

**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 частотних 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



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ**

**Кафедра
Автоматизації технологічних
процесів і виробництв**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт по курсу
"ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ"
Дослідження частотних 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 частотних 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.

Рецензент:

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

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ПЕРЕДМОВА	5
МЕТА РОБОТИ	6
1. Частотні характеристики типових динамічних ланок	7
2. Основні положення роботи у програмному середовищі Micro-CAP	13
3. Визначення частотних характеристик для типових динамічних ланок CAP	26
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 і комплексних передавальних функцій для R,C,L-з'єднань, розрахунок відповідних частотних характеристик – амплітудно-частотних (АЧХ), фазочастотних (ФЧХ), амплітудно-фазочастотних (АФЧХ), логарифмічних частотних характеристик ЛАЧХ, ЛФЧХ.

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

Проведення порівняльного аналізу розрахункових і модельованих частотних характеристик.

Робота дозволить закріпити теоретичні знання у розділах Теорії автоматичного управління, 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. Частотні характеристики типових динамічних ланок

Якщо на вхід лінійної аналогової системи (або окремої ланки) подати синусоїдальні (гармонічні) коливання з постійними амплітудою й частотою $x_{ex}(t) = A_{ex} \sin(\omega t + \varphi_0)$, то після загасання перехідних процесів на виході також виникають синусоїдальні коливання $x_{vix}(t) = A_{vix} \sin(\omega t + \varphi_{vix})$ з тією же частотою, але з іншою амплітудою й зміщені по фазі по відношенню до вхідних коливань. Як відомо, синусоїдально змінні величини зручно зображати аналітично у вигляді комплексних амплітуд. Комплексні амплітуди розглянутих тут вхідних і вихідних коливань можна записати як, –

$$x_{ex} = A_{ex} e^{j\omega t + j\varphi_0} \text{ та } x_{vix} = A_{vix} e^{j(\omega t + \varphi)}.$$

Подаючи на вхід системи гармонійні коливання з постійною амплітудою, але різними частотами, на виході системи теж одержуємо гармонійні коливання з тими ж частотами, але різними амплітудами й фазами щодо вхідних коливань.

Введемо в розгляд відношення комплексних амплітуд вихідних і вхідних коливань:

$$\frac{x_{vix}(j\omega)}{x_{ex}(j\omega)} = \frac{A_{vix}(\omega) e^{j\omega t + \varphi_{vix}(\omega)}}{A_{ex} e^{j[\omega t + \varphi_{ex}]}} = W(j\omega). \quad (1.1)$$

Після деяких перетворень вираз набуде вигляду

$$\frac{x_{vix}(j\omega)}{x_{ex}(j\omega)} = \frac{A_{vix}(\omega)}{A_{ex}} e^{j[\varphi_{vix}(\omega) - \varphi_{ex}]} = W(j\omega).$$

Функція $W(j\omega)$ називається комплексною передавальною функцією (КПФ), або комплексною частотною характеристикою (КЧХ) й

отримується формально, без яких-небудь обчислень, шляхом заміни у виразі передавальної функції змінної p на змінну $j\omega$:

$$W(j\omega) = W(p), \text{ при } p \rightarrow j\omega \quad (1.2)$$

Загальне означення комплексної передавальної функції має наступне формулювання, – це відношення зображень по Лапласу, при умові нульових початкових умов, вихідного сигналу до вхідного сигналу, при дії на вході гармонічних коливань в усталеному режимі (на виході динамічної ланки виконується умова примусових коливань).

У різних формах запису функцію $W(j\omega)$ можна представити в наступному вигляді, алгебраїчному і показниковому (параметричному)–

$$W(j\omega) = \frac{X_{вих}(j\omega)}{X_{вх}(j\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (1.3)$$

де $P(\omega) = \operatorname{Re}[W(j\omega)]$ й $Q(\omega) = \operatorname{Im}[W(j\omega)]$ – дійсна й уявна частини комплексної передавальної функції,

$A(\omega) = A_{вих}(\omega)/A_{вх}$ і $\varphi(\omega)$ – модуль й аргумент комплексної передавальної функції.

При фіксованому значенні частоти ω_i комплексну частотну функцію можна зобразити вектором на комплексній площині, як показано на мал. 1.1.

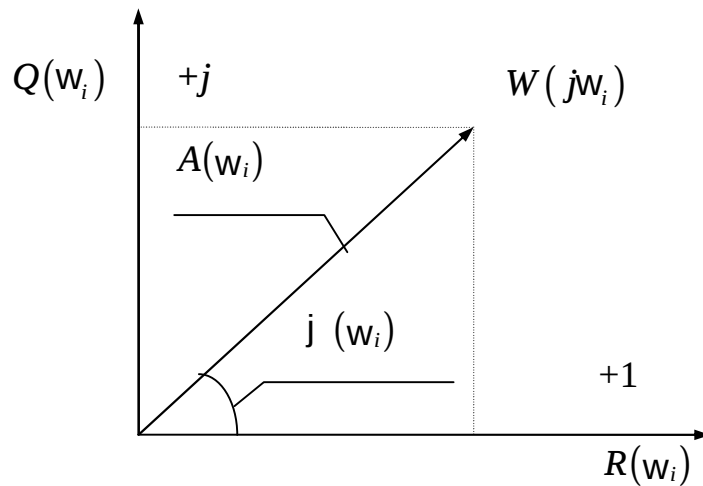


Рисунок 1.1 – Амплітудно-фазочастотна характеристика АФЧХ
(комплексна частотна характеристика КЧХ).

Зміна частоти приведе до зміни величини (довжини) й розташування вектора (кута повороту) на комплексній площині, а кінець вектора опише деяку траєкторію. Геометричне місце кінців векторів комплексної частотної функції при зміні частоти від нуля нескінченно називається **амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ)** (рис. 1.1).

В свою чергу всі величини, представлені в (1.3), є відповідними частотними функціями, а побудовані по виразах функцій графіки - частотними характеристиками:

$R(w)$ називають **дійсною частотною**, а $Q(w)$ - **уявною частотною** характеристикою.

$A(w) = \frac{A_{вих}(w)}{A_{вх}}$ показує відношення амплітуд вихідних і вхідного гармонічних сигналів при зміні частоти й називається **амплітудною частотною** характеристикою (АЧХ).

$j(w) = j_{вих}(w) - j_{вх}$ показує зміщення фази вихідного гармонічного сигналу щодо вхідного при зміні частоти й називається **фазовою частотною** характеристикою (ФЧХ).

Між всіма частотними характеристиками існує безпосередній зв'язок, що впливає із тригонометричних співвідношень і пояснюється на рис. 1.1.

$$A(\omega) = \frac{A_{\text{вих}}(\omega)}{A_{\text{вх}}} = \sqrt{R^2(\omega) + Q^2(\omega)}.$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{вих}}(\omega) - \varphi_{\text{вх}} = \arctg \frac{Q(\omega)}{R(\omega)}.$$

$$R(\omega) = A(\omega) \cos[\varphi(\omega)].$$

$$Q(\omega) = A(\omega) \sin[\varphi(\omega)].$$

У практичних розрахунках найчастіше амплітудну й фазову частотні характеристики зображують у логарифмічному масштабі, що дозволяє в значній мірі скоротити обсяг обчислювальних робіт.

В техніці, логарифмічною одиницею посилення або ослаблення потужності сигналу при проходженні його через який-небудь пристрій, яка виражається десятковим логарифмом величини відношення потужності на виході $P_{\text{вих}}$ до потужності на вході $P_{\text{вх}}$, прийнятий бел [Б]. Так як потужність сигналу пропорційна квадрату його амплітуди, отримаємо:

$$\lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = \lg \frac{A_{\text{вих}}^2}{A_{\text{вх}}^2} = 2 \lg \frac{A_{\text{вих}}}{A_{\text{вх}}}.$$

Але тому що бел є досить великою одиницею посилення (ослаблення) потужності (збільшенню потужності в 10 разів відповідає 1 Б), тому за одиницю виміру її прийнятий децибел $1\text{дБ}=0,1\text{ Б}$.

З обліком цього можна записати:

$$10 \times \lg \frac{A_{\text{вих}}(\omega)}{A_{\text{вх}}} = 20 \times \lg [A(\omega)] = 20 \times |W(j\omega)| = L(\omega).$$

Величина логарифма амплітудної частотної характеристики, виражена в децибелах

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega), \quad [\text{дБ}]$$

називається **логарифмічною амплітудно-частотною** характеристикою (ЛАЧХ).

Таким чином, зміні відносини двох амплітуд в 10 разів відповідає зміна посилення на 20 дБ, в 100 разів - на 40 дБ, в 1000 разів - на 60 дБ і т.д.

Обчислимо, якому відношенню амплітуд відповідає один децибел, два й т.д.

$$1 \text{ дБ} = 20 \lg(A_{\text{вих}}(w)/A_{\text{вх}});$$

$$\lg(A_{\text{вих}}(w)/A_{\text{вх}}) = \frac{1}{20};$$

$$\frac{A_{\text{вих}}(w)}{A_{\text{вх}}} = 10^{1/20} = \sqrt[20]{10} = 1,122.$$

Тобто	1 дБ	$\approx$	1,122.
	2 дБ	$\approx$	$(1,122)^2 = 1,259;$
	3 дБ	$\approx$	$(1,122)^3 = 1,412;$
	4 дБ	$\approx$	1,585;
	5 дБ	$\approx$	1,778;
	6 дБ	$\approx$	1,995 $\approx$ 2.

Фазова частотна характеристика $j(w)$, побудована в напівлогарифмічному масштабі (у координатах: кут $j(w)$ у градусах або радіанах і $\lg w$), називається **логарифмічною фазовою частотною** характеристикою (ЛФЧХ).

За одиницю виміру частоти використається логарифмічна одиниця декада. Декадою називається інтервал частот між якою-небудь величиною частоти і її десятикратним значенням.

У логарифмічному масштабі частот відрізок в одну декаду не залежить від частоти й має довжину, рівну

$$\lg 10w - \lg w = \lg 10 = 1.$$

ЛАЧХ і ЛФЧХ будують звичайно спільно, використовуючи загальну вісь абсцис (вісь частот). Початок координат неможливо взяти в крапці $\omega = 0$, тому що $\lg 0 = -\infty$. Тому початок координат можна брати в будь-якій зручній крапці залежно від діапазону, що цікавить, частот.

Точка перетину ЛАЧХ із віссю абсцис називається **частотою зрізу** ω_{zp} . Вісь абсцис відповідає значенню $A(\omega) = 1$, тобто проходженню амплітуди сигналу в натуральну величину (тому ще говорять, що на частоті зрізу система губить підсилювальні властивості).

Із розглянутих тут частотних характеристик дві можна одержати експериментально – амплітудну $A(\omega)$ й фазову $\varphi(\omega)$. Із цих двох експериментальних інші частотні характеристики можуть бути розраховані по відповідних формулах, наприклад $W(j\omega)$ - по формулі (1.3). Крім того, розрахувавши за експериментальним даними $W(j\omega)$, по (1.2) шляхом зворотної підстановки (замінивши $j\omega$ на p) можна одержати передавальну функцію, по (1.1) - з передавальної функції диференціальне рівняння в операторній формі й далі, застосувавши зворотне перетворення Лапласа – диференціальне рівняння в часовій формі (рівняння динаміки системи).

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).

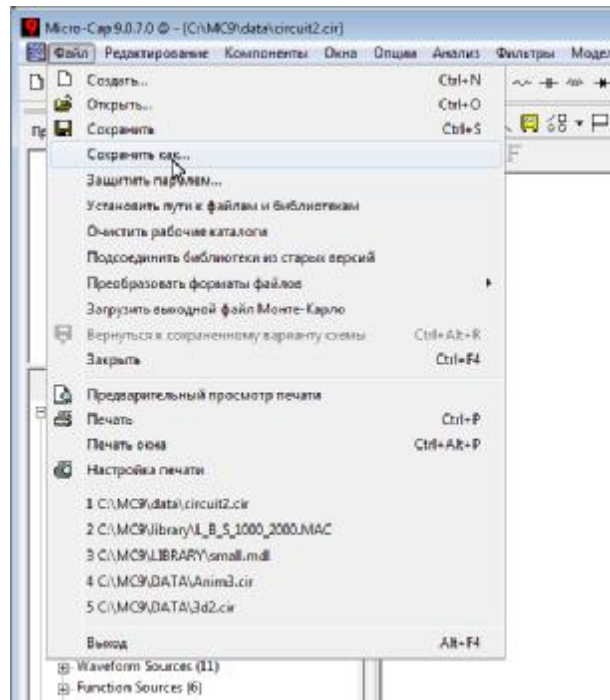


Рисунок 2.2 – Системне меню File

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

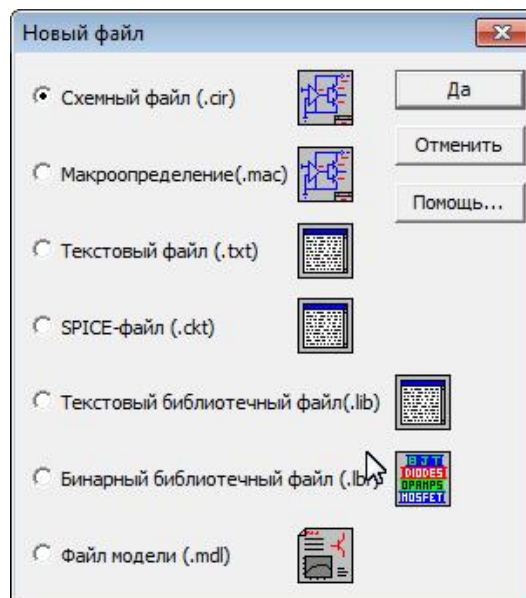


Рисунок 2.3 – Створення нової схеми

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.

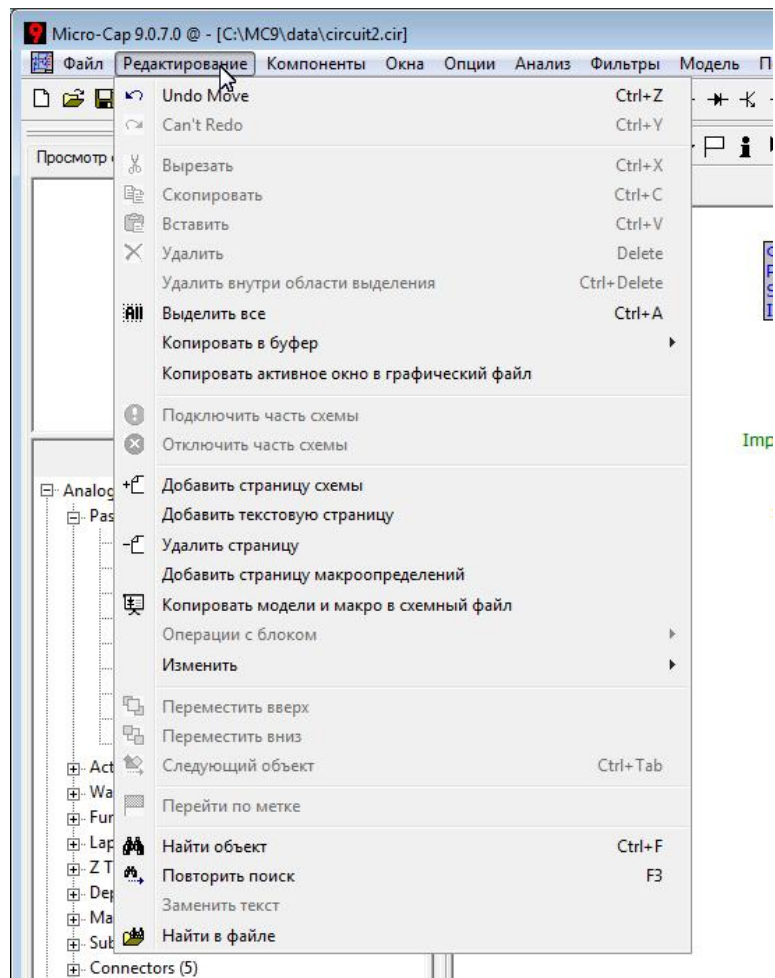


Рисунок 2. 4 – Меню команд **Edit**

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.

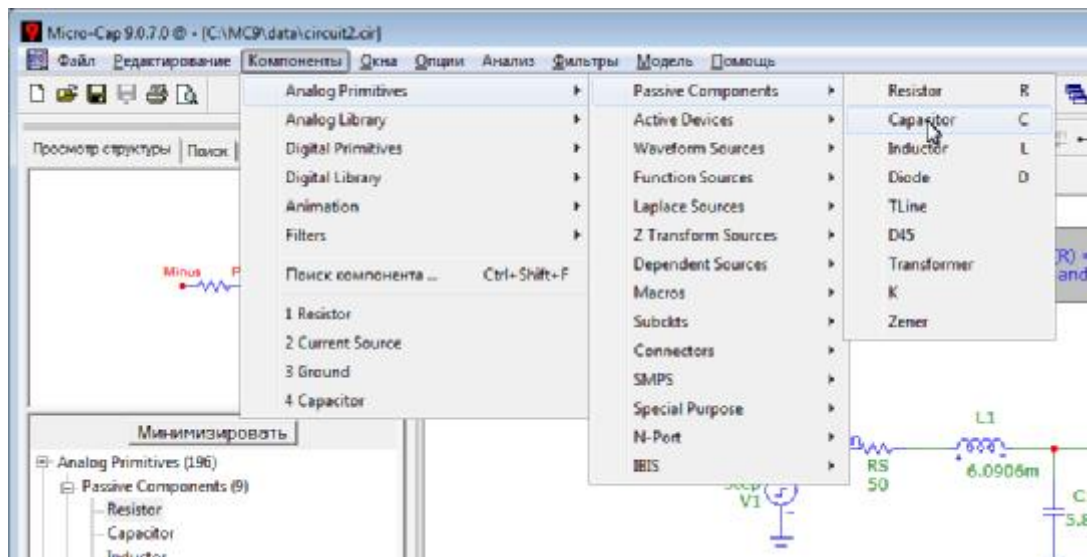


Рисунок 2.5 – Меню команд **Component**

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

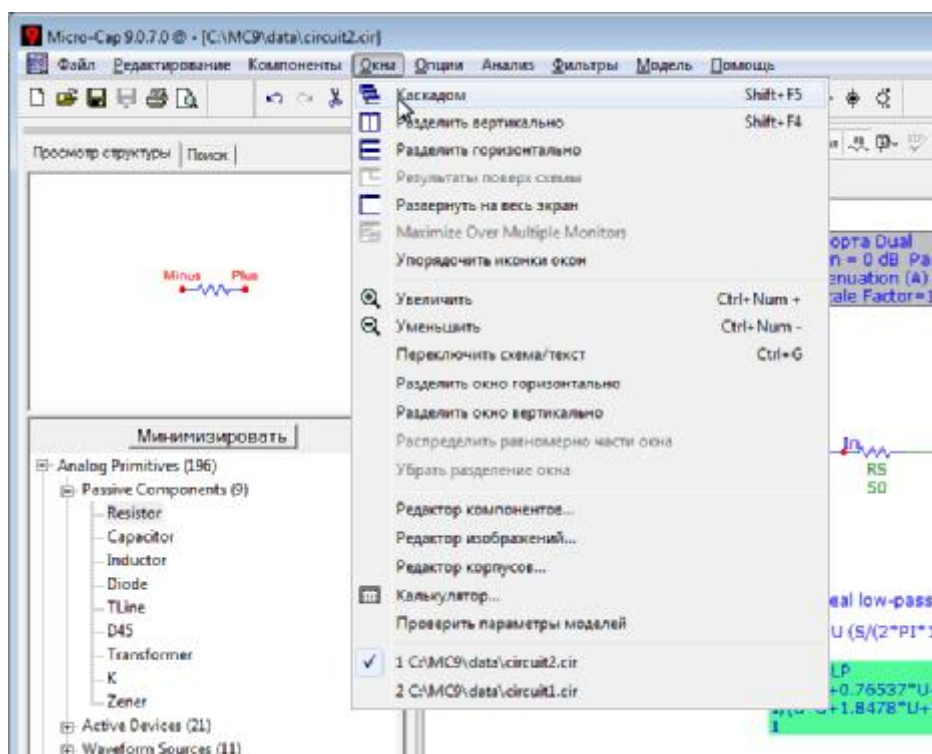


Рисунок 2.6 – Командное меню **Windows** (Вікна)

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) (рисунк 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.

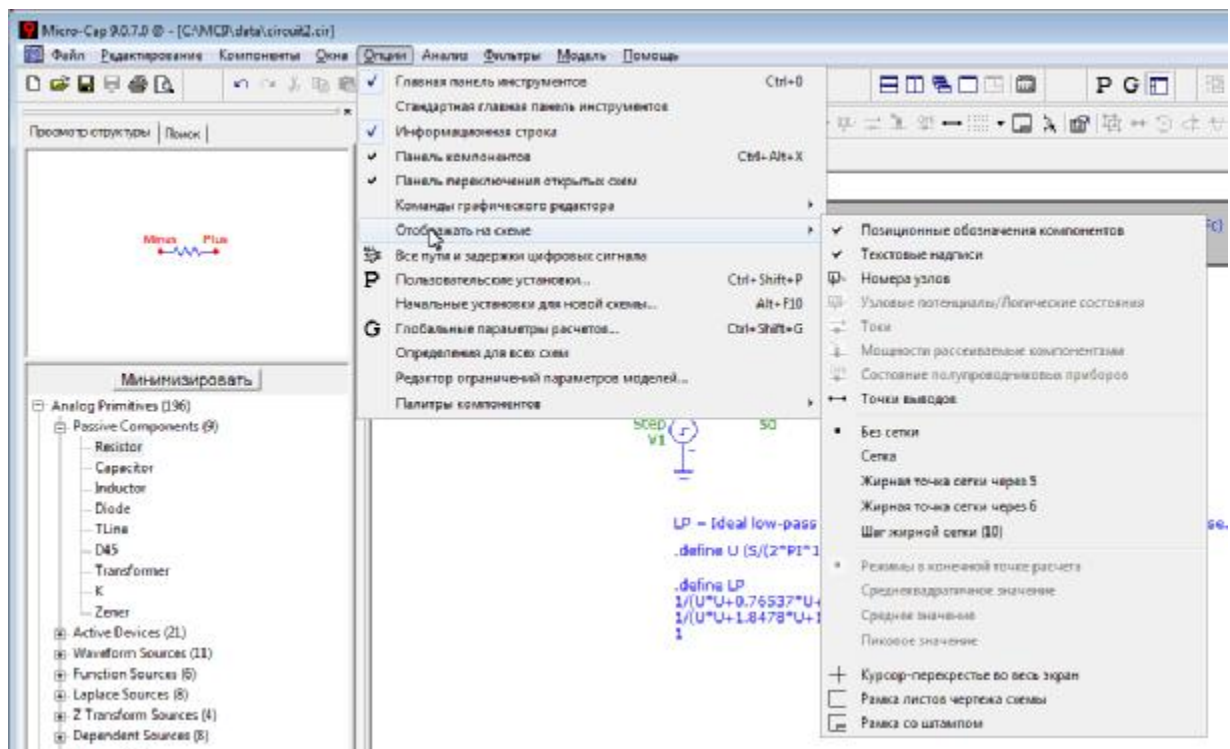


Рисунок 2.7 Розділ командного меню за назвою **Options**

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**.

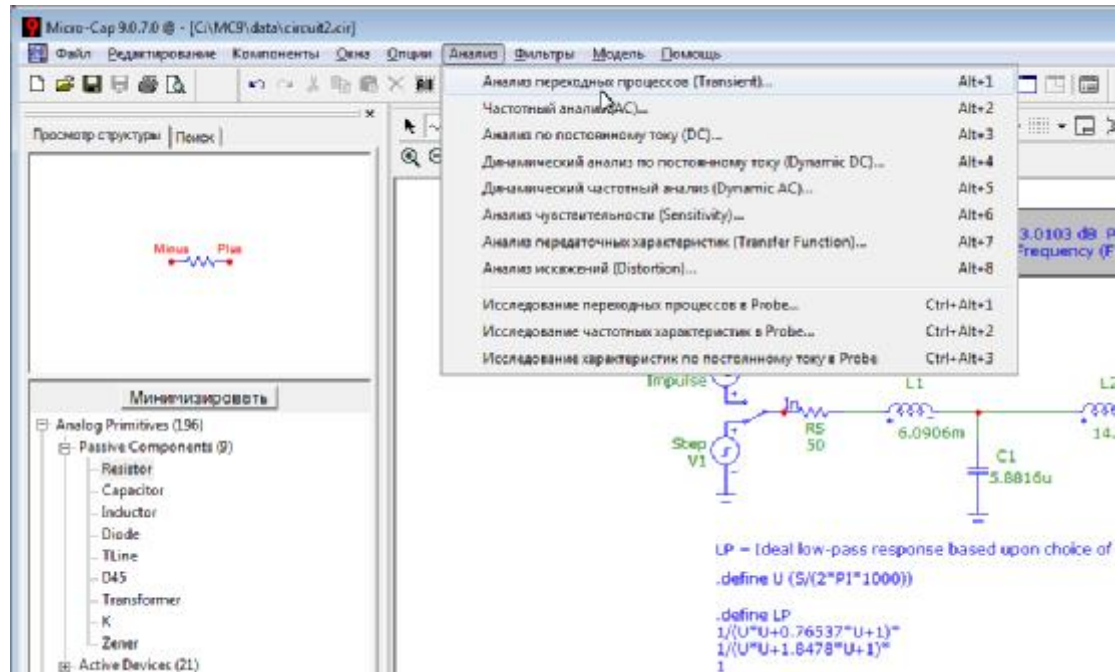


Рисунок 2.8 – Пункт командного меню **Analysis**

Із представленого меню нам знадобиться тільки пункт **Частотний аналіз (AC Analysis)**.

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

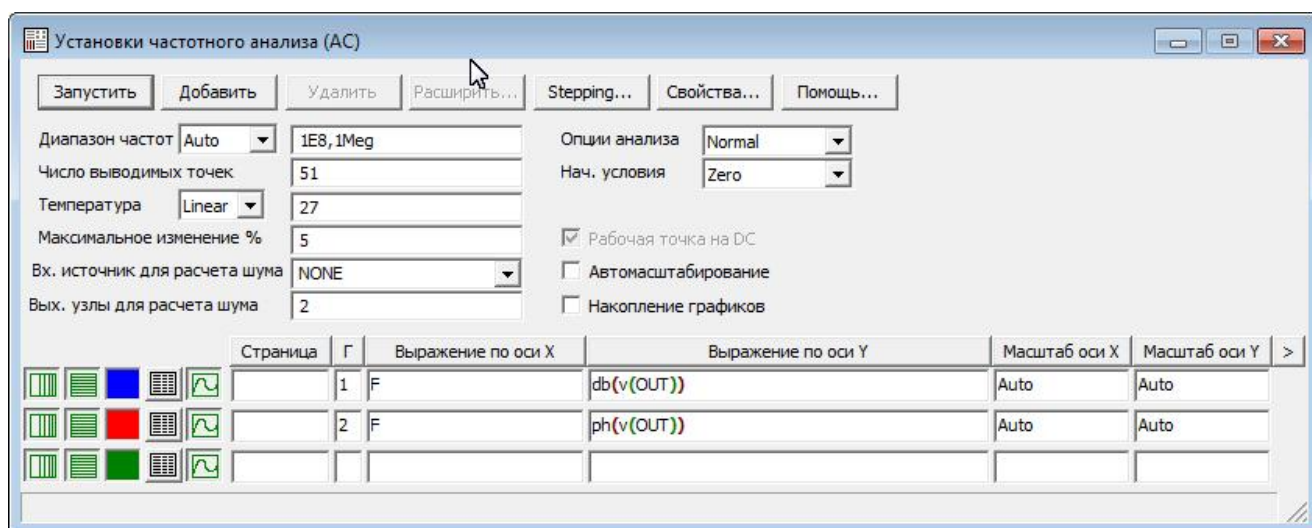


Рисунок 2.9 – Вікно меню завдання параметрів моделювання

AC Analysis Limits

У вікні завдання параметрів розрахунку перехідних процесів, показаному на малюнку 2.9, є наступні розділи: команди, числові параметри, вираз й опції.

Розглянемо розділ команд, 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, відзначеної курсором. На цьому рядку встановлюється спосіб відображення результатів й аналітичні вираз для побудови графіків;

Delete - видалення рядка специфікації виводу результатів, відзначеної курсором;

Expand - відкриття додаткового вікна для введення тексту великого розміру при розташуванні курсору в одній із граф, що містять вираз, наприклад Y Expression;

Stepping - відкриття діалогового вікна завдання варіації параметрів.

У розділ *числові* параметри входять:

Frequency Range - специфікація діапазону частот для розрахунку частотних характеристик у форматі Fmax, [Fmin]; за замовчуванням призначається AUTO.;

Number of Points - кількість точок, виведених у таблиці, тобто кількість рядків у таблиці виводу результатів; за замовчуванням 51.

Temperature - діапазон зміни температури.

Розділ *виразів*:

X Expression - ім'я змінної, що відкладає по осі X. Звичайно при аналізі перехідних процесів по цій осі відкладається час (змінна F).

Y Expression - математичне вираз для змінної, що відкладає 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 (рис.2.10):

Operation Point - включення режиму перед початком кожного розрахунку частотних характеристик процесів. Дані цього режиму замінюють значення всіх початкових умов, якщо вони були встановлені;

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.

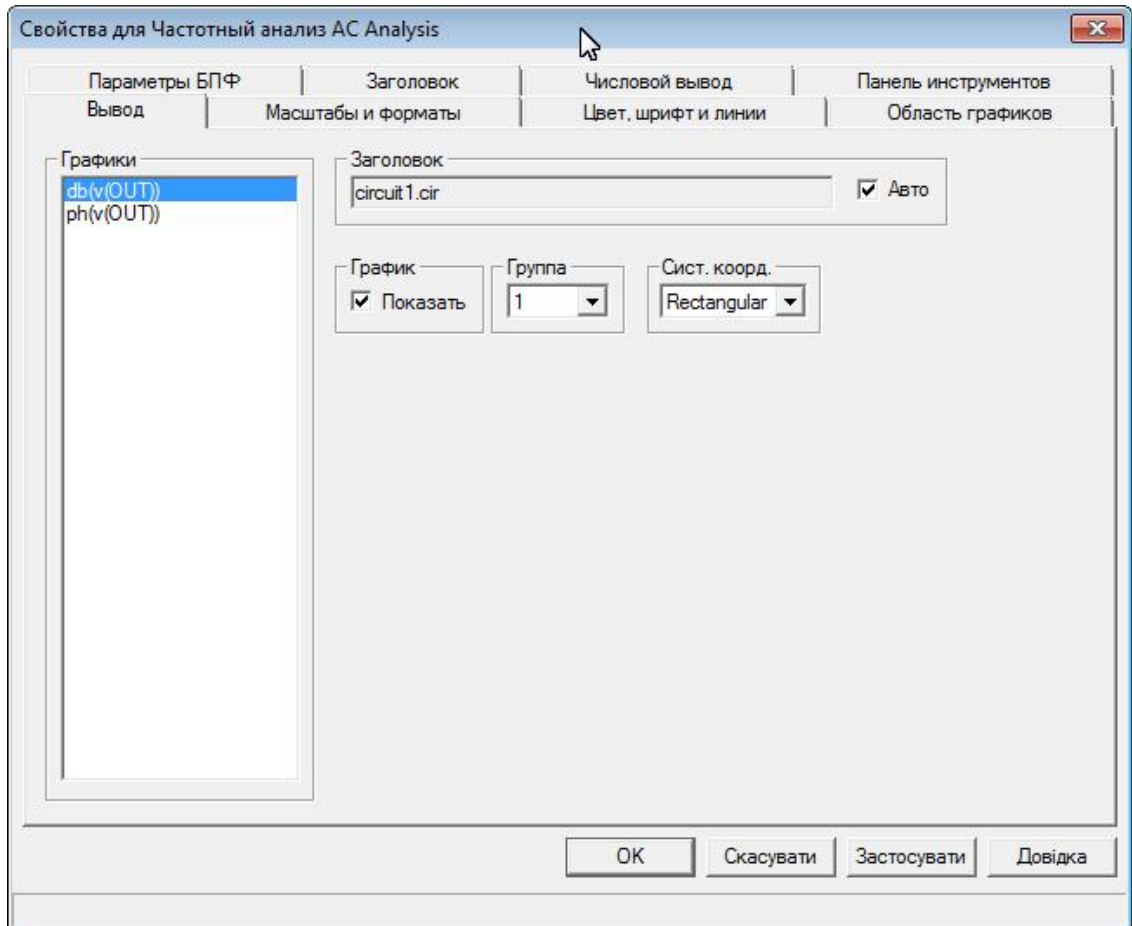


Рисунок 2.10 – Вибір режимів дослідження частотних характеристик

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

Результати виводяться в окремому вікні (рис. 2.11), – окремо амплітудні та фазові частотні характеристики.

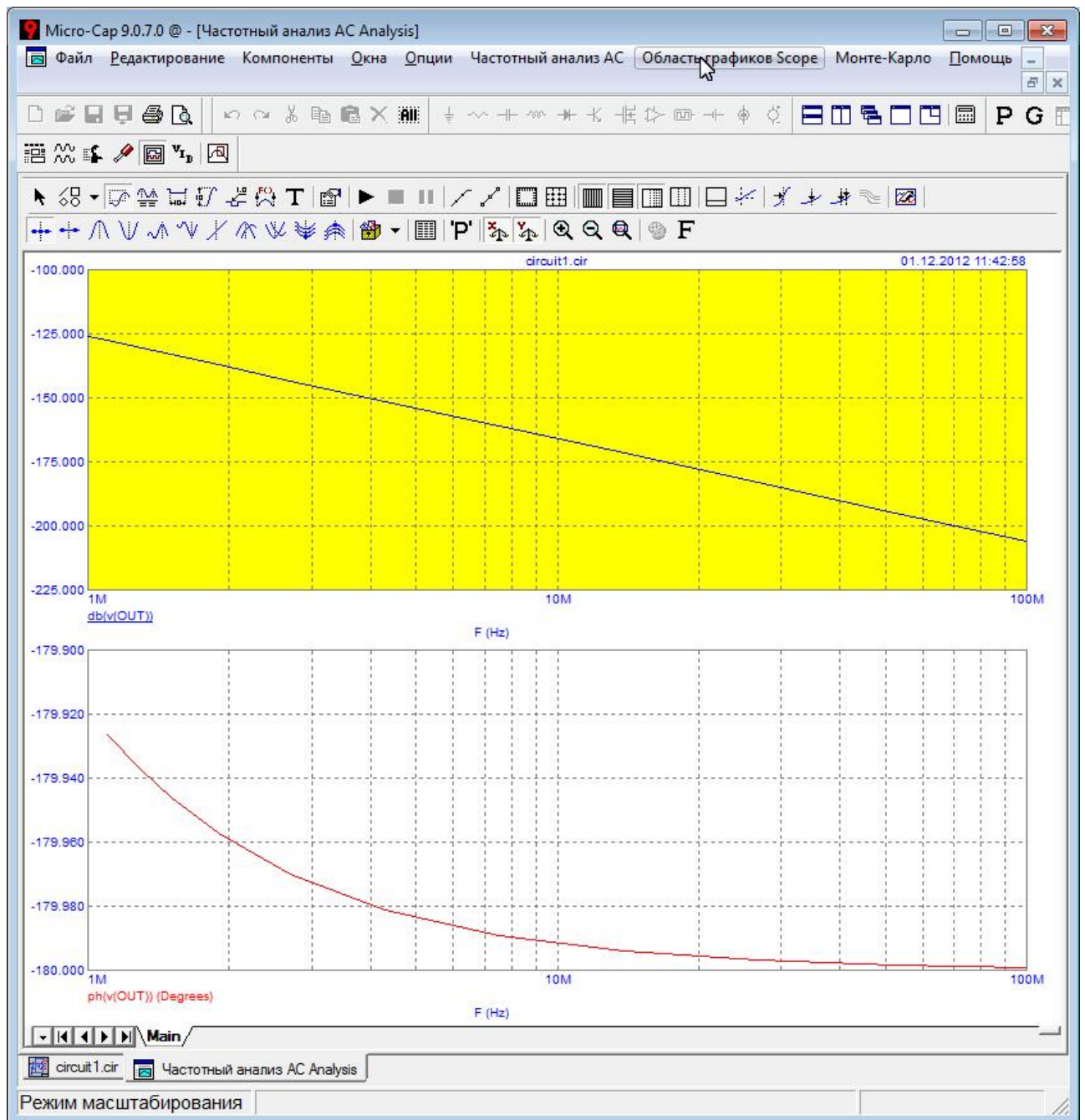


Рисунок 2.11 – Результат частотного аналізу

Опис панелі інструментів.

Панель інструментів необхідна для виклику найбільш уживаних команд. Найбільш уживані команди викликаються натисканням на піктограми або комбінації "гарячих" клавіш (рис. 2.12).

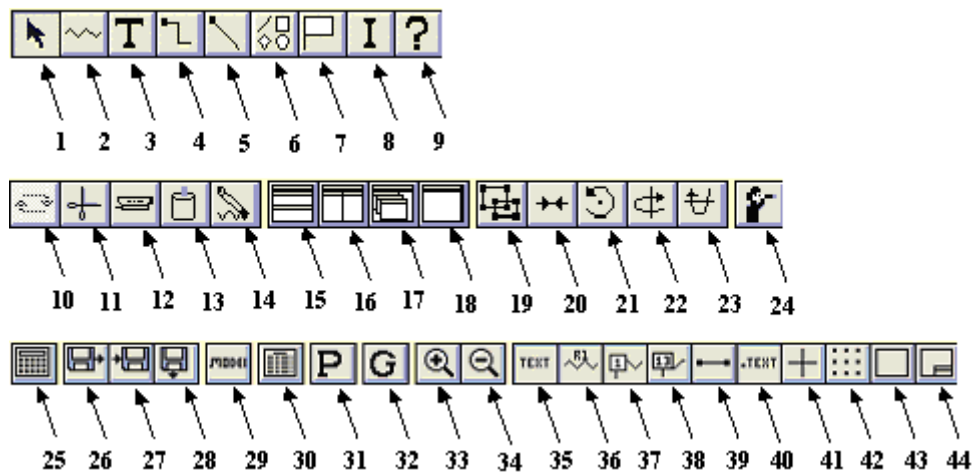


Рисунок 2.12 – Панелі інструментів

- 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, точка 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'єктів⁴
- 25 - Виклик убудованого калькулятора;
- 26 - Відкриття існуючого файлу;
- 27 - Збереження схеми з активного вікна з використанням імені й шляхи;
- 28 - Відновлення змісту 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 кольори 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 частотних 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 вхідною 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 $T = L / R$.

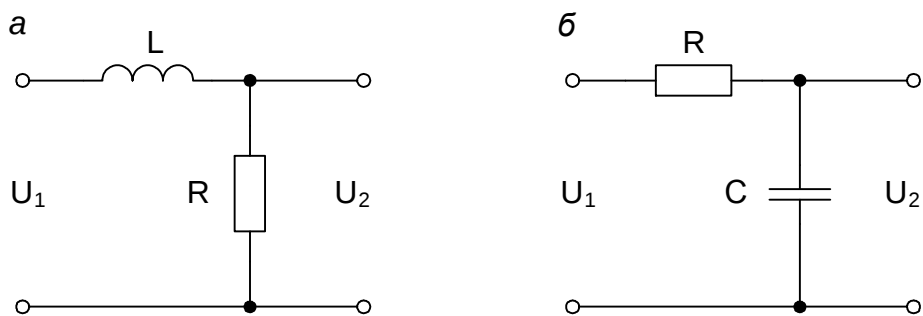


Рис. 3.1. Аперіодичні ланки першого порядку

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

Частотна передавальна функція згідно (3.2), її модуль і фаза відповідно рівні

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T}; \quad (3.3)$$

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\arctg \omega T. \quad (3.4)$$

Всі три характеристики зображені на мал. 3.2. АФЧХ для позитивних частот має вигляд півкола з діаметром, рівним коефіцієнту передачі ланки k . Величина постійної часу ланки T визначає розподіл оцінок ω уздовж кривій. Три характерні оцінки показані на мал. 3.2, а ($\omega = 0$; $\omega = 1/T$ й $\omega \rightarrow \infty$).

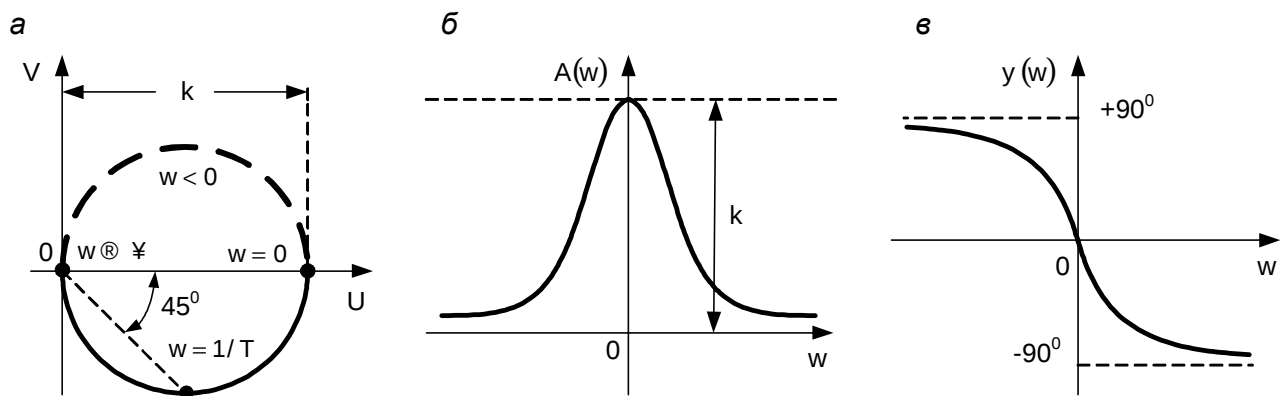


Рис. 3.2. АФЧХ (а), АЧХ (б) і ФЧХ (в) аперіодичної ланки першого порядку

Амплітудно-фазова характеристика для позитивних частот може бути доповнена дзеркальним півколом для негативних частот (показана пунктиром). У результаті амплітудно-фазова характеристика буде представляти замкнуту криву - окружність.

З амплітудної характеристики видно, що коливання малих частот $w < 1/T$ «пропускаються» даною ланкою з відношенням амплітуд вихідної й вхідної величин, близьким до статичного коефіцієнта передачі ланки k . Коливання більших частот $w > 1/T$ проходять із сильним ослабленням амплітуди (мале значення A), тобто «погано пропускаються» або практично «не пропускаються» ланкою. Чим менше постійна часу T , тобто чим менше інерційність ланки, тим більше витягнута амплітудна характеристика $A(w)$ уздовж осі частот, або тем ширше смуга пропускання частот у даної ланки

$$w_n = \frac{1}{T} - \frac{\infty}{\epsilon} \frac{1}{T} \frac{\ddot{\epsilon}}{\ddot{\epsilon}} = \frac{2}{T}. \quad (3.5)$$

Крім того, чим менше постійна часу ланки, тим менші виходять фазові зсуви між вихідним і вхідним коливаннями.

Знайдемо вираз для дійсної й уявної частин частотної передавальної функції. Для цього помножимо чисельник і знаменник (3.4) на комплекс, спряжений знаменнику

$$W(j\omega) = \frac{k(1 - j\omega T)}{(1 + j\omega T)(1 - j\omega T)} = \frac{k(1 - j\omega T)}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (3.6)$$

Звідси

$$U(\omega) = \frac{k}{1 + \omega^2 T^2}; \quad V(\omega) = -\frac{k \omega T}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (3.7)$$

Побудуємо тепер логарифмічні частотні характеристики аперіодичної ланки першого порядку. Для побудови ЛАЧХ тут і далі будемо вважати, що коефіцієнт k безрозмірний. Для (3.4) маємо

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}. \quad (3.8)$$

Побудуємо наближену так називану асимптотичну ЛАХ. Для цієї мети на стандартній сітці (мал. 3.3) проведемо вертикальну пунктирну пряму при частоті, яку називають частотою спряження $\omega = 1/T$.

Для частот, менших, чим частота спряження, тобто при $\omega < 1/T$ можна зневажити другим доданком під коренем (3.8), тому що $\omega^2 T^2 < 1$. Тоді для частот, що лівіші частоти спряження (мал. 3.3) можна замінити (3.8) наближеним виразом $L(\omega) \approx 20 \lg k$ при $\omega < 1/T$, якому відповідає пряма лінія, паралельна осі частот (пряма а-б).

Для частот, більших, ніж спрягаюча у виразі (3.8), можна зневажити одиницею в порівнянні з $\omega^2 T^2$. Тоді замість (3.8) будемо мати наближений вираз $L(\omega) \approx 20 \lg(k/\omega T)$ при $\omega > 1/T$, якому відповідає пряма з негативним нахилом 20 дБ/дек (пряма б-с).

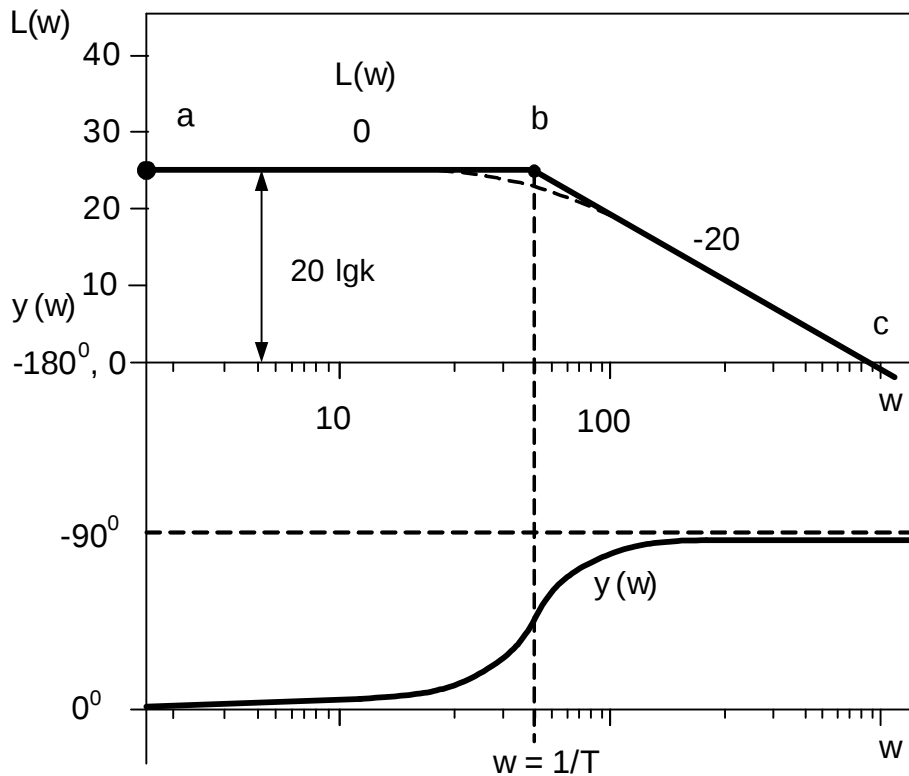


Рисунок 3.3 – ЛАХ і ЛФХ аперіодичної ланки першого порядку

Ламана лінія з і називається асимптотичною (наближеної) ЛАХ. Як було видно, побудова її виробляється досить просто – практично без обчислювальної роботи. Дійсна ЛАХ (показана пунктиром) буде трохи відрізнятися від асимптотичної, причому найбільше відхилення буде в точці *b*. Воно дорівнює – 3 дБ, тому що

$$A_{\frac{1}{T}} = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{2}} = 20 \lg k - 3,03 \text{ дБ}, \quad (3.10)$$

що в лінійному масштабі відповідає відхиленню в $\sqrt{2}$ раз.

На всьому іншому відрізку вліво від частоти спряження, дійсна ЛАХ буде відрізнятися від асимптотичної менш чим на 3 дБ. Тому в багатьох практичних розрахунках досить обмежитися побудовою асимптотичної ЛАХ.

На тім же мал. 3.3 показана логарифмічна фазова характеристика (ЛФХ). Характерною її особливістю є зміщення по фазі, рівне -45° на частоті спряження (тому що $-\arctg(T) = -\arctg(1) = -45^\circ$, і симетрія ЛФХ по відношенню до частоти спряження. Для частоти $\omega = 0$ фазове зміщення $\varphi = 0$ і при $\omega \rightarrow \infty$ фазове зміщення $\varphi \rightarrow -90^\circ$.

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 комплексної передавальної функції та відповідних частотних характеристик, – амплітудно-частотних (АЧХ), фазочастотних (ФЧХ), амплітудно-фазочастотних (АФЧХ), логарифмічних частотних характеристик ЛАЧХ, ЛФЧХ.

По отриманим аналітичним виразам побудувати графічні залежності для вищезгаданих характеристик.

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

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

Результати розрахунково-практичної роботи оформити у вигляді звіту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. Филиппс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филиппс, Р. Харбор. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 616с.

Додаток 1 Схемні рішення для проведення моделювання

Схема 1

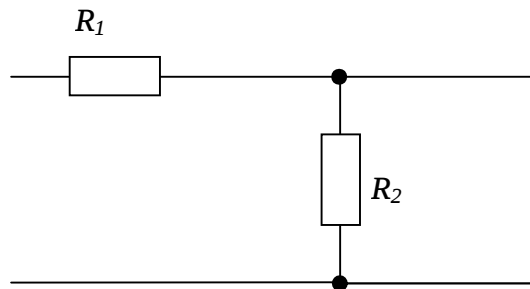


Схема 2

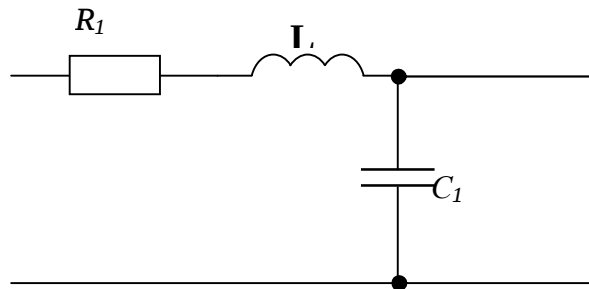


Схема 3

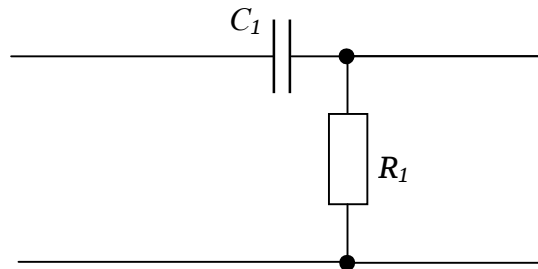


Схема 4

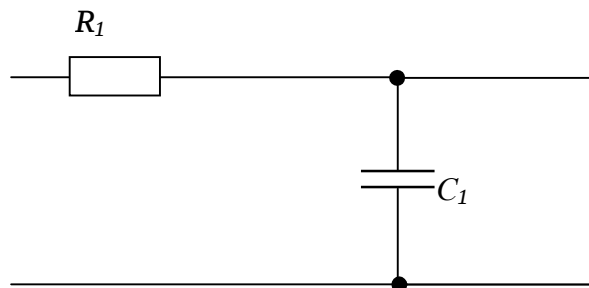


Схема 5

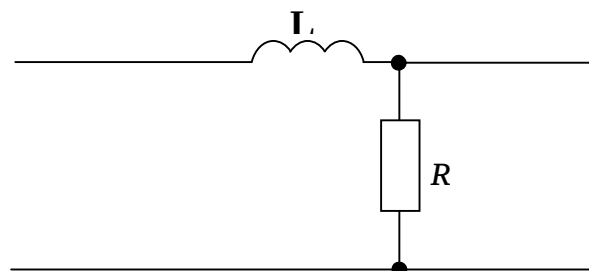


Схема 6

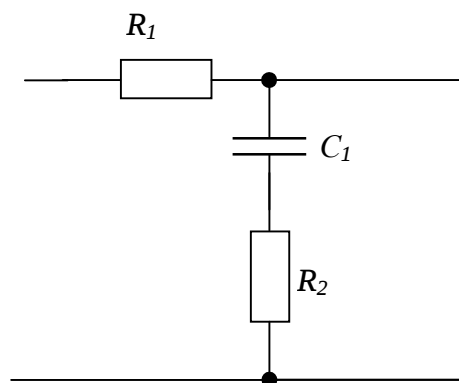


Схема 7

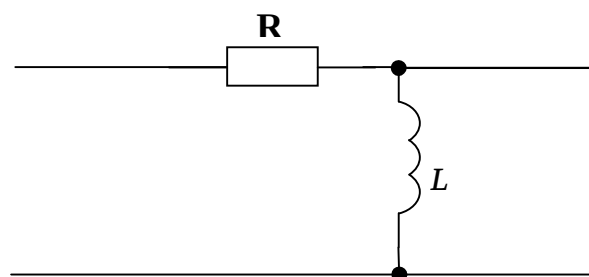


Схема 8

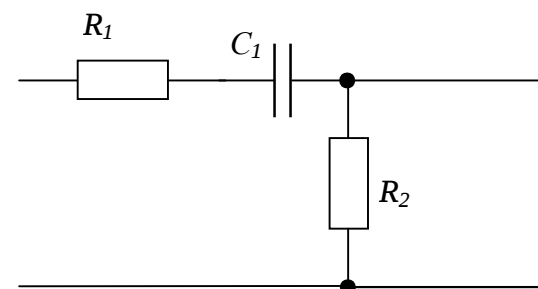


Схема 9

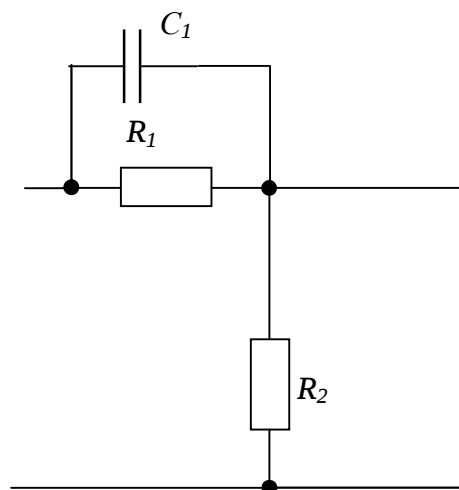


Схема 10

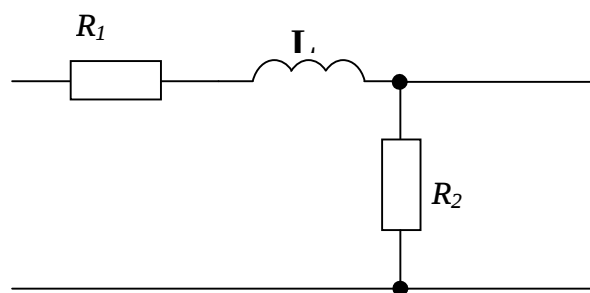


Схема 11

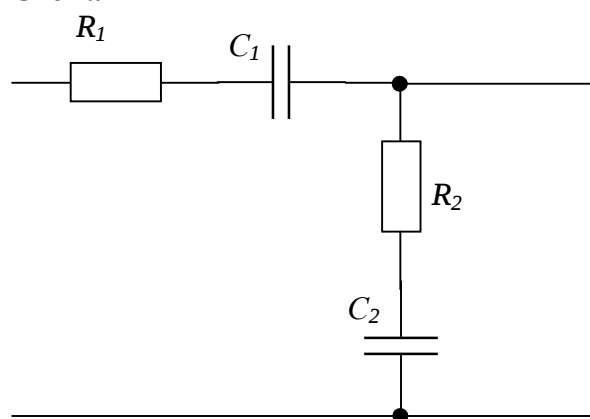
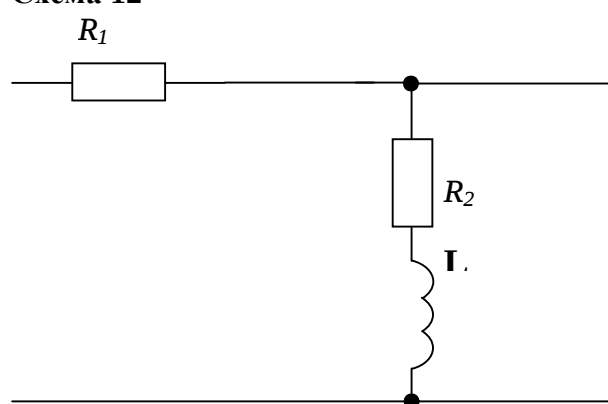


Схема 12



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]

Для нотаток

[illegible]

