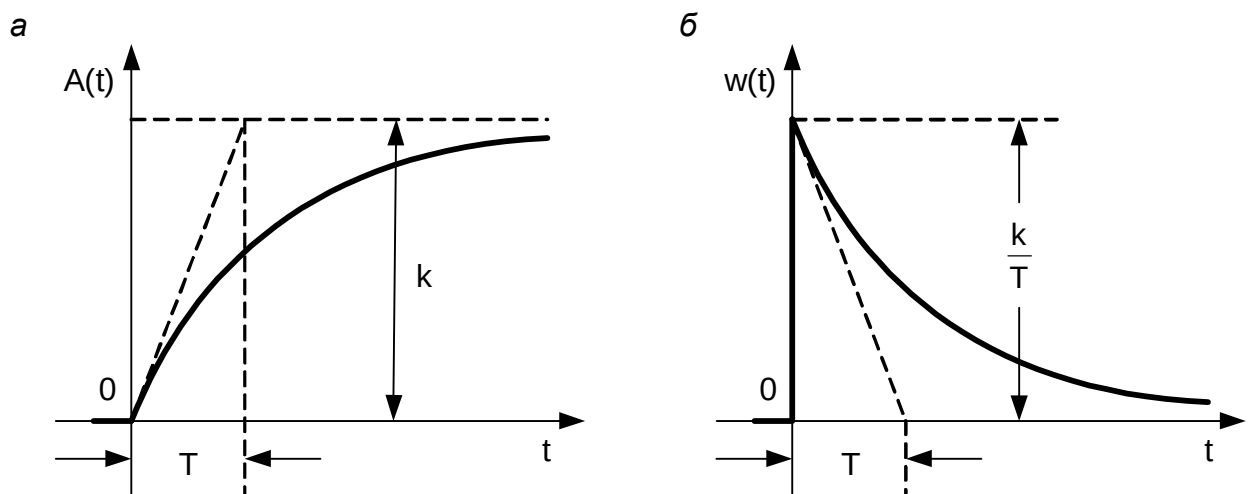


Рис. 4.4. Перехідна функція (а) і дельта-функція (б) аперіодичної ланки першого порядку

Постійна часу характеризує «інерційність» або «інерційне запізнювання» аперіодичної ланки. Вихідне значення $x_2 = k x_1$ в аперіодичній ланці встановлюється тільки через деякий час після подачі вхідного впливу t_n .

Функція ваги (мал. 4.4, б) може бути знайдена диференціюванням (3.3)

$$w(t) = \frac{dA(t)}{dt} = \frac{k}{T} e^{\frac{-t}{T}} \mathbb{1}(t). \quad (3.4)$$

4. Вимоги до виконання розрахунково-практичної роботи

Для виконання розрахунково-практичної роботи слід обрати заданий викладачем номер схемного рішення в Додатку 1 та відповідний варіант значень числових номіналів для нього.

Розрахунково-аналітична частина.

Провести розрахунок основних динамічних характеристик, – рівняння динаміки, передавальна функція.

З визначеної передавальної функції слід отримати аналітичні значення перехідної характеристики та імпульсної перехідної характеристики.

По отриманим аналітичним виразам побудувати часові графіки для вищезгаданих перехідних характеристик.

Провести моделювання схемного рішення та часових перехідних характеристик у програмному середовищі Micro-CAP9.

Провести порівняльний аналіз розрахункових та змодельованих перехідних характеристик для заданого варіанту схеми та номіналів.

Результати розрахунково-практичної роботи оформити у вигляді звіту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: “Профессия”, 2004. 747с.
2. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. 2-е издание перераб. и дополн. Киев: Высшая школа, 1988. 430с.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М.: Машиностроение, 1973. 606с.
4. Лукас В.А. Теория автоматического управления. М.: Недра, 1990. 416с.
5. Математические основы теории автоматического регулирования / под ред. Б.К. Чемоданова. М.: Высшая школа, 1971. 807с.
6. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб: “Питер”, 2005. 333с.
7. Михайлов В.С. Теория управления. Учебное пособие для ВУЗов. Киев: Высшая школа, 1988. 309с.
8. Пантелеев А.В. Теория управления в примерах и задачах / А.В. Пантелеев, А.С. Бортакровский. М., Высшая школа, 2003. 583с.
9. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука, 1989. 496с.
10. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. М.: Машиностроение, 1985. 536с.
11. Теория автоматического управления / под ред. А.В. Нетушила. М.: Высшая школа, 1972. 432с.
12. Теория автоматического управления. Учебное пособие / под ред. А.А. Воронова. Ч.1. М.: Высшая школа, 1987. 367с.
13. Филипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р. Харбор. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 616с.

Додаток 1 Схемні рішення для проведення моделювання

Схема 1

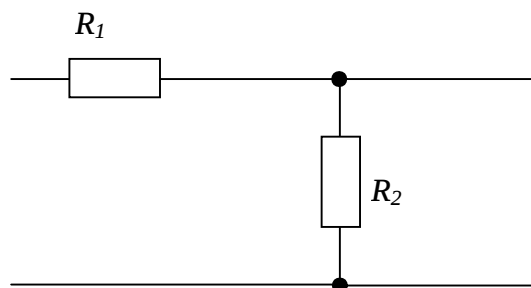


Схема 2

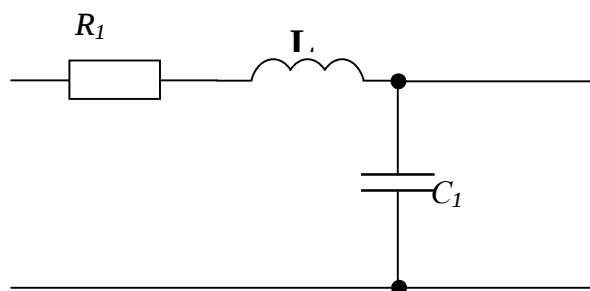


Схема 3

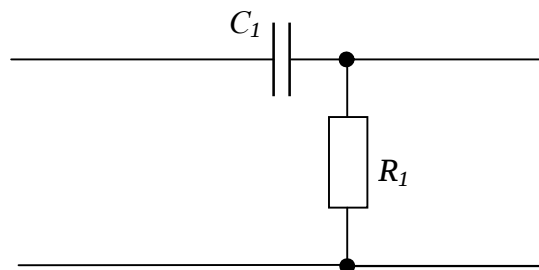


Схема 4

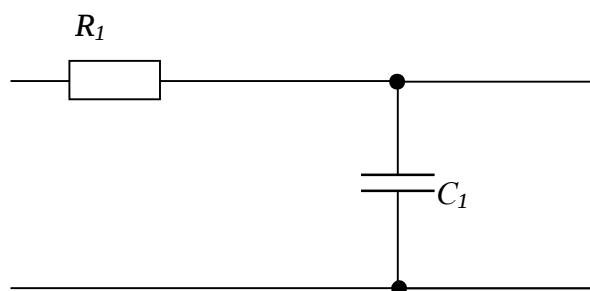


Схема 5

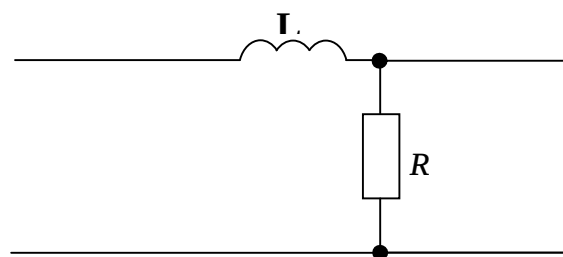


Схема 6

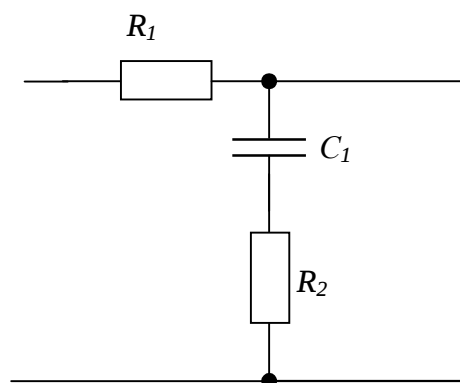


Схема 7

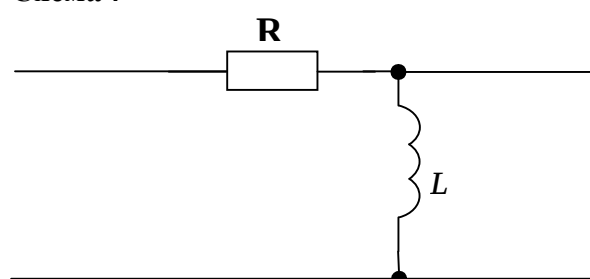


Схема 8

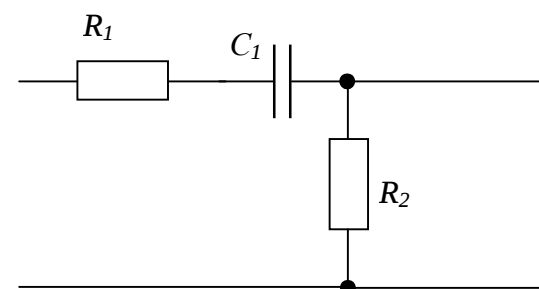


Схема 9

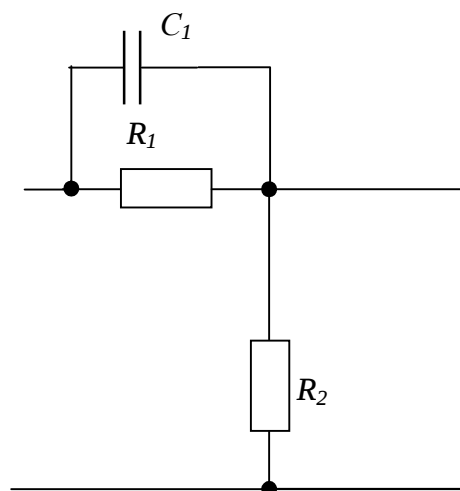


Схема 10

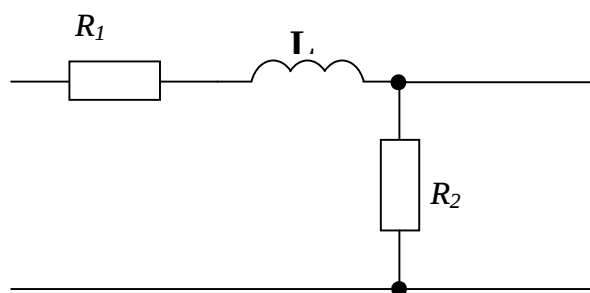


Схема 11

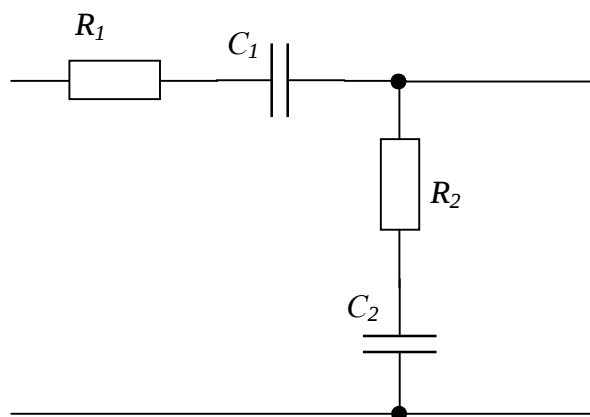
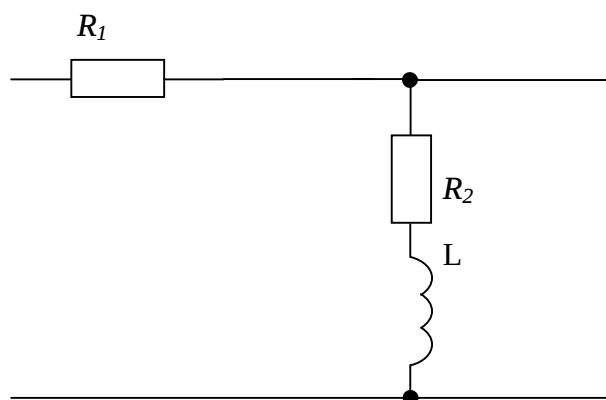


Схема 12



Додаток 2 Варіанти числових номіналів для схемних рішень

№ Варіанту	R1 МОм	R2 МОм	C1 мкф
1	0,1	0,1	1,0
2	1,0	1,0	0,1
3	0,2	0,1	0,5
4	0,1	0,1	0,5
5	0,1	0,1	0,2
6	0,1	0,1	0,1
7	0,1	0,9	0,1
8	0,1	0,2	1,0
9	0,1	0,2	0,5
10	0,1	0,2	0,1
11	0,1	0,2	0,2
12	0,1	0,2	0,4
13	0,2	0,1	1,0
14	0,2	0,1	0,4
15	0,2	0,1	0,2
16	0,2	0,2	0,25
17	0,2	0,2	0,5
18	0,2	0,2	0,1
19	0,2	0,2	0,4
20	0,2	0,3	0,5
21	0,3	0,2	0,5
22	0,2	0,2	0,6
23	0,2	0,3	0,1
24	0,3	0,2	0,1
25	0,5	0,5	0,1

Для всіх варіантів схем C2=1,0 мкф, L=1 мГн.

[illegible]

[illegible]

