

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

КОМБІНОВАНИЙ (ГІБРИДНИЙ) ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**З ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ТА ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ,
СИГНАЛІВ І ВИМІРЮВАНЬ
У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ
ЛАБОРАТОРІЇ**

Навчальний посібник

За загальною редакцією Ю. Я. Бобала

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету “Львівська політехніка”*

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2016

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2
К 63

Автори:

Бобало Юрій Ярославович, д-р техн. наук, проф.;
Стахів Петро Григорович, д-р техн. наук, проф.;
Рендзіняк Сергій Йосипович, д-р техн. наук, проф.;
Коруд Василь Іванович, канд. техн. наук, проф.;
Гамола Орест Євгенович, канд. техн. наук, доц.;
Горячко Всеволод Іванович, канд. техн. наук, доц.;
Мадай Володимир Степанович, канд. техн. наук, доц.;
Рижий Тарас Іванович, ст. викл.

Рецензенти:

Болеста І. М., доктор фізико-математичних наук, професор Львівського національного університету імені Івана Франка;
Дивак М. П., доктор технічних наук, професор Тернопільського національного економічного університету;
Мандзій Б. А., доктор технічних наук, професор Національного університету “Львівська політехніка”

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету “Львівська політехніка”
як навчальний посібник для студентів
електротехнічних спеціальностей
(протокол № 14 від 18.11.2015 р.)*

Комбінований (гібридний) лабораторний практикум з теорії електричних та електронних кіл, сигналів і вимірювань у комп’ютеризованій лабораторії : навч. посібник / Ю. Я. Бобало, П. Г. Стахів, С. Й. Рендзіняк та ін.; за заг. ред. Ю. Я. Бобала. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 152 с.
ISBN 978-617-607-891-3

Навчальний посібник містить комплекс лабораторних робіт з теорії електричних та електронних кіл, сигналів і вимірювань, які виконують у два етапи: фізичний експеримент та віртуальний експеримент. Такий підхід дає змогу поглибити здобуті теоретичні знання, набути практичних навичок роботи з технічним обладнанням.

Для студентів електротехнічних та електромеханічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2

ISBN 978-617-607-891-3

© Колектив авторів, 2016
© Національний університет
“Львівська політехніка”, 2016

ЗМІСТ

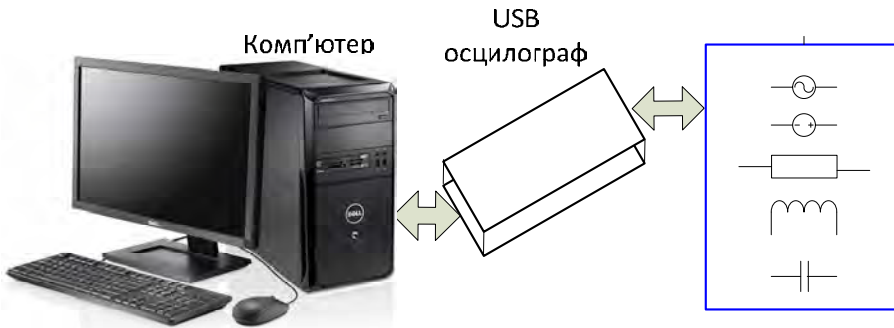
Передмова	5
Інструкція до лабораторного практикуму (фізичного експерименту) в середовищі USB-осцилографа DiSco2	7
Інструкція до лабораторного практикуму (віртуального експерименту) у середовищі Electronics Workbench 5.12	14
Розділ 1. Лабораторний практикум з теорії електричних кіл та сигналів у середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	35
Лабораторна робота № 1. Дослідження лінійного електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням елементів.....	35
Лабораторна робота № 2. Дослідження лінійного електричного кола змінного струму з паралельним з'єднанням елементів	45
Лабораторна робота № 3. Дослідження явища резонансу напруг	50
Лабораторна робота № 4. Дослідження явища резонансу струмів.....	54
Лабораторна робота № 5. Дослідження трифазного кола зі з'єднанням приймачів зіркою.....	59
Лабораторна робота № 6. Дослідження трифазного кола зі з'єднанням приймачів трикутником.....	65
Лабораторна робота № 7. Дослідження пасивного прохідного чотириполюсника	70
Лабораторна робота № 8. Дослідження перехідних процесів у лінійних електричних колах.....	74
Лабораторна робота № 9. Дослідження детермінованих періодичних сигналів.....	80
Лабораторна робота № 10. Дослідження послідовного з'єднання конденсатора і котушки з феромагнітним осердям (явище ферорезонансу).....	84
Лабораторна робота № 11. Дослідження однофазного трансформатора.....	87
Розділ 2. Лабораторний практикум з вимірювань	92
Лабораторна робота № 12. Вимірювання індуктивності та взаємодуктивності	92
Лабораторна робота № 13. Вимірювання параметрів електричних сигналів	97
Розділ 3. Лабораторний практикум з теорії електричних та електронних кіл у середовищі Orcad	100
Інструкція до лабораторного практикуму в середовищі OrCAD.....	100

Лабораторна робота № 14. Дослідження лінійного електричного кола змінного струму за послідовного з'єднання елементів.....	110
Лабораторна робота № 15. Дослідження лінійного електричного кола змінного струму за послідовного та паралельного з'єднань елементів	114
Лабораторна робота № 16. Дослідження резонансних явищ у лінійному електричному колі	120
Лабораторна робота № 17. Дослідження перехідного процесу лінійного електричного кола з послідовним злученням елементів	125
Лабораторна робота № 18. Дослідження пасивного прохідного чотириполюсника	131
Лабораторна робота № 19. Дослідження однофазних випростувачів	136
Лабораторна робота № 20. Дослідження однокаскадного підсилювача на біполярному транзисторі.....	140
Лабораторна робота № 21. Дослідження аналогових пристроїв на операційних підсилювачах	144

ПЕРЕДМОВА

Актуальною проблемою навчального процесу є підвищення якості та ефективності проведення лабораторного практикуму з електротехнічних дисциплін. Для вирішення цієї проблеми запропоновано стратегію розумного поєднання в лабораторному практикумі натурального та віртуального експериментів з використанням у лабораторному практикумі сучасних засобів дослідження електромагнітних процесів. Тобто лабораторний практикум проводиться у два етапи: натурний експеримент та віртуальний експеримент. Такий підхід дасть змогу студентам поглибити здобуті теоретичні знання, набути практичних навичок роботи з технічним обладнанням та проведення інженерних експериментів, обробляти і трактувати їхні результати. Лабораторний практикум за такою структурою поєднує основний принцип викладання – пояснення фізичних аспектів електротехнічних явищ із застосуванням сучасних пристроїв дослідження – комп'ютерних аналізаторів.

Для реалізації запропонованої структури лабораторного практикуму створено комп'ютеризовану лабораторію, де робоче місце обладнане комп'ютером, універсальним USB-осцилографом та фізичними макетами досліджуваних об'єктів.



Комп'ютер використовують для виконання таких завдань:

- реалізація віртуальних лабораторних робіт в інструментальному середовищі прикладних програм для моделювання електротехнічних пристроїв;
- реалізація вимірювань за допомогою взаємодії через програмний інтерфейс універсального USB-осцилографа.

Універсальний USB-осцилограф виконує функції осцилографа, спектроаналізатора, електричного вольтметра та логічного аналізатора. Використання його з іншими програмними засобами відтворення електротехнічних схем

істотно розширює діапазон можливостей USB DISCO2 для дослідження електромагнітних процесів у реальному часі. У лабораторному практикумі використовують середовища LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) і OrCAD.

Під час лабораторного практикуму студент досліджує процеси за вказаним алгоритмом та визначає вплив елементів на роботу електротехнічного пристрою. Можливість отримати графічну інформацію в режимі реального часу позитивно налаштовує студента щодо проведення експерименту, на відміну від класичного сценарію.

Залежно від підготовки студента до виконання лабораторного дослідження та його комп'ютерної грамотності програму експерименту можна ускладнювати або спрощувати, щоб індивідуалізувати навчання. Саме такий дидактичний прийом навчання є прогресивним, тому що при цьому розвивається творче мислення, бажання пізнати ще більше.

Цей лабораторний практикум є основою для розроблення нових лабораторних робіт із зазначених у цьому посібнику дисциплін та інших електротехнічних дисциплін.

Інструкція до лабораторного практикуму (фізичного експерименту) в середовищі USB-осцилографа DiSCO2

Мета роботи: набути навичок вимірювання електричних величин за допомогою USB-осцилографа DiSCO2.

Опис робочого (основного) вікна програми осцилографа

На рис. 1 зображено основне вікно програми під час роботи в режимі осцилографа. У центрі вікна наведено робочий екран, на якому відображаються осцилограми, червона осцилограма відповідає каналу А, а синя – каналу В. Зліва від рамки робочого екрана розташована шкала напруги каналу А (червоний шрифт), праворуч від рамки – шкала напруги каналу В (синій шрифт). Розмірність обох шкал напруги – вольти. Внизу робочого екрана розташована вісь часу (розгортка).

Ліворуч і праворуч від робочого екрана розміщені два покажчики (маркери), що дають змогу зміщувати нуль каналу А і каналу В відповідно. Зсув нуля доцільно проводити, якщо сигнали обох каналів надто накладаються один на одного, що ускладнює їх аналіз. Для установки однієї з дев'яти стандартних позицій нуля необхідно натиснути правою кнопкою миші на відповідному покажчику, після чого зі спливаючого меню вибрати одне з можливих значень положення нуля.

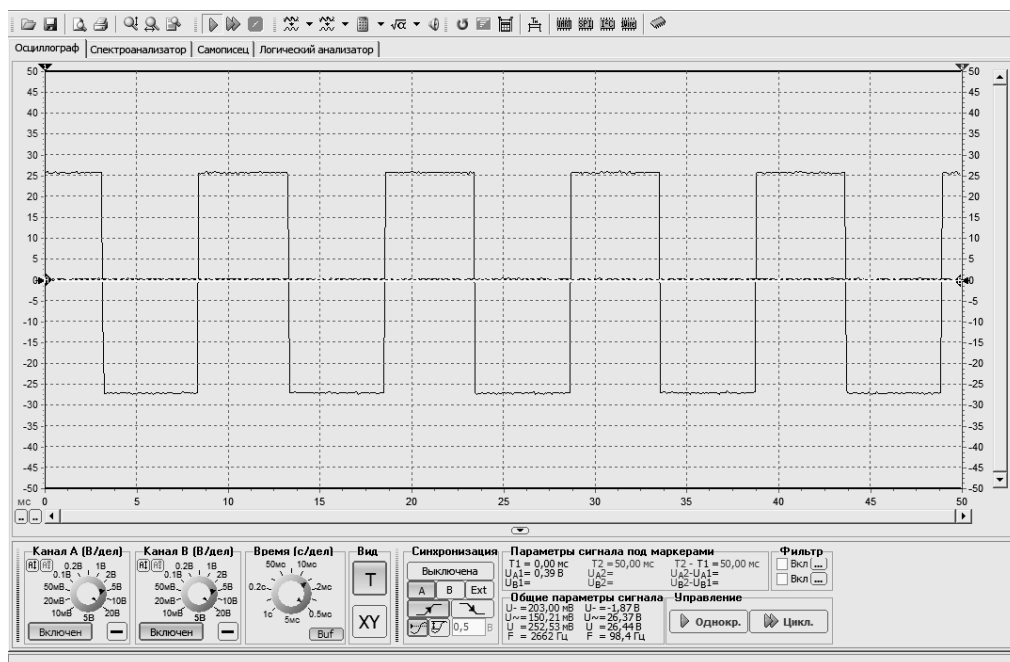


Рис. 1. Робоче вікно програми під час роботи в режимі осцилографа

Над рамкою робочого екрана розташовані два маркери, призначені для точного вимірювання часових інтервалів і миттєвих значень напруг кожного з каналів. Маркери можна пересувати за допомогою миші, для цього необхідно клацнути лівою кнопкою миші над трикутником, після чого, не відпускаючи ліву кнопку пересувати мишу вліво або вправо. Під час пересування маркера по робочому екрані відобразатимуться відповідні дані на панелі “параметри сигналу під маркером”.

Для задання рівня синхронізації (приведення двох або декількох процесів до певного порядку в області часу) використовуються два горизонтальні маркери А і В. Маркер А задає рівень (амплітуду) напруги каналу А, який використовується за ввімкненої синхронізації по каналу А. Маркер В аналогічно задає рівень, використовуваний за ввімкненої синхронізації по каналу В.

Для переміщення осцилограм усередині робочого екрана призначена стандартна лінійка прокручування. Під нею розміщена невелика кнопка, яка дає змогу приховати панель налаштувань осцилографа, що забезпечує більше місця для робочого екрана.

Крім того, є можливість переміщення осцилограм вертикально і горизонтально перетягуванням відповідних осей (горизонтальної – праворуч – ліворуч, вертикальних – догори – донизу)

Задати розмах шкали напруги для кожного з каналів А чи В можна на панелі “Канал А (В/дел)”, “Канал В (В/дел)”. Розмах задається за допомогою ручки налаштування. Необхідно зазначити, що USB-осцилограф DiSCO апаратно підтримує два діапазони вхідних сигналів 0–2 В і 2–20 В. Звідси, щоб отримати найдостовірнішу осцилограму, амплітуда якої перебуває в діапазоні ± 2 В, доцільно вибрати розмах $\pm 0,2$ В/под або нижче. Оскільки помилка квантування за розмаху $\pm 0,2$ В/под нижче і становитиме $4\text{В}/1024 = 0,0039$ В (розрядність 10 бітів), тоді як за розмаху $\pm 0,5$ В/под і вище – помилка квантування буде в 10 разів більшою $40\text{В}/1024 = 0,039$ В. У осцилографа DiSCO2 апаратно підтримується 12 піддіапазонів, тому помилка квантування є меншою.

На цих же панелях розташовані кнопки увімкнення/вимкнення каналів. Якщо під час досліджень не потрібно аналізувати одночасно два аналогові сигнали, то доцільніше вимкнути один з каналів, що дасть змогу збільшити максимальну частоту дискретизації з 100 кГц до 200 кГц.

Під час роботи DiSCO2 в режимі осцилографа в основному вікні програми поряд із кнопкою увімкнення/вимкнення каналу є кнопка відкритого/закритого входу з символами [-] і [~], яка вмикає встановлене в приладі реле, яке замикає виводи внутрішнього конденсатора, призначеного для фільтрації постійної складової сигналу.

Панель “Время (с/дел)” дає змогу задавати розгортку, з якою відбувається відображення вхідного аналогового сигналу. Частота дискретизації підбирається автоматично. У правому нижньому кутку панелі “Время (с/дел)” розташована кнопка перемикачання режиму читання: buf – читання з використанням внутрішнього буфера приладу, pipe – потокове читання даних у комп’ютер (у кілька разів збільшується розмір буфера відліків, але підвищуються вимоги до комп’ютера).

Усі елементи керування синхронізацією, окрім маркерів, розташовані на панелі “Синхронізація”. Кнопка “увімкнення/вимкнення” дає змогу увімкнути або

вимкнути синхронізацію. Кнопки “А” і “В” вибирають канал і відповідний маркер, сигнал з якого буде використовуватися як джерело синхронізації. Кнопка “Ext” вказує, що джерелом синхронізації буде зовнішнє джерело, яке під’єднується до каналу В.1 логічного аналізатора, який працює як вхід (зовнішня синхронізація доступна тільки під час читання через буфер).

Кнопки вибору фронту визначають, за яким фронтом сигналу (наростаючим чи спадаючим) буде абсолютна синхронізація, за яким перепадом сигналу (додатним чи від’ємним) буде диференційна синхронізація, і за яким фронтом зовнішнього синхросигналу (наростаючим чи спадаючим) буде зовнішня синхронізація. Дві кнопки розташовані внизу панелі визначають тип синхронізації: абсолютна або диференційна. Поле, розташоване біля кнопки завдання диференційної синхронізації, визначає різницю між сусідніми відліками сигналу, за перевищення якої виконуватимуться умови синхронізації. Необхідно зазначити, що у разі задання параметрів синхронізації, які не можуть бути виконані, наприклад, заданий рівень 5 В, а максимальна амплітуда сигналу не перевищує 2 В, прилад постійно перебуватиме в очікуванні виконання умови синхронізації, тобто одна з кнопок запуску вимірювання буде червоною. У такому разі зовсім не обов’язково зупиняти вимірювання, натискаючи кнопку “Скидання”, оскільки під час вимірювання за будь-яких умов синхронізації вони автоматично будуть передані в пристрій.

На панелі “Параметри сигналу під маркерами” відображаються розташування кожного маркера на осі часу й амплітуда сигналу обох каналів під кожним маркером. Також обчислюються різниці відліків часу під маркерами і амплітуд сигналів, при цьому колір результату визначається кольором того маркера, відповідні значення, якого більші.

На панелі “Загальні параметри сигналу” відображаються обчислені значення постійної і змінної складових напруги, і якщо можливо, то і значення частоти по кожному каналу.

Панель “Фільтрація” забезпечує під’єднання і розрахунок цифрових фільтрів для кожного каналу. Для увімкнення фільтрації по каналу спочатку необхідно розрахувати фільтр, відкривши вікно завдання параметрів фільтра, натиснувши кнопку “...”, після чого встановити мітку “Вкл.” для вибраного каналу.

Для того, щоб провести вимірювання, необхідно натиснути кнопку “Однокр.” або “Цикл.” на панелі “Управління”. Кнопка “Однокр.” ініціалізує тільки один вимір (оцифровування і накопичення відліків мікроконтролером, а потім передає їх оболонці під час роботи через буфер), після чого на робочому екрані відображаються щойно зчитані осцилограми. Кнопка “Цикл.” виконує аналогічні дії, за винятком того, що вимірювання здійснюється автоматично. Після натискання на одну з кнопок запуску вона змінює свою назву на “Скидання” червоного кольору, натискання на яку зумовить негайне скидання пристрою і припинення очікування результатів вимірювання. Кнопка “Скидання” може виявитися єдиним засобом зупинки вимірювання, наприклад, коли задано рівень синхронізації, який ніколи не може бути досягнутий.

Зберегти дані експерименту можна у декількох форматах:

- файл даних з розширенням name.dat;
- РСМ файл з розширенням name.pcm;

- векторний рисунок з розширенням name.emf;
- растровий рисунок з розширенням name.bmp;
- текстовий файл з розширенням name.txt;
- файл-фото екрана з розширенням name.bmp.

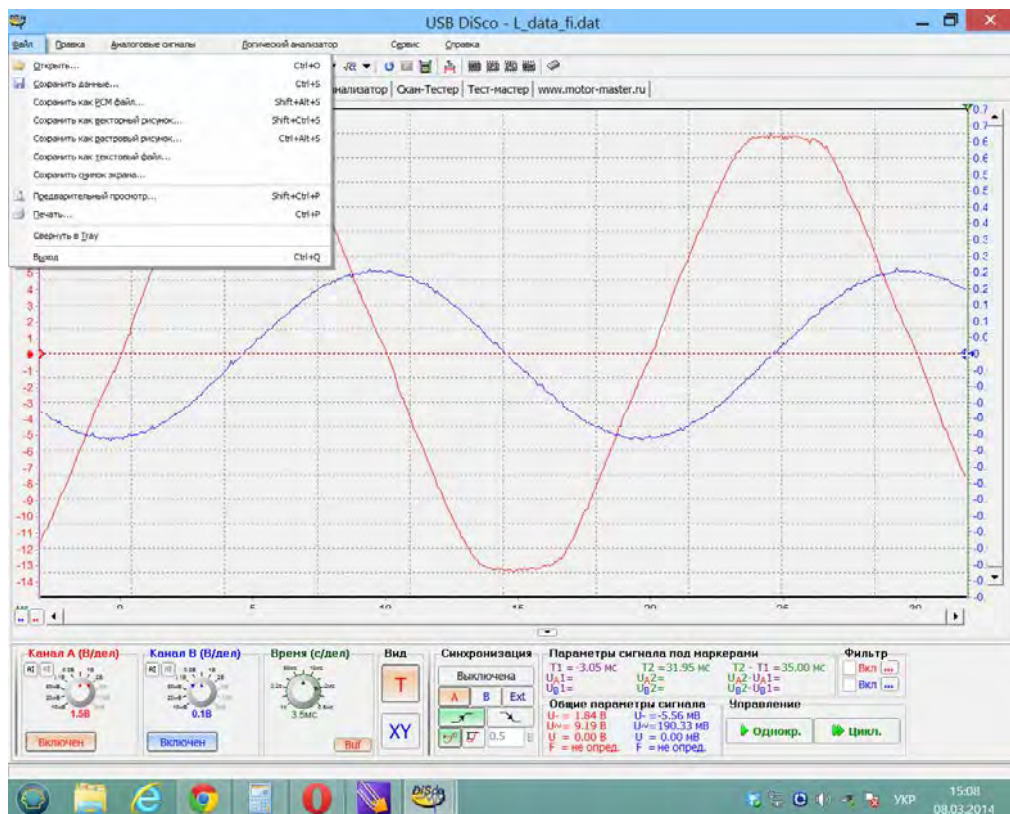


Рис. 2. Рабочее окно программы із розгорнутим вікном меню Файл

Осцилограф Disco2 проводить вимірювання в 11 піддіапазонах: (від мВ/под. до В/под.) 10 мВ, 20 мВ, 50 мВ, 50 мВ, 0.1 В, 0.2, 0.5 В, 1 В, 2 В, 5 В, 10 В, 20 В. Точність вимірювання не менше ніж 1 %.

Вимірювання параметрів електричного сигналу

Увімкнути системний блок. Клікнути двічі по ярлику Disco на робочому столі дисплея. В основному вікні програми осцилографа DiSco2 вимкнути канал В. Увімкнути джерело живлення змінної напруги. Під'єднати кабель каналу А та спільний вивід обох каналів USB-осцилографа до затискачів джерела рис. 3.

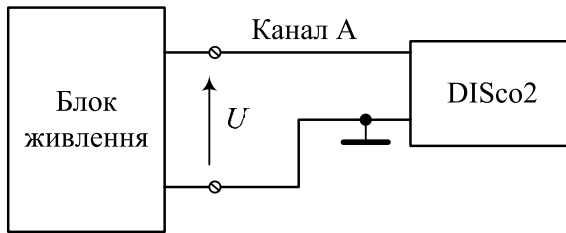


Рис. 3. Схема вимірювання напруги

Виміряти електричний сигнал напруги джерела (осцилограма сигналу показана на рис. 4). Діюче значення напруги U і частота f відображаються на панелі “Загальні параметри сигналу”. Для вимірювання максимального значення напруги U_m необхідно лівий вертикальний маркер встановити на вершині (максимумі) сигналу напруги. Максимальне значення напруги відобразиться на панелі “Параметри сигналу під маркерами”. Записати параметри вимірюного сигналу в табл. 1.

Таблиця 1

U , В	U_m , В	f , Гц		

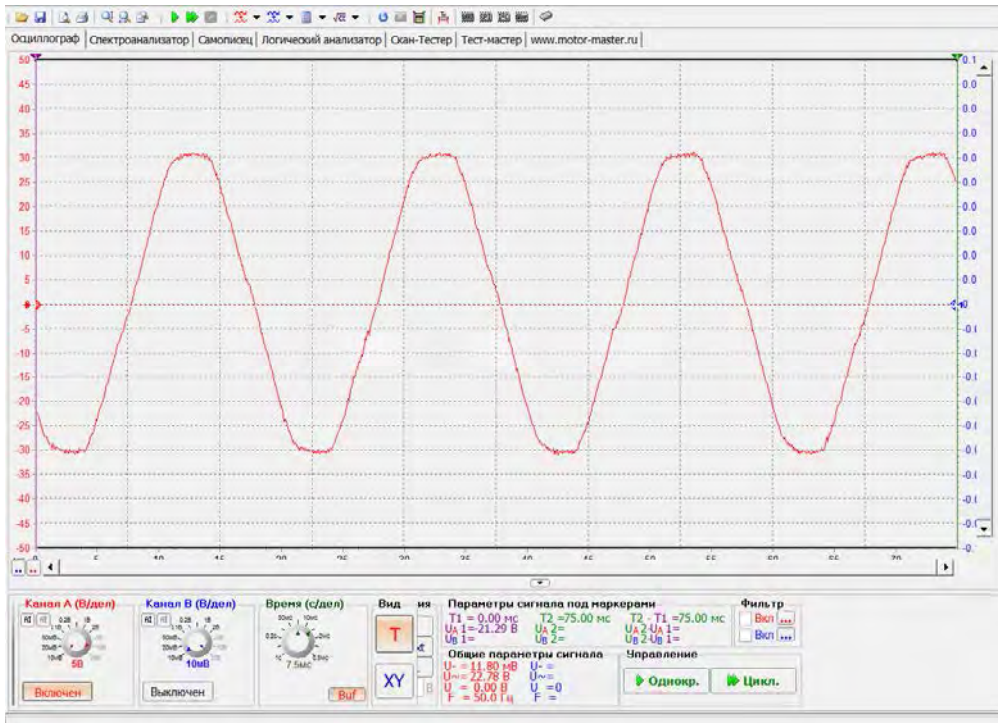


Рис. 4. Робоче вікно програми під час вимірювання напруги джерела

Вимірювання двох електричних величин

Осцилограф DiSCO2 має два вимірювальних канали, які мають спільну шину. Ця особливість дещо звужує можливості одночасного вимірювання електричних величин, а саме, одночасно можна вимірювати тільки напруги на елементах із спільною точкою двома способами, як показано на рис. 5, а, б.

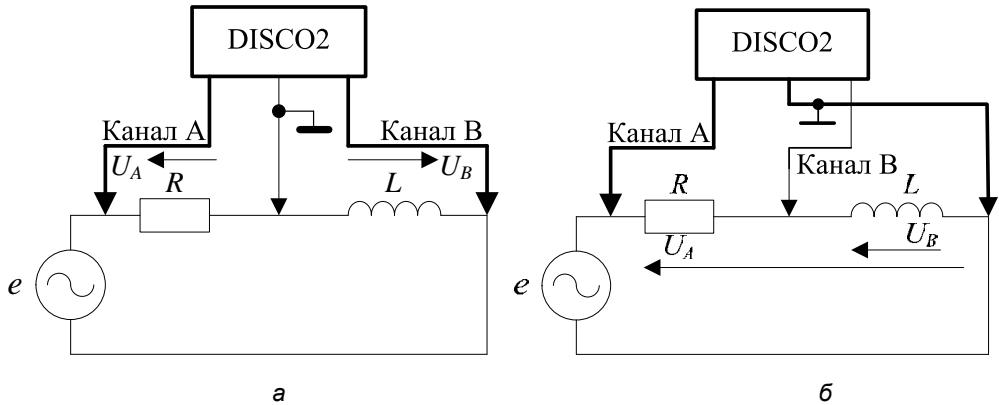


Рис. 5. Схема вимірювання напруг

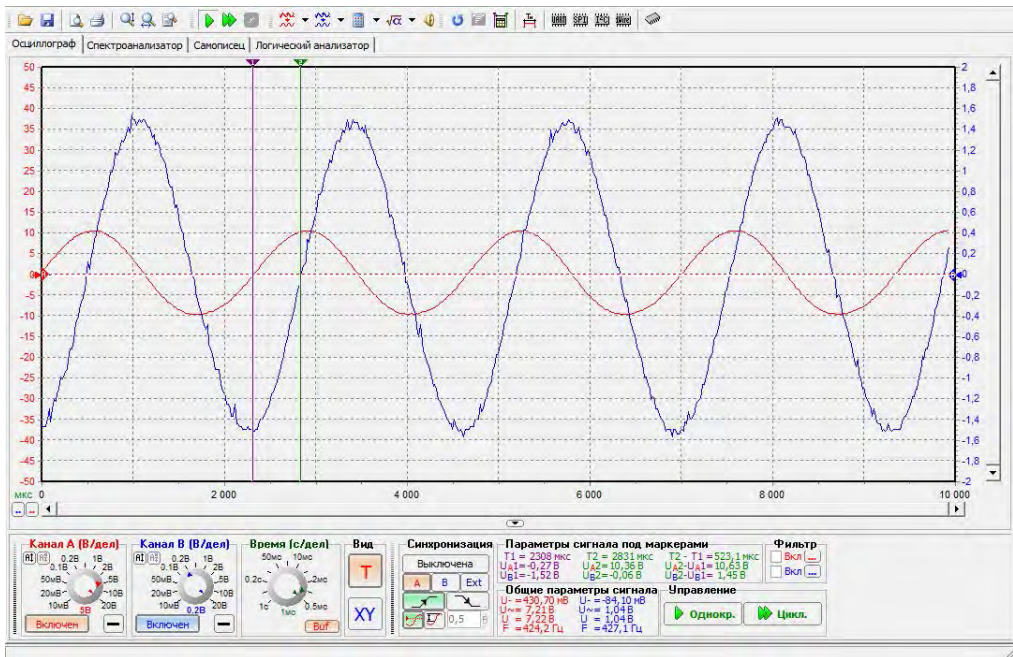


Рис. 6. Осцилограми вимірювання двох напруг

Якщо вимірювані напруги треба порівняти, наприклад, визначити зсув фаз, тоді під час вимірювання електричного сигналу за схемою (рис. 5, а) один із сигналів треба зсунути на 180° . Це можна зробити шляхом встановлення у вікні меню “Аналогові сигнали” \rightarrow “Обробка” мітки, наприклад, навпроти $\underline{A} = -A$. Це означає, що напруга, виміряна по каналу А, буде відображена на осцилограмі інвертованою (рис. б).

Отриману осцилограму використовуємо для визначення зсуву фаз. Для цього вертикальні маркери треба встановити в двох сусідніх точках перетину обома напругами осі абсцис (рис. б). Вертикальний маркер фіолетового кольору встановити на переході через нуль осцилограми червоного кольору, зелений – на переході через нуль осцилограми синього кольору. На панелі “Параметри сигналу під маркерам” відобразиться зсув у часі $T_2 - T_1$, який можна перетворити на кут зсуву фаз за виразом $\varphi = 360(T_2 - T_1)f$, де $T_2 - T_1$ має бути виражено у секундах.

Якщо дві напруги вимірюються за схемою рис. 5, б, то для визначення зсуву фаз не треба інвертувати одну з напруг, оскільки вони спрямовані відносно спільної точки однаково.

Інструкція до лабораторного практикуму (віртуального експерименту) у середовищі Electronics Workbench 5.12

Розробка будь-якого електротехнічного пристрою супроводжується фізичним або математичним моделюванням. Фізичне моделювання пов'язане з великими матеріальними витратами, оскільки потрібне виготовлення макетів і їх трудомістке дослідження. Часто фізичне моделювання є неможливе через надзвичайну складність пристрою. У цьому випадку вдаються до математичного моделювання з використанням засобів і методів обчислювальної техніки. Концепція лабораторного практикуму з електротехнічних дисциплін, запропонована на кафедрі теоретичної та загальної електротехніки, передбачає його проведення як комбінацію фізичного і віртуального експериментів, об'єднаних спільною навчальною метою. Тому важливо вибрати відповідні комп'ютерні засоби для проведення віртуальних експериментів. Аналіз стану програмного забезпечення схемотехнічного моделювання показав, що на етапі початкового освоєння методів математичного моделювання електричних та магнітних кіл і на етапах проведення пошуково-дослідних робіт доцільно використовувати програму Electronics Workbench (EWB).

Electronics Workbench (EWB) – розробка фірми Interactive Image Technologies (www.interactiv.com), відрізняється найпростішим і легко засвоюваним інтерфейсом. Особливістю програми є наявність контрольно-вимірювальних приладів, за зовнішнім виглядом і характеристиками наближених до їхніх промислових аналогів. Програма легко засвоюється і досить зручна в роботі. Необхідно також зазначити, що програма EWB має важливу властивість для навчального процесу, зокрема, дає змогу виконувати не тільки завдання викладача, але й дає можливість запропонувати та апробувати свої технічні рішення.

1. Структура вікна і система меню

Робоче вікно програми версії 5.0 показано на рис. 1.1. Вікно програми EWB 5.12 містить поле меню, лінійку бібліотек компонентів і лінійку контрольно-вимірювальних приладів, яка зображена в розгорнутому вигляді в правій частині вікна. У робочому полі програми розташовується схема досліджуваного електричного кола, з під'єднаними до неї іконками контрольно-вимірювальних приладів. За необхідності кожен з приладів може бути розгорнутий (представлений у розширеному вигляді) для встановлення режимів його роботи і спостереження результатів. Лінійки прокручування використовують тільки для переміщення схеми. Призначення кожної з кнопок (іконок) меню пояснює спливаюча підказка у разі наведення на неї курсора.

Розглянемо основні команди меню програми EWB 5.12, які необхідні для проведення віртуального лабораторного практикуму.

1.1. Меню File

Меню File призначене для завантаження і записування файлів, отримання твердої копії обраних для друку складових схеми, а також для імпорту/експорту файлів у форматах інших систем моделювання.

1. Перші чотири команди цього меню: New (Ctrl + N), Open ... (Ctrl + O), Save (Ctrl + S), Save As ... – типові для Windows команди роботи з файлами і тому пояснень не вимагають. Для цих команд у п'ятій версії EWB 5.12 є кнопки (іконки) зі стандартними зображеннями. Схемні файли програми EWB мають розширення .ewb.

2. Revert to Saved ... – стирання всіх змін, внесених у поточному сеансі редагування, і відновлення схеми в первісному вигляді.

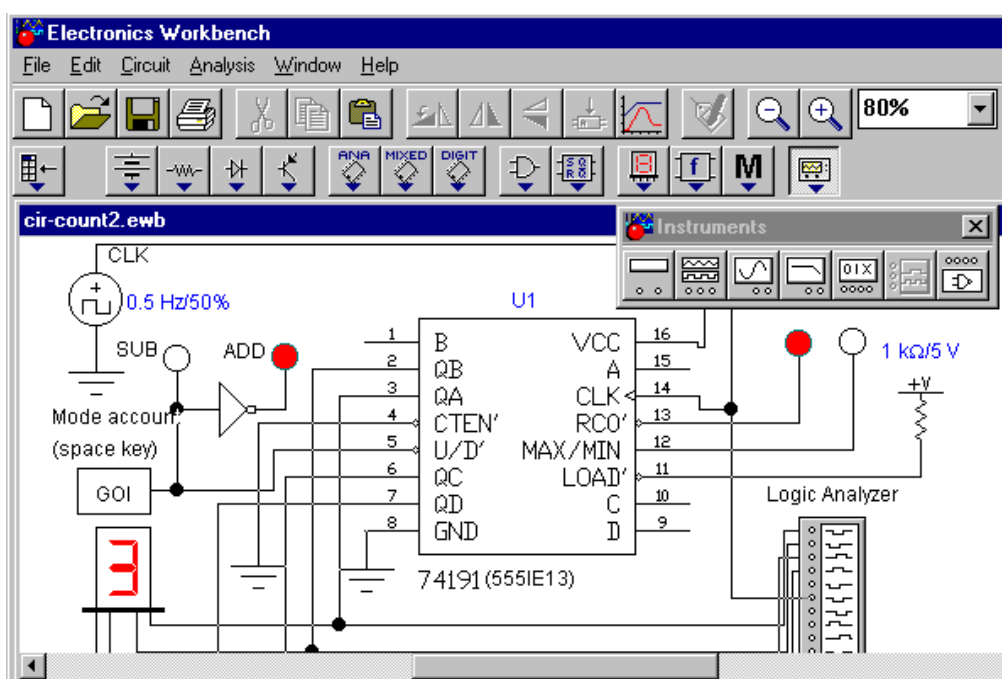


Рис. 1.1. Вікно програми EWB 5.12

3. Print ... (CTRL + P) – вибір даних для виводу на принтер: Schematic – схеми (опція, включена за замовчуванням); Description – описи до схеми; Part list – перелік документів, що виводяться на принтер; Model list – список наявних у схемі компонентів; Instruments – список приладів. У цьому ж підменю можна вибрати опції друку (кнопка Setup) і відправити матеріал на принтер (кнопка Print). У програмі EWB 5.12 передбачена також можливість зміни масштабу виведених на принтер даних у межах від 20 до 500 %.

4. Import / Export здійснює обмін даними з програмою розроблення друкованих плат EWB Layout .
5. Print Setup... – налаштування принтера.
6. Exit (ALT+ F4) – вихід з програми.
7. Install... – установка додаткових програм з гнучких дисків.
8. Import from SPICE – імпорт текстових файлів опису схеми та завдання на моделювання в форматі SPICE (з розширенням .cir) і автоматична побудова схеми за її текстовим описом.
9. Export to SPICE – складання текстового опису схеми і завдання на моделювання у форматі SPICE.
10. Export to PCB – складання списків з'єднань схеми у форматі OrCAD та інших програм розробки друкованих плат.

1.2. Меню Edit

Меню Edit дає змогу виконувати команди редагування схем і копіювання екрана.

1. Cut (CTRL+ X) – стирання (вирізання) виділеної частини схеми зі збереженням її в буфері обміну (Clipboard). Виділення одного компонента здійснюється кліканням миші на зображенні компонента. Для виділення частини схеми або декількох компонентів необхідно поставити курсор миші в лівий кут уявного прямокутника, що охоплює виділювану частину, натиснути ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, протягнути курсор по діагоналі цього прямокутника, контури якого з'являються вже на початку руху миші, і потім відпустити кнопку. Виділені компоненти забарвлюються в червоний колір.

2. Copy (CTRL+ C) – копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну.

3. Paste (CTRL+ V) – вставка вмісту буфера обміну на робоче поле програми. Оскільки в EWB немає можливості поміщати імпортоване зображення схеми або її фрагмента в точно вказане місце, то безпосередньо після вставки, коли зображення ще є відзначеним (виділено червоним) і може виявитися накладеним на створювану схему, його можна перемістити в потрібне місце клавішами курсора або мишею. Так само переміщуються і попередньо виділені фрагменти вже наявної на робочому полі схеми.

4. Delete (Del) – стирання виділеної частини схеми.

5. Select All (CTRL+ A) – виділення всієї схеми.

6. Copy as Bitmap – вставка вмісту буфера обміну на робоче поле програми. Оскільки в EWB немає можливості поміщати імпортоване зображення схеми або її фрагмента в точно вказане місце, то безпосередньо після вставки, коли зображення ще є відзначеним (виділено червоним) і може виявитися накладеним на створювану схему, його можна перемістити в потрібне місце клавішами курсора або мишею. Таким же чином переміщуються і попередньо виділені фрагменти вже наявної на

робочому полі схеми. Команда перетворює курсор миші на хрестик, яким за правилом прямокутника можна виділити потрібну частину екрана, після відпускання лівої кнопки миші виділена частина копіюється в буфер обміну, після чого його вміст може бути імпортовано в будь-який додаток Windows. Копіювання всього екрана здійснюється натисканням клавіші Print Screen: копіювання активної в цей момент частини екрана, наприклад, діалогового вікна – комбінацією Alt + Print Screen. Команда зручна під час підготовки звітів із моделювання, наприклад, під час оформлення лабораторних робіт.

7. Show Clipboard – показати вміст буферу обміну.

1.3. Меню Circuit

Меню Circuit використовується під час підготовки схем, а також для задання параметрів моделювання.

1. Rotate (CTRL + R) – обертання виділеного компонента проти годинникової стрілки на 90° під час кожного виконання команди. Команда найчастіше використовується під час підготовки схем. У сформованій схемі користуватися командою недоцільно, оскільки це найчастіше призводить до заплутування з'єднань. У такому разі компонент потрібно спочатку від'єднати від електричного кола, а потім повертати.

2. Описана вище команда доповнюється двома командами, які прискорюють орієнтацію компонентів схеми: Flip Horizontal – дзеркальне відображення компонента по горизонталі і Flip Vertical – те саме, але по вертикалі. Команди Rotate, Flip Horizontal і Flip Vertical можуть бути виконаними також натисканням



відповідних кнопок

3. Команда Component Properties (властивості компонента) меню Circuit на практиці зазвичай виконується за допомогою подвійного клікання по компоненту



або натискання кнопки. Цю команду можна також викликати з діалогового меню, натиснувши праву кнопку на попередньо виділеному компоненті. Під час виконання команди відкривається діалогове вікно (рис. 1.2) з декількох закладок. На закладці Label в рядку Reference ID вказується позиційне позначення компонента, використовуване надалі при виконанні команд меню Analysis. Наприклад, R1 – для резистора, C5 – для конденсаторів, або (як на рис. 1.2) V2 для джерела синхросигналу Clock тощо. За необхідності зсуву позначення праворуч треба ввести необхідну кількість прогалів (але не більше 14 символів у рядку).

У діалоговому вікні команди закладки Value (рис. 1.3) задаються номінальні параметри компонента, прийняті в проєктованій схемі. Наприклад, для генератора Clock зазначені: частота (Frequency) – 0,5 Hz, коефіцієнти заповнення (відношення додатної частини сигналу до періоду генерації – Duty cycle) – 50 %, амплітуда (Voltage) – 5V.

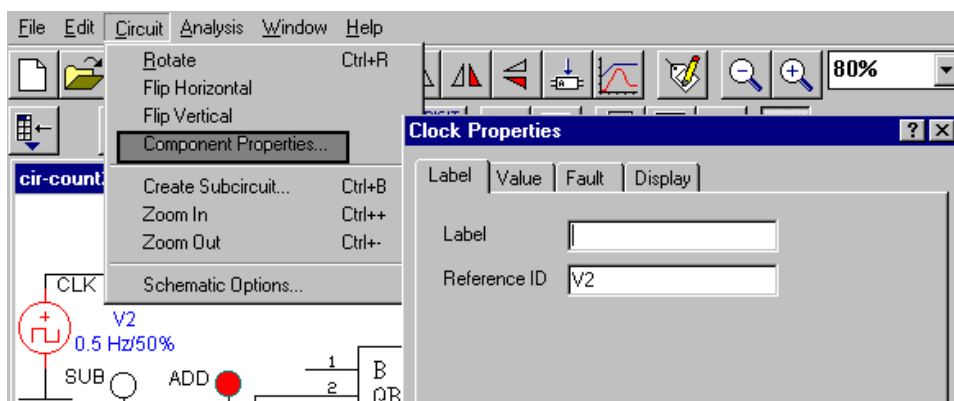


Рис. 1.2. Діалогове вікно команди Component Properties (закладка Label) для генератора синхросигналів Clock

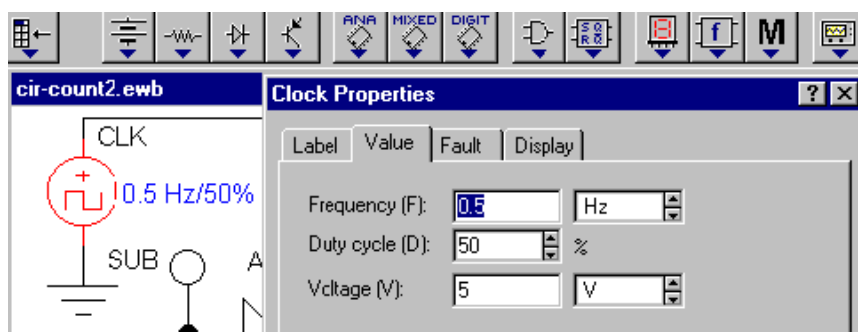


Рис. 1.3. Діалогове вікно команди Component Properties (закладка Value)

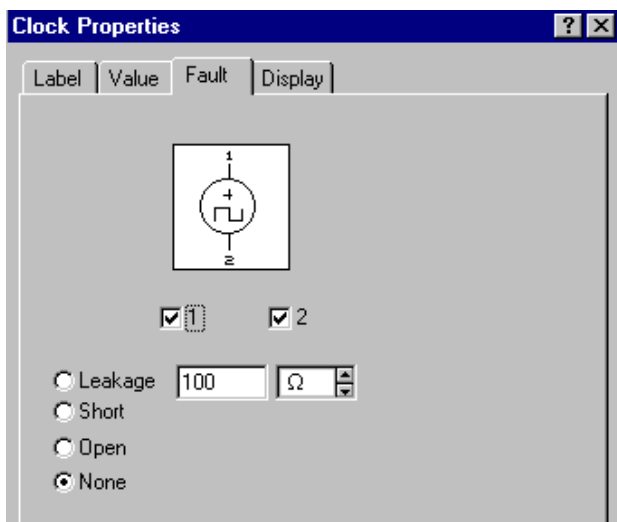


Рис. 1.4. Діалогове вікно команди Component Properties (закладка Fault)

Вибираючи закладку Fault (дефект, несправність, рис. 1.4), задаються умови моделювання для цього компонента у вигляді набору опцій на кожен вивід, що дає змогу вибірково імітувати ту або іншу несправність: Leakage – опір втрат; Short – коротке замикання; Open – обрив; None – несправність відсутня (ввімкнено за замовчуванням). Наприклад, якщо потрібно імітувати порушення контакту виводу 1 генератора Clock, то в цьому випадку включаються опції 1 і Open.

Діалогове вікно під час вибору закладки Display використовується для задання характеру виводу на екран позначень компонента. Вибираючи опцію Use Schematic Options global setting, використовуються установки, прийняті для всієї схеми, в іншому випадку використовується індивідуальне налаштування виводу на екран позиційного позначення (Show reference ID), номінального значення (Show values) для кожного компонента. Деякі компоненти (наприклад, резистори) мають діалогове вікно для закладки Analysis Setup (рис. 1.5), що дає змогу встановити температуру для кожного компонента індивідуально або використовувати її номінальне значення, прийняте для всієї схеми (Use global temperature).

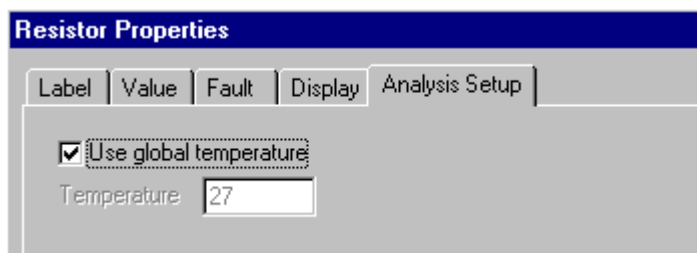


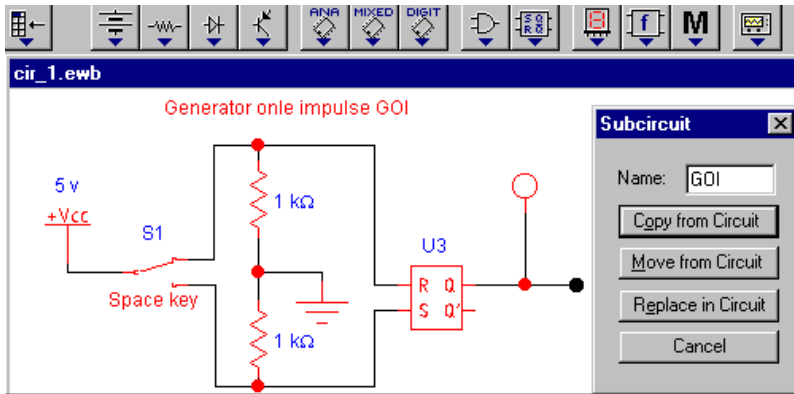
Рис. 1.5. Діалогове вікно команди
Component Properties (зкладка Analysis Setup)

Subcircuit... (CTRL+ B) – перетворення попередньо виділеної частини схеми на підсхему. Виділювана частина схеми повинна бути розташована так, щоб у виділену область не потрапили провідники і компоненти, які до неї не належать. У результаті виконання команди відкривається діалогове вікно (рис. 1.6, а), в рядку Name якого вводиться ім'я підсхеми, після чого можливі такі варіанти:

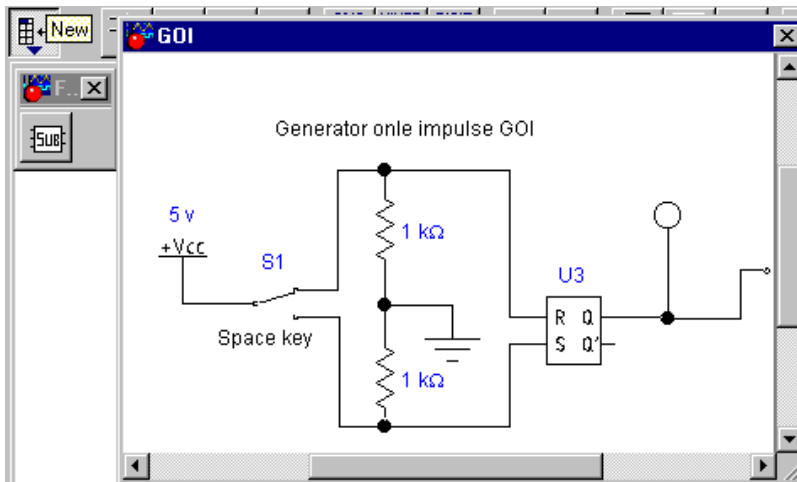
Copy from Circuit – підсхема копіюється з вказаною назвою в бібліотеку Favorites без внесення змін у вихідну схему (рис. 1.6, б);

Move from Circuit – виділена частина вирізається із загальної схеми та у вигляді підсхеми з привласненим їй ім'ям копіюється в бібліотеку Favorites;

Replace in Circuit – виділена частина замінюється у вихідній схемі підсхемою з присвоєним їй ім'ям з одночасним копіюванням її в бібліотеку Favorites.



a




б

Рис. 1.6. Створення підсхеми:

- а – використання команди *Subcircuit* для виділеної частини схеми;
 б – створення підсхеми з ім'ям *GOI* і копіюванням її в бібліотеку *Favorites*

Для перегляду або редагування підсхеми потрібно двічі клікнути мишею по її значку. Редагування підсхеми виробляється за загальними правилами редагування схем. Під час створення додаткового виводу підсхеми необхідно з відповідної точки підсхеми курсором миші протягнути провідник до краю вікна підсхеми до появи незафарбованої прямокутної контактної області, після чого відпустити ліву кнопку миші. Для видалення виводу необхідно курсором миші схопитися за його прямокутну ділянку біля краю вікна підсхеми і винести її за межі вікна. Проте введення в підсхему “землі” не завжди доцільно, оскільки за великої кількості таких підсхем сповільнюється моделювання основної схеми. Команди масштабування схеми: збільшення **Zoom In** і зменшення **Zoom Out** з вказанням масштабу в

діапазоні 50–200 %. Ці команди можуть бути виконані також за допомогою мнемонічних засобів зі стандартним позначенням 

5. Команда Schematic Options (схематичні опції) встановлює опції, що визначають зображення досліджуваної схеми на робочому столі Workbench, враховуючи її текстове оформлення. Виконання команди призводить до появи діалогового вікна з декількома закладками.

Закладка Grid (Сітка) містить опцію Show grid – показувати сітку для зручності малювання схеми (за замовчуванням ця опція вимкнена, інші включені). Дана опція активна тільки при включеній опції Use grid – використовувати сітку. На жаль, розміщення компонентів схеми і прокладання її провідників відбувається без їхньої прив'язки до вузлів сітки. Закладка Show/Hide (показати, сховати) містить такі опції (рис. 1.7):

- Show labels – показувати позиційні позначення компонентів, наприклад, R1, R2 для резисторів (опція активна за ввімкненої опції Show reference ID);
- Show models – показувати імена моделей компонент, наприклад, типів транзисторів;
- Show values – показувати номінали компонент, наприклад, опори резисторів.
- Show nodes – показувати нумерацію вузлів або точок з'єднання провідників;
- Autohide part bins – за замовчуванням не показувати склад бібліотеки компонент, що використовується в цій схемі;
- Keep parts bin positions – зберігати положення використовуваної бібліотеки компонент на екрані під час оформлення схеми. Зазвичай вибір нової бібліотеки компонентів призводить до виключення попередньої; для збереження на екрані відразу декількох бібліотек, їх необхідно рознести по екрані, у такому разі їхнє розташування під час вибору нової бібліотеки залишиться незмінним.

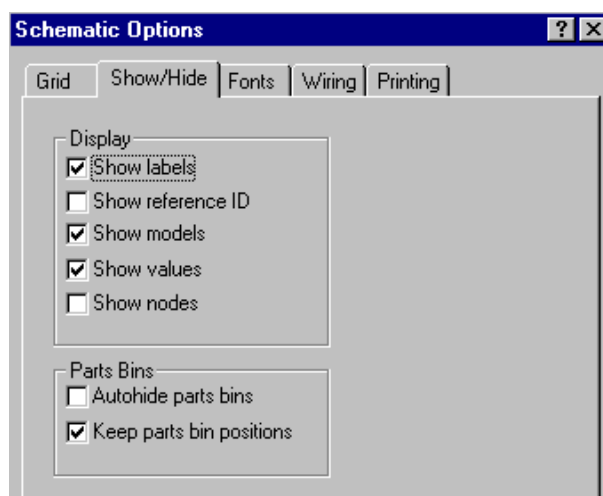


Рис. 1.7. Вікно закладки Show/Hide

• Вибираючи закладку Fonts, можна встановити тип (Font name) і розмір (Font size) шрифту роздільно для позначення компонента (кнопка Set label font) і номінального значення його параметра (кнопка Set value font). Як приклад на рис. 1.8 показано вікно установки типу та розміру шрифту позначення компонента.

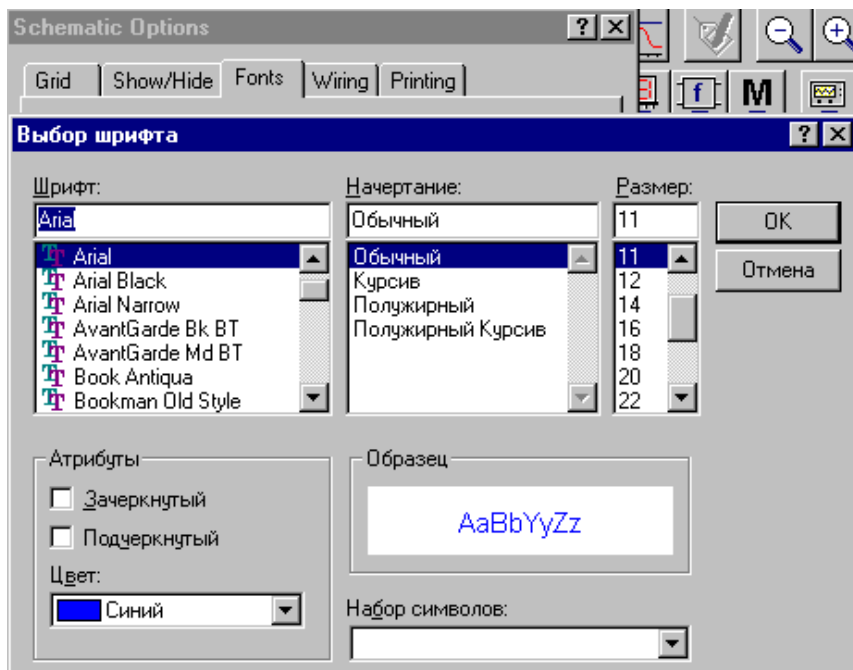


Рис. 1.8. Вікно команди Schematic Options, закладка Fonts

- Опції закладки Wiring, показаної на рис. 1.9, визначають:
 - принцип прокладки провідників на схемі та організацію їхніх взаємних з'єднань (Routing options);
 - видалення провідників (Rewiring options) і з'єднань (Auto-delete connectors – автоматичне видалення невикористовуваних з'єднань, наприклад, дублюють один одного).
- У закладці Printing встановлюється масштабування виведеної на принтер інформації, а також характер формування сторінок для друку:
 - Use visual page breaks for main workspace – візуальне розмежування на сторінки всієї схеми робочого простору;
 - Use visual page breaks for subcircuits – візуальне призначення сторінки для підсхем.

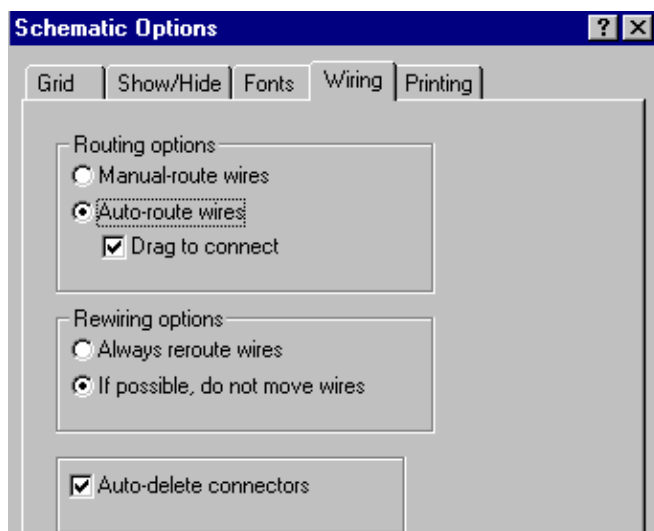


Рис. 1.9. Вікно команди Schematic Options, закладка Wiring

1.4. Меню Analysis

Команди меню Analysis визначають характер і вид моделювання досліджуваної схеми в програмі EWB 5.12. Перші три команди меню призначені для керування моделюванням та дублюються станом спеціальної кнопки, розташованої в правому верхньому куті екрана. Стан кнопки змінюється клацанням лівої кнопки миші. Відповідність між станом кнопки і командами меню відображено на рис. 1.11.

Activate (CTRL + G) – запуск моделювання.

Stop (CTRL + T) – зупинка моделювання.

Pause (F9) – переривання моделювання. Поновлення моделювання здійснюється клацанням по затемненій панельці Resume, при цьому кнопка переходить у стан, відповідний процесу моделювання, а на панельці з'являється напис Pause. Хід дійсного часу моделювання відображається в рядку стану в нижній частині екрана програми. Перервати моделювання можна черговим клацанням миші;

– Use visual page breaks for subcircuits – візуальне призначення сторінки для підсхем.

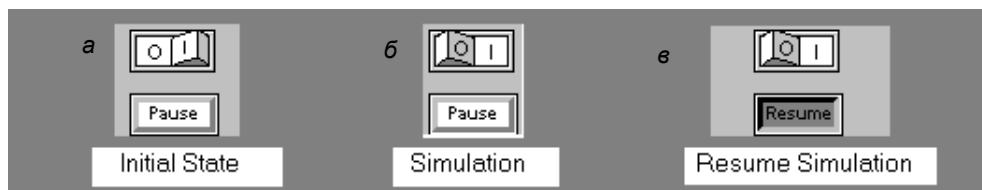





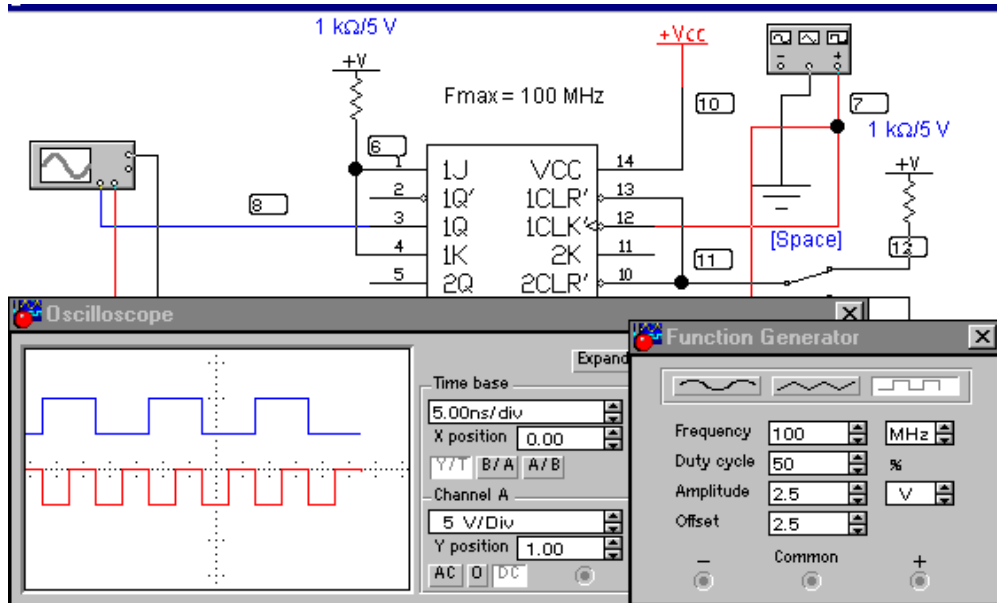
Рис. 1.10. Керування моделюванням за допомогою кнопки на інструментальній панелі EWB: а – команда **Stop**; б – команда **Activate**; в – команда **Pause**

Команда Display Graph – цією командою викликаються на екран графіки результатів виконання однієї з команд моделювання Analysis. Якщо під час моделювання використано кілька команд цього меню, то результати їх виконання накопичуються і відображаються у вікні Analysis Graphs (див. рис. 1.11) у вигляді закладок з назвою команд, які можуть переміщатися кнопками, розташованими в правому верхньому куті вікна. Це дає змогу оперативного переглядати результати моделювання без його повторного проведення. Зазначимо, що виклик команди відбувається автоматично під час виконання першої ж команди з меню Analysis. Якщо в схемі використовується осцилограф, то після запуску моделювання і попередньо встановленої команди Display Graph, в її вікні з'являється закладка Oscilloscope із зображенням осцилограми. Одночасно графічна інформація виводиться також і на основні прилади. Викликати вікно

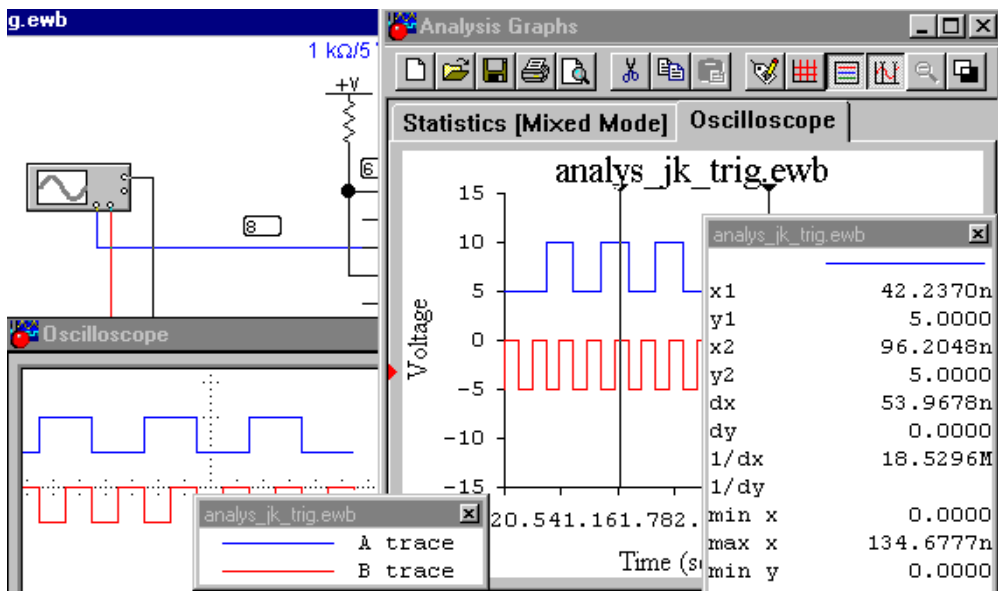
Analysis Graphs можна також за допомогою кнопки , розташованої на інструментальній панелі. Якщо після закінчення моделювання на власній інструментальній панелі цього вікна активізувати кнопки Toggle Cursor (вивести числові дані)  і ToggleLegend (вивести позначення досліджуваних точок)

, то на графіку осцилограми з'являться дві візирні лінійки, переміщення яких курсором миші дає змогу отримати точні значення параметрів, позначених у вікні – ярлику (рис. 1.11, б). До цих параметрів належать: значення часу x_1 і x_2 в точках установки першої та другої візирних лінійок, амплітуди сигналів y_1 і y_2 (без урахування їх зсувів на екрані двопроменевого осцилографа), різниця зазначених параметрів і їх зворотні величини (dx , dy , $1/dx$, $1/dy$), а також їх мінімальні і максимальні значення. Вікно – ярлик з виведеними параметрами переключається з графіка на графік клацанням миші.

Можливі прийоми роботи з вікном Analysis Graphs на цьому не вичерпуються. Характерна особливість використання цього вікна полягає в тому, що якщо під час моделювання встановлений у вікні часовий діапазон для зображення осцилограм досліджуваних змінних закінчується, то часовий масштаб автоматично зменшується удвічі під час збереження результатів моделювання в попередній часовий період. За наступного досягнення правої часової межі цей процес повторюється. Після закінчення моделювання потрібну область однієї або декількох осцилограм можна розглянути детально в збільшеному масштабі, виконавши виділення відповідної ділянки графіка. Виділення проводять звичайним чином – протягуванням курсора за натиснутої лівої кнопки миші. Збільшення потрібної ділянки осцилограми можна повторювати неодноразово до отримання потрібного ефекту.



а



б

Рис. 1.11. Вікно **Analysis Graphs**:
 а – Робоче вікно зі схемою моделювання JK – тригера;
 б – результати моделювання (осцилограми)

2. Створення схем

У цьому розділі розглядають підготовку схем, склад бібліотек компонент EWB 5.12 та їхні характеристики:

2.1. Технологія підготовки схем

Перш ніж створювати креслення принципової схеми засобами програми EWB, необхідно на аркуші паперу підготувати її ескіз зі зразковим розташуванням компонентів і з урахуванням можливості оформлення окремих фрагментів у вигляді підсхем.

Загалом створення схеми починається з розміщення на робочому полі EWB компонентів з бібліотек програми відповідно до підготовленого ескізу.

2.2. Група Favorites – допоміжні компоненти

У розділі Favorites програми EWB 5.12 розміщуються підсхеми, якщо вони є в цій схемі (в початковому стані розділ порожній), а також усі бібліотечні компоненти попередніх версій EWB у разі імпорту з цієї версії схемних файлів. Програма автоматично заповнює розділ моделями компонент або підсхем здійснюється одночасно із завантаженням схемного файлу і очищається після закінчення роботи з ним.

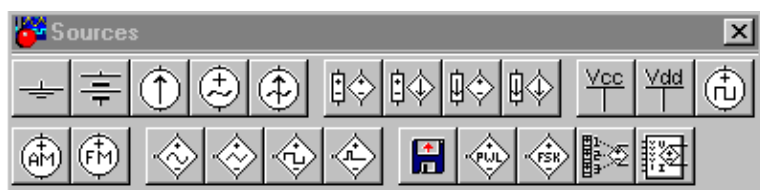
2.3. Група Sources – джерела сигналів

Група компонентів Sources представлена на рис. 2.1, а. Зауважимо, що під джерелами сигналів маються на увазі не тільки джерела живлення, а й керовані джерела. У цифровому моделюванні здебільшого використовують такі елементи: земля (Ground), батарея (Battery), джерело постійної напруги 5v (Vcc Voltage Source), джерело довільної постійної напруги (Vdd Voltage Source), джерело синхросигналів довільної форми (Clock).

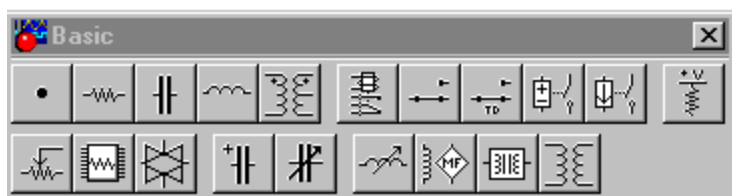
2.4. Група Basic – пасивні компоненти і комутаційні пристрої

Група компонент Sources подана на рис. 2.1, б. Для цифрового моделювання найважливішими є:

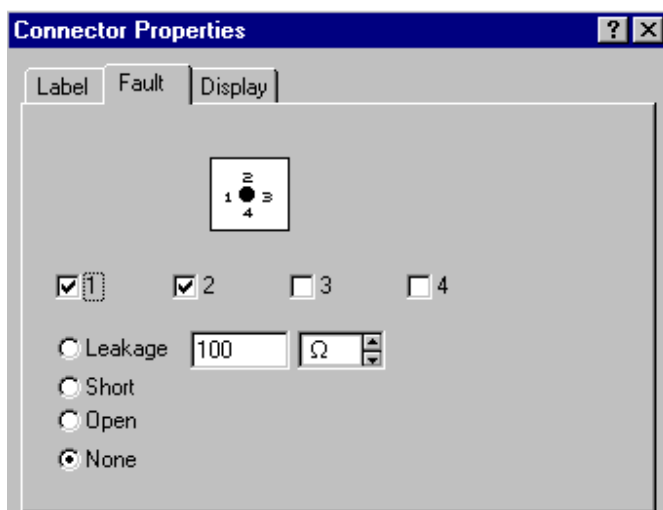
– точка з'єднання (Connector). Її параметри можна задавати за допомогою діалогового вікна на рис. 2.2. Вона може бути наділена такими властивостями, як відсутність (Open) з'єднання між провідниками, під'єднаними до неї з відповідного боку (цифри 1, 2, 3 і 4 на рис. 2.16 визначають кількість і напрямок з'єднаних провідників). Наприклад, за увімкнених опцій 1, 2 і Open між провідниками, під'єднаними зі сторін 1 і 2, не буде електричного з'єднання.



а



б

Рис. 2.1. Бібліотека компонент: а – розділ **Sources**; б – розділ **Basic**Рис. 2.2. Вікно установки параметрів точки з'єднання (*Connector*)

- резистор (Resistor), конденсатор (Capacitor), поляризований або електролітичний конденсатор (Polarized Capacitor);
- перемикач (Switch), керований натисканням заданої клавіші клавіатури (за замовчуванням – клавіша пробілу). У схемі можна використати довільне число таких перемикачів, що перемикаються як синхронно (керованих тією самою клавішею), так і асинхронно (керованих індивідуальними клавішами);
- джерело постійної напруги Pull-Up Resistor з послідовно ввімкненим резистором. У цифрових схемах використовується під час моделювання сигналу лог. “1”.

2.5. Діоди і транзистори

Ці групи (рис. 2.3) охоплюють усі використовувані на практиці типи діодів і транзисторів.

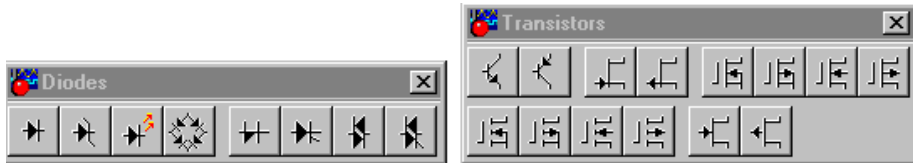


Рис. 2.3. Бібліотека компонент – діоди і транзистори

2.6. Група Indicators – індикаторні пристрої

До групи входять (рис. 2.4): вольтметр і амперметр з цифровим відліком, лампа розжарювання (Buld), світлоіндикатор логічних рівнів (Red Probe), семи-сегментний індикатор (Seven-Segment Display), семисегментний індикатор з дешифратором (Decoder SSD), зумер (Buzzer), лінійка з десяти автономних світлодіодів (Bargraph Display) і з вбудованим АЦП (Decoder BD).

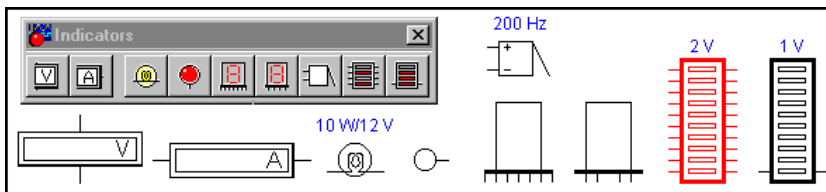


Рис. 2.4. Меню розділу Indicators

3. Контрольно-вимірювальні прилади

Панель контрольно-вимірювальних приладів EWB 5.12 (рис. 3.1) містить: – цифровий мультиметр, функціональний генератор, двоканальний осцилограф, вимірник амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик, генератор слів (кодовий генератор), 16-канальний логічний аналізатор і логічний перетворювач.

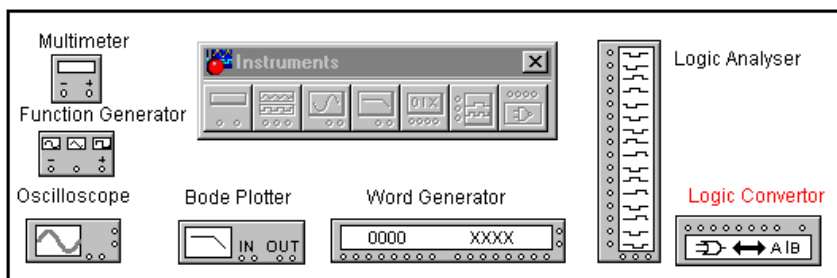


Рис. 3.1. Панель контрольно-вимірювальних приладів

Загальний порядок роботи з приладами такий: іконка приладу курсором переноситься на робоче поле і під'єднується провідниками до досліджуваної схеми. Щоб надати приладу розгорнутого стану необхідно двічі клацнути курсором по його іконці. Розглянемо кожен прилад детально.

3.1. Мультиметр (Multimeter)

На лицьовій панелі мультиметра (рис. 3.2) розташований дисплей для відображення результатів вимірювання, клема для під'єднання до схеми і кнопки керування. Після натискання на кнопку Settings (режим установки параметрів) відкривається діалогове вікно Multimeter, на якому позначені:

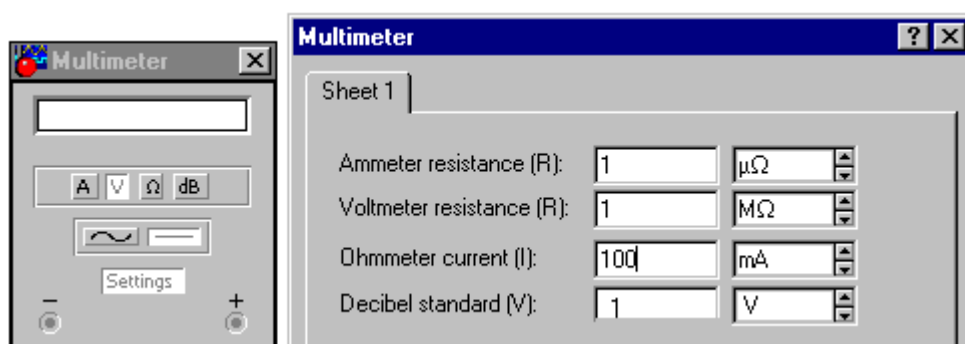


Рис. 3.2. Лицьова панель мультиметра і вікно установки його режимів

- <A>, <V>, <Ω>, <dB> – вибір режиму вимірювання струму, напруги, опору і згасання;
- <-> <-> – Вибір режиму вимірювання змінного або постійного струму;
- Ammeter resistance – внутрішній опір амперметра;
- Voltmeter resistance – вхідний опір вольтметра;
- Ohmmeter current – струм через контрольований об'єкт;
- Decibel standard – установка еталонної напруги V під час вимірювання згасання або підсилення в децибелах (за замовчуванням $V_1 = 1$ В). Для коефіцієнта передачі використовується формула: K [Дб] = $20 \log (V_2 / V_1)$, де V_2 – напруга в контрольованій точці. Наведемо приклад використання мультиметра в режимі dB. Припустимо, що необхідно виміряти коефіцієнт передачі аудіопідсилювача на частоті 20 кГц. Для цього до його входу під'єднаємо джерело змінної синусоїдної напруги частотою 20 кГц і напругою $V_1 = 1$ В, а до виходу – мультиметр. Припустимо далі, що в режимі вимірювання напруги отримана величина вихідної напруги $V_2 = 100$ В. Отже, коефіцієнт передачі підсилювача $K = V_2 / V_1 = 100$. Переведемо мультиметр у режим dB, тоді отримаємо значення коефіцієнта

підсилення в децибелах $K [dB] = 20 \log 100 = 40$ дБ. Припустимо далі, що частота вхідного сигналу збільшена до 100 кГц і отримана напруга на виході підсилювача $V_2 = 0,1$ В, тобто коефіцієнт передачі в цьому разі становить $K = 0,1 / 1 = 0,1$. У режимі dB мультиметр виміряє $K [dB] = 20 \log 0,1 = -20$ дБ. Зазначимо, що мультиметр вимірює ефективне (діюче) значення змінного струму.

3.2. Функціональний генератор (Function Generator)

Лицьова панель генератора показана на рис. 3.3. Керування генератором здійснюється такими органами керування:

- вибір форми вихідного сигналу: синусоїдної, трикутної та прямокутної;
- установка частоти (Frequency) вихідного сигналу;

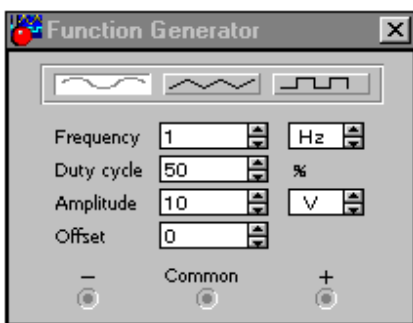


Рис. 3.3. Лицьова панель функціонального генератора

- установка коефіцієнта заповнення (Duty Cycle) у %: для імпульсних сигналів – це відношення тривалості імпульсу до періоду повторення – величина, зворотна до шпаруватості, для трикутних сигналів – співвідношення між тривалостями переднього і заднього фронтів;

- установка амплітуди (Amplitude) вихідного сигналу;

- установка зміщення (Offset) вихідного сигналу;

- вихідні затискачі; під час заземлення клеми COM (загальний) на клеммах “-” і “+” отримуємо парафазний сигнал.

3.3. Осцилограф (Oscilloscope)

Лицьова панель осцилографа, показана на рис. 3.4.

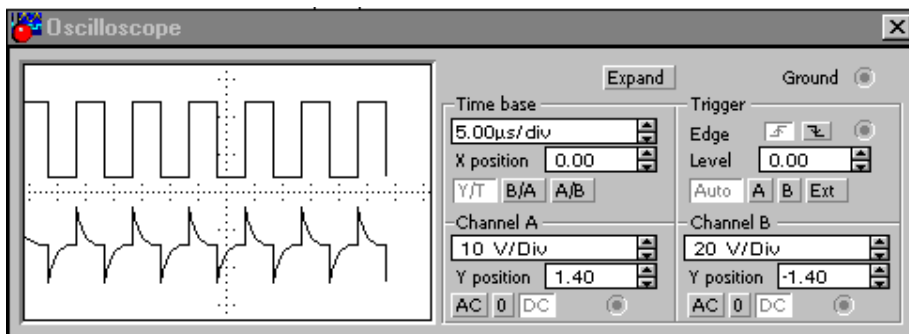


Рис. 3.4. Лицьова панель осцилографа

Осцилограф має чотири вхідні затискачі. Верхній правий затискач – загальний (Ground). Нижній правий – вхід синхронізації, його призначення буде розглянуто нижче. Лівий і правий нижні затискачі є відповідно вхід каналу А (channel A) і вхід каналу В.

Налаштування осцилографа. Для проведення вимірювань осцилограф потрібно налаштувати, для чого треба задати:

- розташування осей, за якими відкладається сигнал;
- потрібний масштаб розгортки по осях;
- зміщення початку координат по осях;
- режим роботи по входу: закритий чи відкритий;
- режим синхронізації: внутрішній чи зовнішній.

Налаштування осцилографа виробляється за допомогою полів керування, розташованих на панелі керування.

Панель керування має загальний для обох модифікацій осцилографа вигляд і розділена на чотири поля керування:

- поле керування горизонтальною розгорткою (масштабом часу);
- поле керування синхронізацією (запуском);
- поле керування каналом А;
- поле керування каналом В.

Керування масштабом часу слугує для задання масштабу по горизонтальній осі осцилографа під час спостереження напруги на входах каналів А і В залежно від часу. Часовий масштаб задається в с / под, мс / под, мкс / под, нс / под (s / div, ms / div, μ s / div, ns / div відповідно). Величина однієї поділки може бути встановлена від 0,1 нс до 1 с. Масштаб може дискретно зменшуватися або збільшуватися на один крок клацаннями мишею на кнопці праворуч від поля. Щоб отримати зручне для спостереження зображення на екрані осцилографа, встановіть масштаб часу так, щоб ціна двох поділок на горизонтальній осі приблизно становила період сигналу. Наприклад, якщо Ви хочете дослідити сигнал з частотою 1 кГц, встановіть масштаб часу 0,05 ms. Під час аналізу роботи схеми нерідко виникає необхідність уповільнити моделювання, щоб на екрані осцилографа було зручно візуально сприймати інформацію (наприклад, під час дослідження перехідних процесів або коли в ході експерименту потрібно здійснити будь-які переключення). Для цього потрібно збільшити мінімальну кількість розрахункових точок на цикл (період спостереження). Це можна зробити, виконавши команду Analysis> Analysis Options> Instruments, встановивши в рядку Minimum number of time points (зазвичай досить 5000 точок). За замовчуванням кількість точок – 100. Полегшити аналіз осцилограм може увімкнення режиму Pause after each screen (пауза після кожного екрана). У цьому

режимі розрахунок (моделювання) схеми зупиняється після того, як промінь осцилографа проходить весь екран. Це часто буває необхідним у разі труднощів із синхронізацією зображення на екрані осцилографа. Щоб продовжити розрахунок (моделювання) схеми, клацніть мишею по полю Resume (продовжити) кнопки керування моделюванням або натисніть клавішу F9 на клавіатурі. За допомогою кнопок, розташованих у полі рядка X-POS, можна дискретно зрушувати початок осцилограми по горизонтальній осі. У цьому ж полі розташовані три кнопки (<Y / T>, <A / B>, <B / A>), що дають змогу задавати тип залежності відображуваних сигналів. Під час натискання на кнопку <Y / T> по вертикальній осі відкладається напруга, по горизонтальній осі – час, під час натискання на кнопку <A / B> по вертикальній осі відкладається амплітуда напруги на вході каналу А, по горизонтальній осі напруга каналу В, а під час натискання на кнопку <B / A> – навпаки. Масштаб осей визначається установками відповідних каналів. У режимах А / В і В / А можна спостерігати частотні та фазові зрушення (фігури Ліссажу), петлі гістерезису, вольтамперні характеристики тощо.

Керування каналами А і В. Дві нижні частини панелі осцилографа є полями керування відображенням сигналів, поданих на входи каналів А і В відповідно. Верхнє вікно в полі дає змогу керувати масштабом осі відображуваної напруги по вертикальній осі. Ціна поділки може дискретно встановлюватися від 10mv / div до 5 kv / div. Масштаб для кожної осі встановлюється окремо. Щоб отримати зручне для роботи зображення на екрані осцилографа перед початком експерименту, встановіть масштаб, що відповідає очікуваній напрузі. Наприклад: під час подачі на вхід змінного сигналу амплітудою 3 вольти встановіть масштаб вертикальної осі Y – 1V / div.

Нижче розташоване поле, яке дає змогу дискретно зсувати вісь X догори або донизу. Для того, щоб розвести зображення від каналів А і В, скористайтеся зсувом по осі Y <Y-POS> для одного або двох каналів.

Три нижні кнопки реалізують різні режими роботи входу осцилографа по входу. Режим роботи осцилографа із закритим входом встановлюється натисканням на кнопку <AC>. У цьому режимі на вхід не пропускається постійна складова сигналу. Під час натискання на кнопку <DC> осцилограф переходить у режим із відкритим входом. У цьому режимі на вхід осцилографа пропускається як постійна, так і змінна складова сигналу. Під час натискання на кнопку <0> вхід осцилографа з'єднується із загальним висновком осцилографа, що дає змогу визначити положення нульової позначки по осі Y.

Керування синхронізацією. Верхнє праве поле керування TRIGGER визначає момент початку відображення осцилограми на екрані осцилографа. Кнопки в рядку EDGE задають момент запуску осцилограми по фронту або по зрізу імпульсу на вході синхронізації. Поле LEVEL дає змогу задавати рівень, у разі перевищення

якого відбувається запуск осцилограми. Значення рівня можна зсунути на 3 поділки донизу або догори. Осцилограф має чотири режими синхронізації:

- Автоматичний режим (AUTO) – запуск осцилограми проводиться автоматично під час під'єднання осцилографа до схеми або під час її ввімкнення. Коли “промінь” доходить до кінця екрана, осцилограма знову прописується з початку екрана (новий екран).
- Режими запуску по входу <A> або , у яких сигналом запуску є сигнал, що надходить на відповідний вхід.
- Режим “Зовнішній запуск” (EXT – external). У цьому випадку сигналом запуску є сигнал, що подається на вхід синхронізації.

Порада: якщо Ви не бачите сигналу на осцилографі або сигнал слабкий – натисніть кнопку AUTO.

Розширена модифікація осцилографа. Натискання клавіші <Expand> на панелі простої моделі відкриває вікно розширеної моделі осцилографа (рис. 3.5). Панель розширеної моделі осцилографа доповнена трьома інформаційними таблицями, на які виводяться результати вимірів. Крім того, безпосередньо під екраном розміщена лінійка прокручування, що дає змогу спостерігати будь-який часовий відрізок процесу від моменту увімкнення до моменту вимкнення схеми. По суті, розширена модель осцилографа – зовсім інший прилад, що дає змогу набагато зручніше і точніше проводити числовий аналіз процесів.

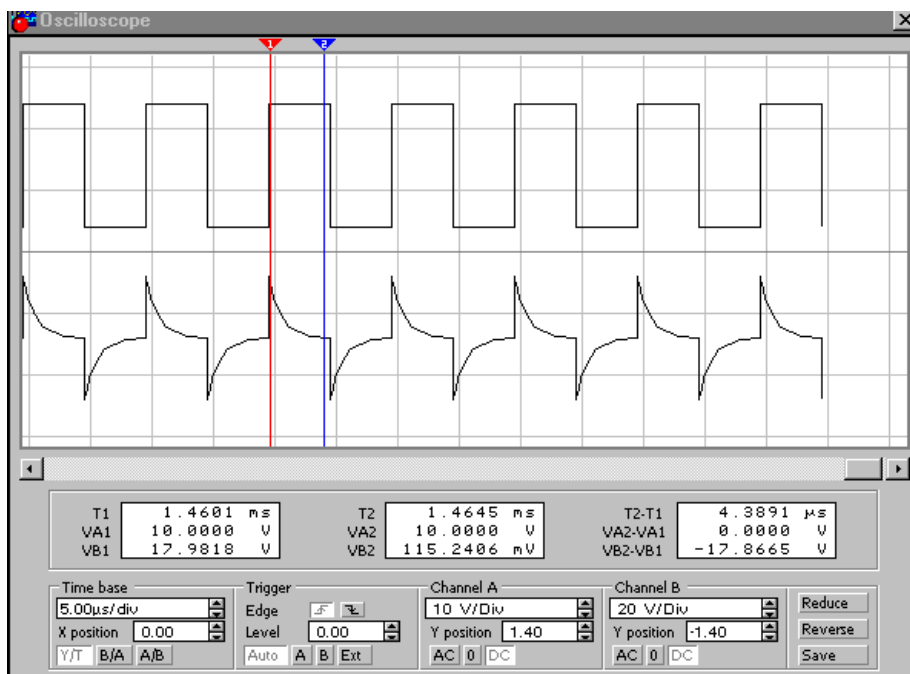


Рис. 3.5. Лицьова панель осцилографа в режимі Expand

На екрані осцилографа розташовані два маркери, що позначаються 1 і 2, за допомогою яких можна виміряти миттєві значення напруг у будь-якій точці осцилограми. Для цього просто перетягніть мишею маркери за трикутники в їхній верхній частині в необхідне положення. Координати точок перетину першого маркера з осцилограмами відображаються на лівому табло, координати другого маркера – на середньому табло. На правому табло відображаються значення різниць між відповідними координатами першого і другого маркерів. Результати вимірювань, отримані за допомогою розширеної моделі осцилографа, можна записати у файл. Для цього натисніть кнопку Save (зберегти) і в діалоговому вікні введіть ім'я файла. Це текстовий файл у ASCII-кодах, у якому записані дані про значення напруг у точках під'єднання осцилографа через інтервал часу, що дорівнює масштабу горизонтальної розгортки. Щоб повернутися до попереднього зображення осцилографа, натисніть клавішу REDUCE, розташовану в правому нижньому кутку.

Розділ 1
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ТА СИГНАЛІВ
У СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Лабораторна робота № 1
Дослідження лінійного електричного кола змінного струму
з послідовним з'єднанням елементів

Мета роботи: ознайомитись з властивостями електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням резистивного, індуктивного та ємнісного елементів і експериментальне визначення параметрів цих елементів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Увімкнути комп'ютер кнопкою на системному блоці. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик DISco на робочому столі).

1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1, а.

1.4. Дослідити електричне коло з послідовним з'єднанням резистора R_0 і котушки індуктивності (R_k , L_k). Увімкнути джерело живлення змінного струму. Встановити напругу джерела в діапазоні 20–40 В. На екран виведуться часові залежності $u_{R0}(t)$ і $u_k(t)$. У нижній частині екрана [**Загальні параметри сигналів**] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота). Результати експерименту напруги U_{R0} та U_k і часовий зсув між ними $T_2 - T_1$ записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням rk1.bmp. Для визначення кута зсуву фаз між напругою $u_k(t)$ і напругою $u_{R0}(t)$ необхідно за допомогою миші встановити вертикальні маркери 1 (фіолетовий) і 2 (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг $u_{R0}(t)$ і $u_k(t)$ через нуль відповідно. Попередньо у вікні [**Аналогові сигнали**] вибрати [**оброблення**] і увімкнути дію $\underline{A} = -A$. У нижній частині [**Параметри сигналу під маркерами**] отримаємо значення зсуву в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

1.5. Перемкнути виводи пристрою DISco2 згідно зі схемою рис. 1.1, б. На екран виведуться часові залежності $u(t)$ і $u_{R0}(t)$. Результати експерименту – напругу U (канал А) і часовий зсув між напругою $u(t)$ і напругою $u_{R0}(t)$ $T_2 - T_1$ – записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням rk2.bmp. Часовий зсув між напругою $u(t)$ і напругою $u_{R0}(t)$ визначити аналогічно з п. 1.4. Вимкнути джерело живлення.

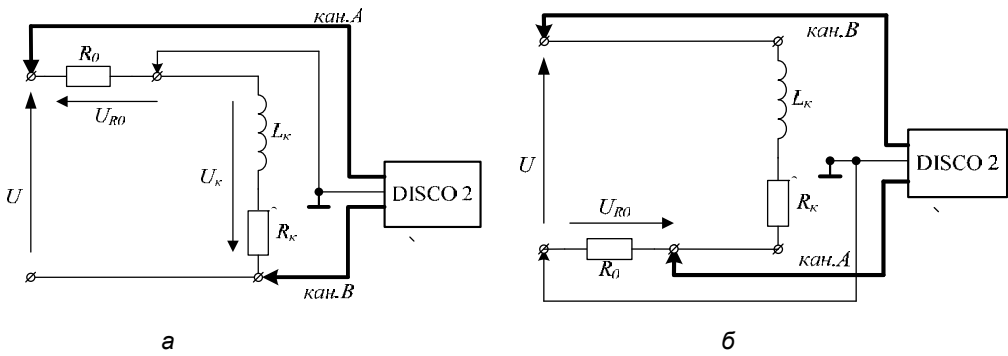


Рис. 1.1. Схема електричного кола R–L

1.6. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2, а. Дослідити електричне коло з послідовним з'єднанням резистора R_0 і конденсатора C .

1.7. Увімкнути джерело живлення змінного струму. На екран виведуться часові залежності $u_{R_0}(t)$ і $u_c(t)$. Результати експерименту напруги U_{R_0} та U_C і часовий зсув між ними T_2-T_1 записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням `gc1.bmp`. Часовий зсув між напругою $u_c(t)$ і напругою $u_{R_0}(t)$ визначити аналогічно до п. 1.4.

1.8. Перемкнути виводи пристрою DISCO2 згідно зі схемою рис. 1.2, б. На екран виведуться часові залежності $u(t)$ і $u_{R_0}(t)$. Результати експерименту напругу U (канал А), часовий часовий зсув між напругою $u(t)$ і напругою $u_{R_0}(t)$ T_2-T_1 записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням `gc2.bmp`. Вимкнути джерело живлення.

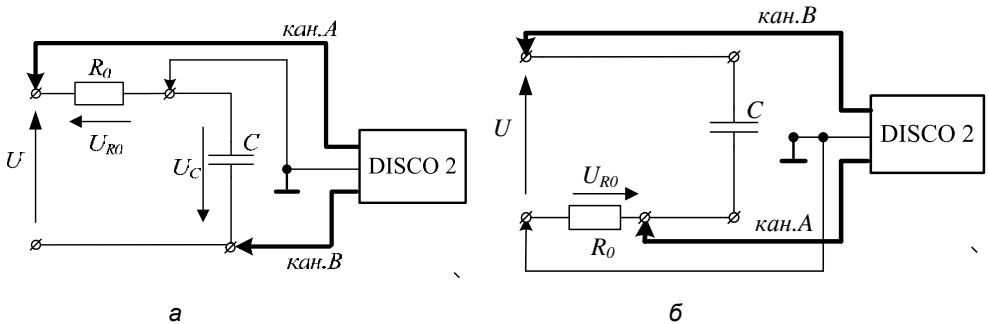
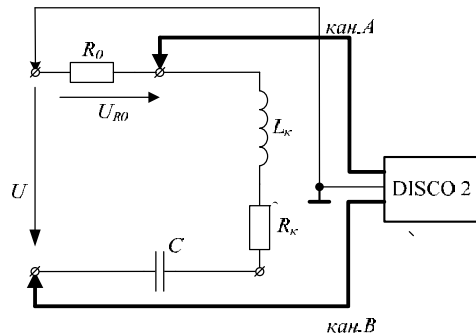


Рис. 1.2. Схема електричного кола R–C

1.9. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.3. Дослідити електричне коло з послідовним з'єднанням резистора R_0 , котушки індуктивності (R_k, L_k) і конденсатора C .

1.10. Увімкнути джерело живлення змінного струму. На екран виведуться часові залежності $u(t)$ і $u_{R0}(t)$. Результати експерименту напруги U та U_{R0} і часовий зсув між ними T_2-T_1 записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням `rlc1.bmp`. Часовий зсув між напругою $u(t)$ і напругою $u_{R0}(t)$ визначити аналогічно до п. 1.4.

Рис. 1.3. Схема електричного кола R–L–C



1.11. Переключити виводи пристрою DISCO2 згідно зі схемою рис. 1.4, а. На екран виведуться часові залежності $u_k(t)$ і $u_{R0}(t)$. Результати експерименту – напругу U_{R0} (канал А) і U_k (канал В) та часовий зсув між ними T_2-T_1 – записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням `rlc2.bmp`.

1.12. Поміняти місцями котушку індуктивності та конденсатор рис 1.4, б. На екран виведуться часові залежності $u_C(t)$ і $u_{R0}(t)$. Результати експерименту напругу U_C (канал А) і U_{R0} (канал В) та часовий зсув між ними T_2-T_1 записати в табл. 1.1 та зберегти файл-фото екрана з розширенням `rlc3.bmp`. Вимкнути джерело живлення.

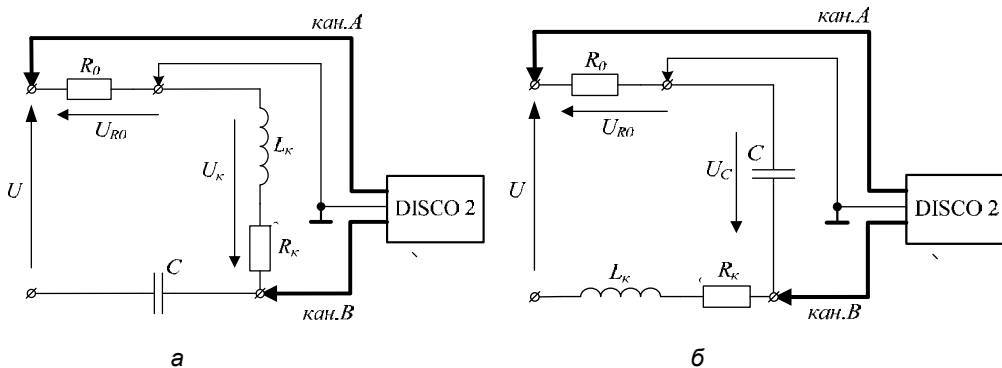


Рис. 1.4. Схема електричного кола R–L–C

Таблиця 1.1

	Схема	Схема експерименту				Один. вим.	
	Параметр	<i>R-L</i> (рис. 1.1)	Параметр	<i>R-C</i> (рис. 1.2)	Параметр		<i>R-L-C</i> (рис. 1.4)
Виміри	R_0					Ом	
	U_{R0}		U_{R0}		U_{R0}	В	
	U_K		U_C		U_K	В	
	U		U		U_C		В
					U		В
T_2-T_1		T_2-T_1		T_2-T_1		мс	
Обчислення	φ		φ		φ	град	
	I		I		I	А	
	Z		Z		Z	Ом	
	R_k		R_C		R_2	Ом	
	X_k		X_C		X_2	Ом	
	L_k			–		–	Гн
		–		C		C	мкФ

1.13. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

1.13.1. За результатами вимірювань обчислити всі вказані в табл. 1.1 величини.

1.13.2. За даними експериментів і відповідних обчислень побудувати векторні діаграми напруг та струмів для резистора, котушки індуктивності, конденсатора, всього кола.

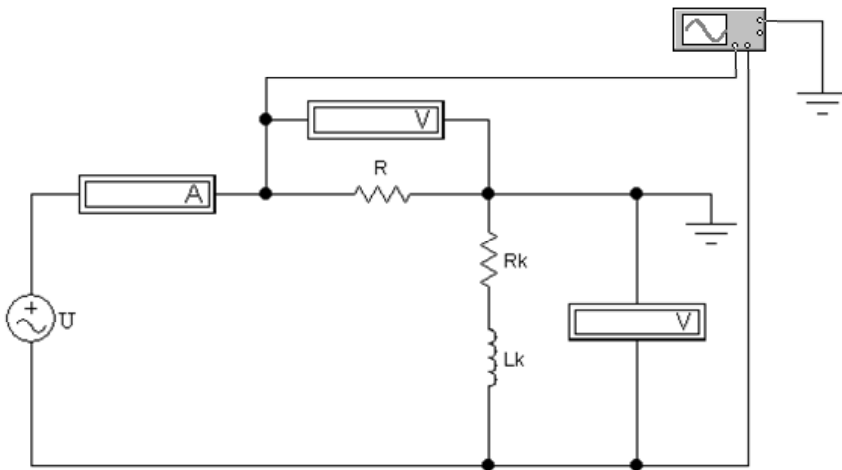
1.13.3. За даними експерименту п. 1.4 обчислити значення реактивної та повної потужності.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

Для виконання віртуального експерименту використовують програмний пакет Multisim Electronics Workbench (EWB). За допомогою його засобів, а саме елементної бази, і вимірювальних інструментів виконують віртуальні експерименти.

2.1. Завантажити програму Electronics Workbench (ярлик WEWB32 на робочому столі). Відкрити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем r11.ewb (рис. 2.1). Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим для досліду послідовного з’єднання *R-L* у табл. 1.1. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і

відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_R(t)$ і $u_K(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, зокрема, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на котушці, а синій – на переході через нуль з додатних на від’ємні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення часового зсуву T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.



2.1. Схема електричного кола R–L
у середовищі Multisim Electronics Workbench

2.2. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем r12.ewb (рис. 2.1). Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що й у п. 2.1. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u(t)$ і $u_R(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, а саме, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги джерела, а синій – на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення часового зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

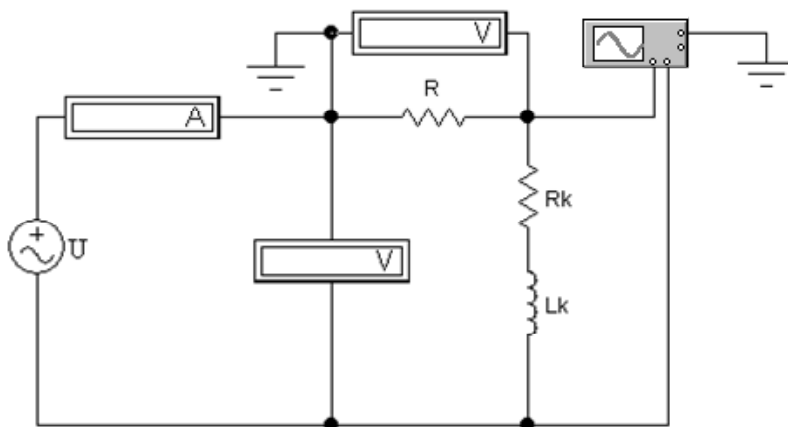


Рис. 2.2. Схема електричного кола R–L в середовищі Multisim Electronics Workbench

2.3. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем gc1.ewb. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим для дослідження послідовного з’єднання R–C у табл. 1.1. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути ту саму кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_R(t)$ і $u_C(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1 Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, зокрема, червоний маркер на переході через нуль з додатних на від’ємні значення синусоїди напруги на резисторі, а синій – на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на конденсаторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

2.4. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем gc2.ewb. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що й у п. 2.3. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u(t)$ і $u_R(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, а саме, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги джерела, а синій – на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

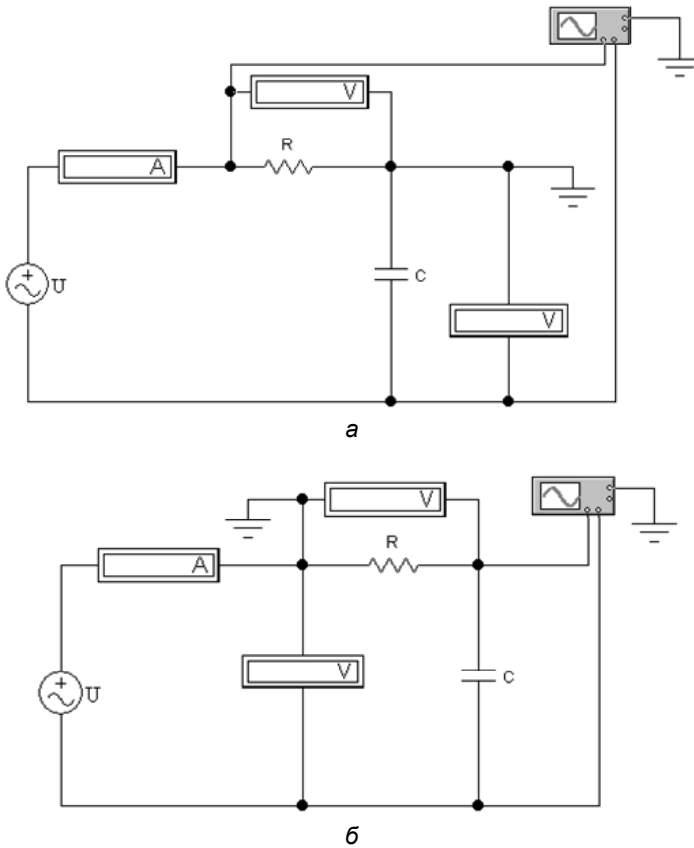


Рис. 2.3. Схема електричного кола $R-C$ в середовищі Multisim Electronics Workbench

2.5. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем rlc1.ewb. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим для дослідження послідовного з’єднання $R-L-C$ у табл. 1.1. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_R(t)$ і $u_C(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, а саме, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на котушці, а синій – на переході через нуль з додатних на від’ємні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразяться значення зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

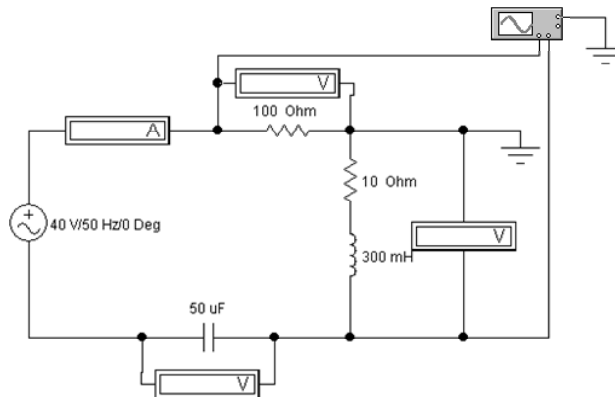


Рис. 2.4. Схема електричного кола R–L–C в середовищі Multisim Electronics Workbench

2.6. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем rlc2.ewb. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що й у п. 2.5. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_R(t)$ і $u_C(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, а саме, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на конденсаторі, а синій – на переході через нуль з додатних на від’ємні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

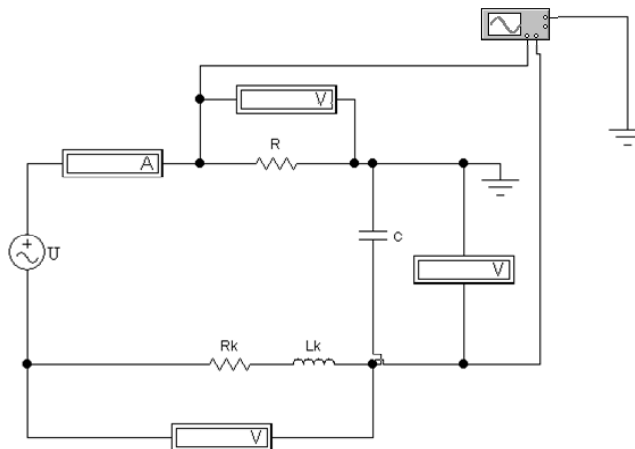


Рис. 2.5. Схема електричного кола R–L–C в середовищі Multisim Electronics Workbench

2.7. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем rlc3.ewb. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що й у п. 2.5. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку вікна програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У вікні “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u(t)$ і $u_R(t)$. Вимірювальні прилади амперметр і вольтметри покажуть діючі значення відповідних величин, які необхідно записати у табл. 2.1. Для вимірювання зсуву фаз необхідно червоний і синій маркери встановити відповідно, а саме, червоний маркер на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги джерела, а синій – на переході через нуль з від’ємних на додатні значення синусоїди напруги на резисторі. У нижній частині вікна з осцилограмами відобразиться значення зсуву фаз T_2-T_1 , яке треба записати у табл. 2.1.

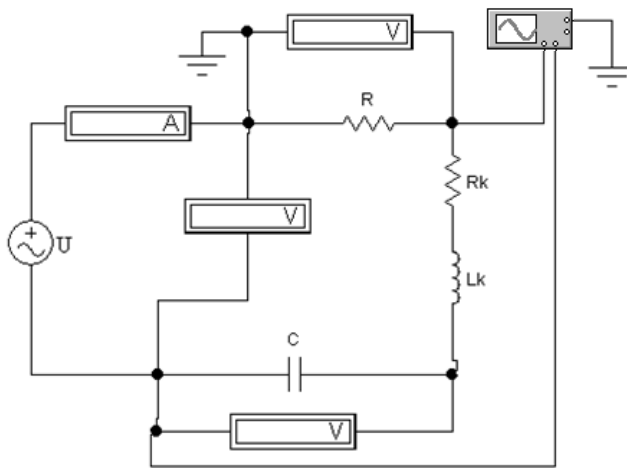


Рис. 2.6. Схема електричного кола R–L–C в середовищі Multisim Electronics Workbench

Таблиця 2.1

Виміри	Схема	Схема експерименту				Один. вим.
	Параметр	R–L (рис. 4.4)	Параметр	R–C (рис. 4.5)	Параметр	
	U_R		U_R		U_R	В
	U_K		U_C		U_K	В
	U		U		U_C	В
					U	В
	T_2-T_1		T_2-T_1		T_2-T_1	мс
	I		I		I	А

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які елементи електричного кола називаються лінійними?
2. Як залежать активний, індуктивний та ємнісний опори від частоти?
3. Чим визначається зсув фаз між напругою та струмом пасивного двополюсника?
4. Як, користуючись значеннями параметрів послідовної заступної схеми двополюсника, обчислити параметри паралельної заступної схеми і навпаки?
5. За допомогою яких вимірювальних приладів можна визначити еквівалентні параметри заступної схеми пасивного електричного кола?
6. Як визначити активну та реактивну складові струму та напруги двополюсника?
7. Як експериментально визначити параметри заступної схеми котушки?

Лабораторна робота № 2

Дослідження лінійного електричного кола змінного струму з паралельним з'єднанням елементів

Мета роботи: експериментально визначити параметри елементів електричного кола змінного струму: резистора, котушки індуктивності, конденсатора; дослідити властивості електричного кола з паралельним з'єднанням цих елементів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

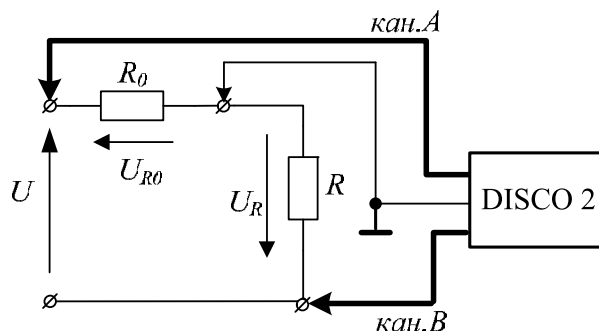
1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Увімкнути комп'ютер кнопкою на системному блоці. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISCO2 (ярлик DISCO на робочому столі).

1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1.

1.4. Дослідити електричне коло з резистором. Увімкнути джерело живлення змінного струму. Встановити напругу джерела в діапазоні 20–40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_R на резисторах R_0 і R та часовий зсув між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Рис. 1.1. Схема електричного кола



1.5. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2. Дослідити електричне коло з котушкою індуктивності.

1.6. Увімкнути джерело живлення змінного струму ~ 40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_K на резисторі R_0 і котушці індуктивності R_K , L_K та часовий зсув між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

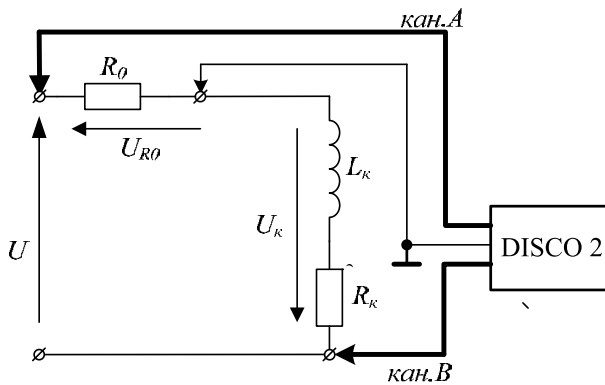


Рис. 1.2. Схема електричного кола

1.7. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.3. Дослідити електричне коло з конденсатором.

1.8. Увімкнути джерело живлення змінного струму ~ 40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_C на резисторі R_0 і конденсаторі C та часовий зсув між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

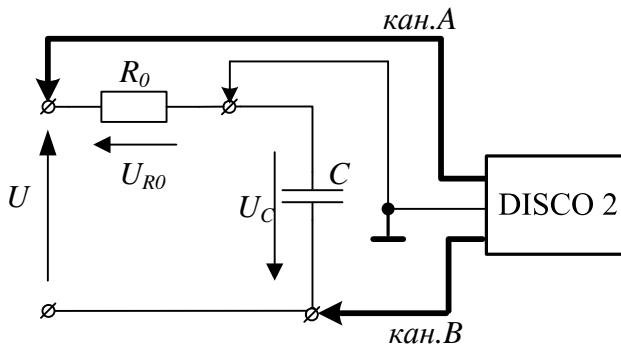


Рис. 1.3. Схема електричного кола

1.9. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.4. Дослідити електричне коло з паралельним з'єднанням резистора, котушки індуктивності і конденсатора.

1.10. Увімкнути джерело живлення змінного струму ~ 40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_{RLC} на резисторі R_0 і на ділянці паралельного з'єднання елементів R, L, C та часовий зсув між ними T_2-T_1 . Виміряти напругу на джерелі, використовуючи один з каналів пристрою DISCO2. Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

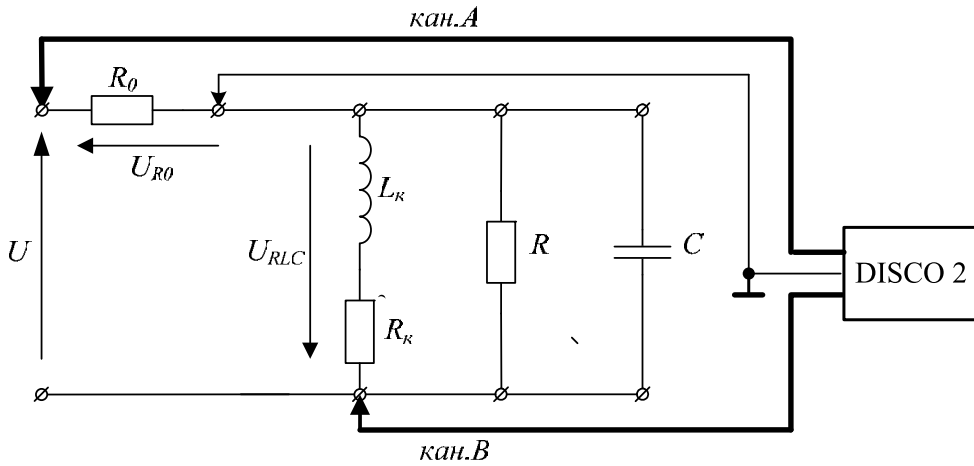


Рис. 1.4. Схема електричного кола

Таблиця 1.1

	Параметр	Один. вим.	Резистор	Котушка індуктивності	Конденсатор	Все коло
Виміри	U_{R0}	В				
	U_{RLC}	В				
	$T_2 - T_1$	мс				
Обчислення	$I = U_{R0} / R_0$	А				
	$\varphi = 360(T_2 - T_1)f$	град				
	Z	Ом				
	R	Ом				
	X	Ом				
	G	См				
	L	Гн	-		-	
	C	мкФ	-		-	
	B	См				
	Y	См				

1.11. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту.

1.11.1. За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1.1 величини.

1.11.2. За даними експериментів і відповідних обчислень побудувати векторну діаграму струмів та трикутник провідностей усього кола.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Завантажити програму Electronic Workbench (ярлик EWB32 на робочому столі). Відкрити файл лаброб5.ewb. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1). Встановити напругу джерела такою, що дорівнює напрузі джерела у фізичному експерименті. Для цього двічі клікнути по джерелу, і у вікні властивостей встановити значення напруги джерела.

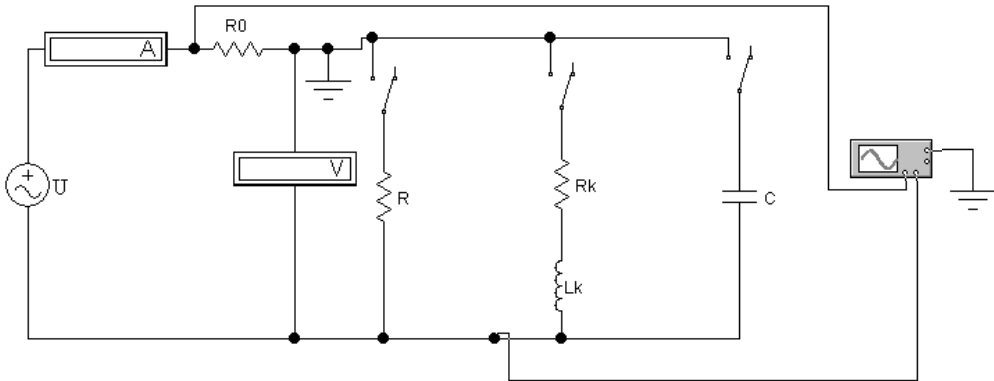


Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.2. Дослідити електричне коло з резистором, для цього натиснути клавішу R на клавіатурі, що зумовить замикання ключа для утворення кола з резистором.

2.3. Встановити параметр резистора, зокрема значення його опору, яке визначено за результатами фізичного експерименту. Для цього двічі клікнути по його зображенню на схемі, і у вікні, що з'явиться, увести необхідне значення.

Встановити амперметр і вольтметр у режим вимірювання змінного струму, клацнувши двічі по відповідному зображенні на схемі й у вікні властивостей вибрати режим AC.

2.4. Натиснути клавішу “Activate simulation” у правому верхньому куті екрана й відразу кнопку Pause. Прилади вольтметр і амперметр відповідно покажуть значення напруги і струму на резисторі. Результати експерименту записати у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

	Параметр	Один. вим.	Резистор	Котушка індуктивності	Конденсатор	Все коло
Вимі-ри	U	В				
	I	А				
	T_2-T_1	мс				

2.5. Дослідити електричне кола з котушкою індуктивності. Для цього натиснути клавішу L на клавіатурі, що викличе замикання ключа для утворення кола з котушкою.

2.6. Натиснути клавішу “Activate simulation” у правому верхньому куті екрана й відразу кнопку Pause. Прилади вольтметр і амперметр відповідно покажуть значення напруги і струму на котушці індуктивності. Результати експерименту записати у табл. 2.1.

2.7. Дослідити електричне кола з конденсатором. Для цього натиснути клавішу C на клавіатурі, що спричинить замикання ключа для утворення кола з конденсатором.

2.8. Натиснути клавішу “Activate simulation” у правому верхньому куті екрана й відразу кнопку Pause. Прилади вольтметр і амперметр відповідно покажуть значення напруги і струму на конденсаторі. Результати експерименту записати у табл. 2.1.

2.9. Дослідити електричне кола з паралельно увімкненими резистором, котушкою індуктивності і конденсатором. Для цього натиснути по чергово клавіші R , L , C на клавіатурі, що зумовить замикання відповідних ключів у схемі електричного кола.

2.10. Натиснути клавішу “Activate simulation” у правому верхньому куті екрана й відразу кнопку Pause. Прилади амперметр і вольтметр відповідно покажуть значення струму у вітці з джерелом і напруги на паралельних вітках з елементами R , L , C . Результати експерименту записати у табл. 2.1.

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як обчислити параметри еквівалентної послідовної заступної схеми, користуючись параметрами паралельних віток?
2. Який режим електричного кола змінного струму називається резонансним?
3. Яка умова резонансу струмів?
4. Як можна досягти резонансу струмів?
5. Як, за показами електровимірювальних приладів, встановити наявність у колі резонансу струмів?
6. Як визначається резонансна частота за паралельного з'єднання віток з котушкою індуктивності та конденсатором?
7. Чи впливає на явище резонансу струмів наявність активного опору у вітці з конденсатором?
8. Яке співвідношення між реактивними потужностями котушки та конденсатора в резонансному режимі?
9. Чому дорівнює струм на вході паралельного електричного контура, яке складається із ідеальної котушки індуктивності та конденсатора?

Лабораторна робота № 3 Дослідження явища резонансу напруг

Мета роботи: експериментально визначити параметри котушки індуктивності та конденсатора для резонансу напруг; дослідити властивості електричного кола за резонансу напруг.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Визначення параметрів реальної котушки індуктивності. Зібрати схему на фізичній моделі згідно з рис. 1.1. Виводи DISCO2 під'єднати згідно зі схемою (канал А – червоний колір, канал В – синій колір).

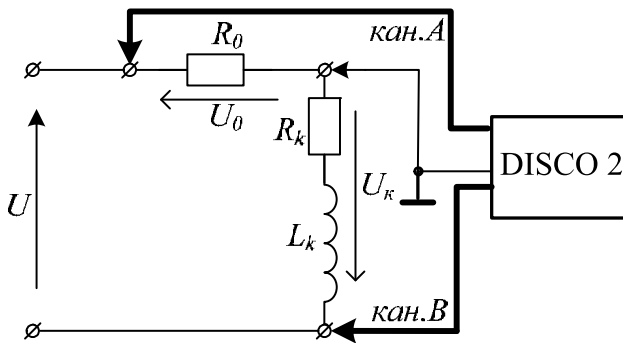



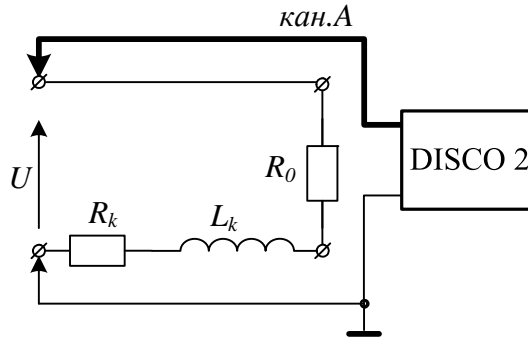
Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.2. Ввімкнути комп'ютер, запустити файл DISCO2. На робочому вікні встановити масштаби напруги каналів А і В однакові. Ввімкнути напругу живлення схеми. Мишкою натиснути кнопку . На екрані виведуться часові залежності $u_0(t)$ і $u_k(t)$. В нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – дійсне значення, F – частота). Дані записати в табл. 1.1. Знаючи опір R_0 , визначаємо струм (опір R_0 заданий) за виразом

$$I = \frac{U_0}{R_0}.$$

1.3. Перемкнути виводи пристрою DISCO2 згідно зі схемою (рис. 1.2), виміряти величину напруги живлення (U) та записати її значення в табл. 1.1.

Рис. 1.2. Схема електричного кола



Таблиця 1.1

U, В	U ₀ , В	U _к , В	I, А	T ₂ – T ₁ , мс	φ, град

1.4. Для визначення кута зсуву фаз між напругою $u_k(t)$ і $i(t)$ необхідно за допомогою мишки встановити маркери 1 (коричневий) і 2 (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і ввімкнути дію $\underline{A} = -A$. В нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зсуву в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

Тоді кут зсуву фаз

$$\varphi = 360^\circ(T_2 - T_1) \cdot F .$$

1.5. Визначаємо параметри котушки за виразами

$$Z_k = \frac{U_k}{I} ; L = \frac{X_k}{\omega} , \text{ де } \omega = 2\pi F \text{ (рад/с)} .$$

$$R_k = Z_k \cdot \cos \varphi ; X_k = Z_k \cdot \sin \varphi .$$

Дані записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

R _к , Ом	L _к , Гн	C, мкФ	U _к , В	U _с , В

1.6. За умови резонансу напруг $X_L = X_C$ визначаємо величину ємності, яку треба ввімкнути послідовно

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} , \text{ тоді } C = \frac{1}{\omega^2 L} .$$

Дані записати в табл. 2.1.

1.7. Скласти схему для дослідження резонансу напруги згідно з рис. 1.3.

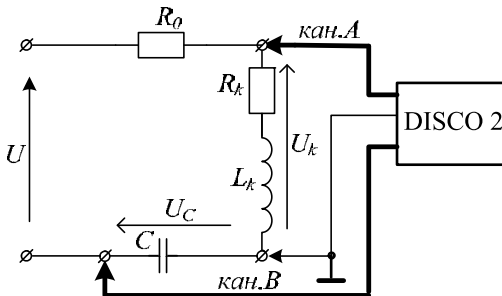



Рис. 1.3. Схема електричного кола

На блоці змінної ємності виставити розраховану величину ємності. Виводи DISCO2 під'єднати на напруги U_k (канал А) і U_c (канал В). У вікні [Аналогові сигнали] → [оброблення] встановити $A = -A$.

1.8. Ввімкнути напругу живлення. Мишкою натиснути кнопку  «однокр».

На екрані монітора виведуться часові залежності напруг $u_k(t)$ і $u_c(t)$. У нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються діючі значення напруг U_k і U_c . Дані записати в табл. 1.2.

1.9. Отримані результати записати в знімний носій інформації. Для цього необхідно вставити флеш-пам'ять. Курсором натиснути кнопку [файл] і вибрати [файл екрана]. На моніторі висвітиться вікно [Збереження файлу]. На цьому вікні курсором вибрати кнопку [Цей ПК], а потім натиснути кнопку [Знімний диск]. У верхній частині цього вікна висвітиться [Цей ПК: Знімний диск].

Після цього набрати ім'я файла (присвоїти) і курсором натиснути кнопку [Зберегти]. Інформація екрана буде записана на флеш-пам'ять.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. На моніторі відкриваємо систему LabVIEW [WEWB32]. Входимо в бібліотеку лабораторних робіт і відкриваємо файл цієї роботи [“Резонанс напруг”]. На екрані виводиться схема досліджуваного електричного кола.

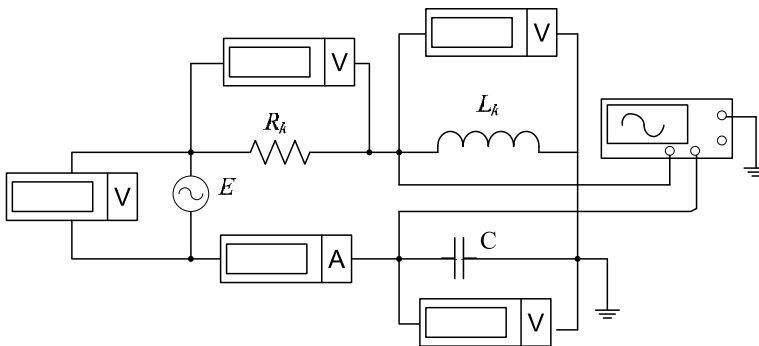


Рис. 2.1. Схема електричного кола


2.2. Підготувати схему до проведення експерименту. Для цього необхідно на елемент навести курсор і натиснути ліву клавішу миші. На екрані висвітиться вікно, де потрібно ввести параметри елементів, розрахованих у табл. 1.2. Для джерела необхідно, крім величин, задати також і частоту.

2.3. У правому верхньому куті екрана курсором ввімкнути схему. Поставити курсор на осцилограф і клікнути двічі, щоб отримати екран осцилографа. Вимірювальні прилади покажуть діючі значення величин, а осцилограф – часові залежності $u_L(t)$ і $u_c(t)$.

2.4. Змінюючи величину ємності, отримати режим, за якого покази вольтметрів U_L і U_c будуть однакові. Дані записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

C , мкФ	U , В	U_{Rk} , В	U_L , В	U_c , В

2.5. Навести курсор у верхній частині екрана на піктограму  і натиснути ліву клавішу мишки. На моніторі виведеться аналізатор графіка [Analysis Graphs], де виведені часові залежності напруг.

3. ВИСНОВКИ

3.1. За результатами табл. 2.1 зробити висновок достовірності другого закону Кірхгофа.

3.2. За результатами обчисленої величини ємності та уточненого значення ємності обчислити похибку проведення експерименту на фізичній моделі.

$$\delta = \frac{C_\phi - C}{C_\phi} \cdot 100\% ;$$

де C_ϕ – значення ємності з табл. 1.2.

3.3. До звіту прикласти отримані часові залежності $u_k(t)$ і $u_c(t)$ записані на флеш-пам'ять.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Записати умову резонансу напруг.
2. Яким чином можна досягти резонансу?
3. Як визначається резонансна частота?
4. Записати вираз для визначення струму при резонансі напруги.
5. Пояснити фізичну суть резонансу напруг.

Лабораторна робота № 4 Дослідження явища резонансу струмів

Мета роботи: експериментально визначити параметри котушки індуктивності та конденсатора для резонансу напруг; дослідити властивості електричного кола за резонансу напруг.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1. Визначення параметрів реальної котушки індуктивності. Зібрати схему на фізичній моделі згідно з рис. 1.1. Виводи DISCO2 під'єднати згідно зі схемою (канал А – червоний колір, канал В – синій колір).

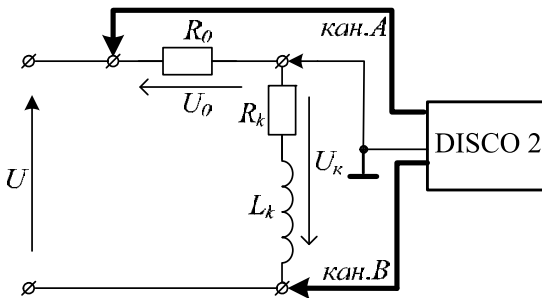


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1. Увімкнути комп'ютер, запустити файл DISCO2, на робочому вікні встановити однакові масштаби напруги каналів. Ввімкнути напругу живлення схеми. Мишкою натиснути кнопку ▶однокр. На екран виведуться часові залежності $u_0(t)$ і $u_k(t)$. У нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота). Дані записати в табл. 1.1. Використовуючи задане значення опору R_0 , визначаємо струм

$$I = U_0/R_0.$$

Таблиця 1.1

U, В	U ₀ , В	U _к , В	I, А	T ₂ – T ₁ , мс	φ, град

Для визначення кута зсуву фаз між напругою $u_k(t)$ і струмом $i(t)$ необхідно за допомогою миші встановити маркери **1** (коричневий) і **2** (зелений) у верхній частині

екрана на точки переходу напруг через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і ввімкнути дію $\underline{A} = -A$. У нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зсуву в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

Визначаємо кут зсуву фаз $\varphi_k = 360^\circ (T_2 - T_1) \cdot F$.

1.4. Визначаємо параметри котушки індуктивності

$$Z_k = \frac{U_k}{I}; R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k; X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k; L = \frac{X_k}{\omega}, \text{ де } \omega = 2\pi F.$$

Дані записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

$R_k, \text{ Ом}$	$L_k, \text{ Гн}$	$C, \text{ мкФ}$	$U_k, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$I_k, \text{ А}$	$I_c, \text{ А}$	$\varphi, \text{ град}$	$C_{рез}, \text{ мкФ}$

1.5. За умови резонансу струмів $B_L = B_C$, тобто $\frac{X_k}{R_k^2 + X_k^2} = \frac{1}{\omega C}$ визначаємо

величину резонансної ємності C , яку потрібно ввімкнути паралельно до котушки. Опорами R_0 нехтуємо, оскільки $R_0 \ll R_k$ та $R_0 \ll X_c$. Дані записати в табл. 1.2.

1.6. Скласти схему для дослідження резонансу струмів згідно з рис. 1.2.

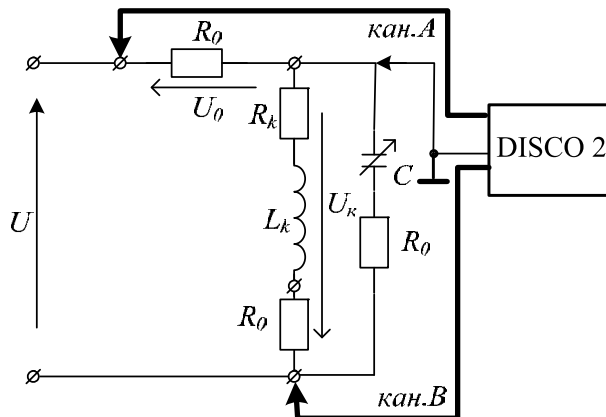


Рис. 1.2. Схема електричного кола

На блоці змінної ємності виставити розраховану величину ємності C . Виводи DISCO2 під'єднати на напруги U_0 (канал А) і U_k (канал В). У вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] $\underline{A} = -A$.

1.7. Увімкнути напругу живлення. Мишкою натиснути кнопку ▶ однокр.

На екрані монітора виведуться часові залежності напруг $u_k(t)$ і $u_0(t)$. За резонансу струмів точки переходу напруг $u_k(t)$ та $u_0(t)$ через нуль повинні збігатися ($T_2 - T_1 = 0$), тобто кут зсуву фаз між напругою та струмом на вході схеми повинен дорівнювати нулю $\varphi = \psi_u - \psi_i = 360^\circ(T_2 - T_1) \cdot F = 0$.

Якщо різниця між початковими фазами кривих $u_k(t)$ та $u_0(t)$ не дорівнює нулю ($T_2 - T_1 \neq 0$), то потрібно звести її до нуля через зміну ємності до резонансної $C_{рез}$.

У нижній частині екрана на панелі [Загальні параметри сигналів] подаються діючі значення напруг U_k та U_0 , а на панелі [Параметри сигналів під маркерами] отримаємо значення зміщення в часі $T_2 - T_1$.

Струм на вході схеми $I = U_0 / R_0$.

Значення I , U_k , φ та $C_{рез}$ записуємо в табл. 1.2.

1.8. Перемкнути виводи пристрою DISCO2 згідно зі схемою рис. 1.3, виміряти значення напруг шунтових опорів у вітках з котушкою індуктивності U_{0k} та конденсатором U_{0c} .

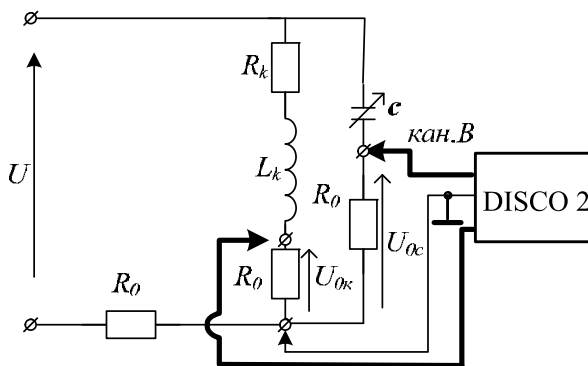


Рис. 1.3. Схема електричного кола

За відомими опорамі R_0 обчислюємо струм котушки та конденсатора

$$I = U_0 / R_0; I_C = U_{0c} / R_0.$$

та записуємо їхнє значення в табл. 1.2.

1.9. Отримані результати записати в знімний носій інформації. Для цього необхідно вставити флеш-пам'ять. Курсором натиснути кнопку [файл] і вибрати [файл екрана]. На моніторі висвітиться вікно [Збереження файлу]. На цьому вікні курсором вибрати кнопку [Цей ПК], а потім натиснути кнопку [Знімний диск]. У верхній частині цього вікна висвітиться [Цей ПК: Знімний диск].

Після цього набрати ім'я файла (присвоїти) і курсором натиснути кнопку [Зберегти]. Інформація екрана буде записана на флеш-пам'ять.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. На моніторі відкриваємо систему LabVIEW [WEWB32]. Входимо в бібліотеку лабораторних робіт і відкриваємо файл цієї роботи [“Резонанс струмів”]. На екрані виводиться схема досліджуваного електричного кола.

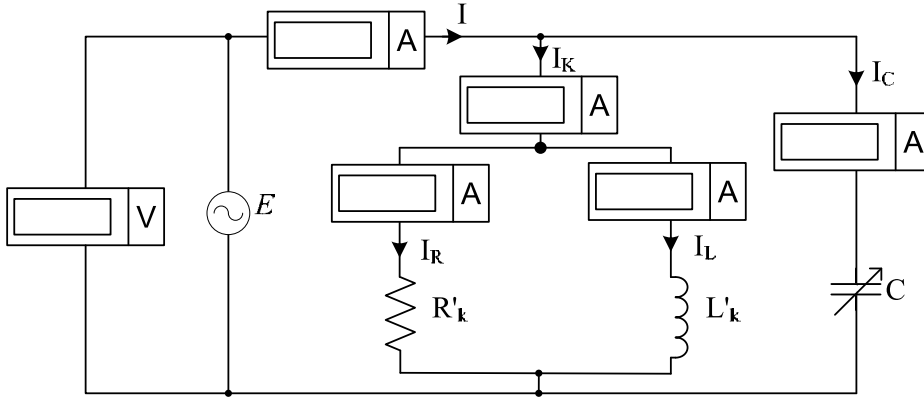


Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.2. Підготувати схему до проведення експерименту. Для цього необхідно на елементі схеми навести курсор і натиснути ліву клавішу миші. На екрані висвітиться вікно, куди потрібно ввести параметри елементів, розрахованих за формулами

$$R'_k = \frac{R_k^2 + x_k^2}{R_k}; L'_k = \frac{R_k^2 + x_k^2}{\omega x_k}; c' = \frac{1}{\omega^2 L'_k}.$$

Для джерела напруги необхідно задати діюче значення напруги (E).

2.3. У правому верхньому куті екрана курсором ввімкнути схему. Для того, щоб налаштувати прилади на вимірювання діючого значення, потрібно поставити курсор на прилад і клікнувши двічі, у вікні властивостей приладу вибрати [AC].

2.4. Змінюючи величину ємності, отримати режим, за якого покази амперметрів I_L і I_C будуть однакові. Крім цього, однаковими будуть I і I_R . Дані записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$I_R, \text{А}$	$I_L, \text{А}$	$I_K, \text{А}$	$I_C, \text{А}$	$C', \text{мкФ}$

3. ВИСНОВКИ

3.1. За результатами табл. 3. зробити висновок достовірності першого закону Кірхгофа.

3.2. За результатами уточнених значень ємності $C_{рез}$ з табл. 1.2 та C' з табл. 2.1, обчислити похибку проведення експерименту на фізичній моделі.

$$\delta = \frac{C'_{рез} - C'}{C_{рез}} \cdot 100 \% .$$

3.3. За результатами вимірювань (табл. 2.1) побудувати векторну діаграму струмів та напруги.

3.4. До звіту прикласти отримані часові залежності $u_k(t)$ і $u_u(t)$, записані на флеш-пам'ять.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення резонансу струмів.
2. Записати умову резонансу струмів.
3. Побудувати векторну діаграму для резонансу струмів.
4. Яке практичне використання резонансу струмів.

Лабораторна робота № 5

Дослідження трифазного кола зі з'єднанням приймачів зіркою

Мета роботи: експериментально дослідити та виявити особливості режимів трифазного кола зі з'єднанням приймачів зіркою за наявності та відсутності нейтрального проводу.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Увімкнути комп'ютер кнопкою на системному блоці. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик DISco на робочому столі).

1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1. Блок DIS на схемі – це осцилограф DISco, який має три виводи (канал А – червоного кольору, канал В – чорного кольору і спільний провід).

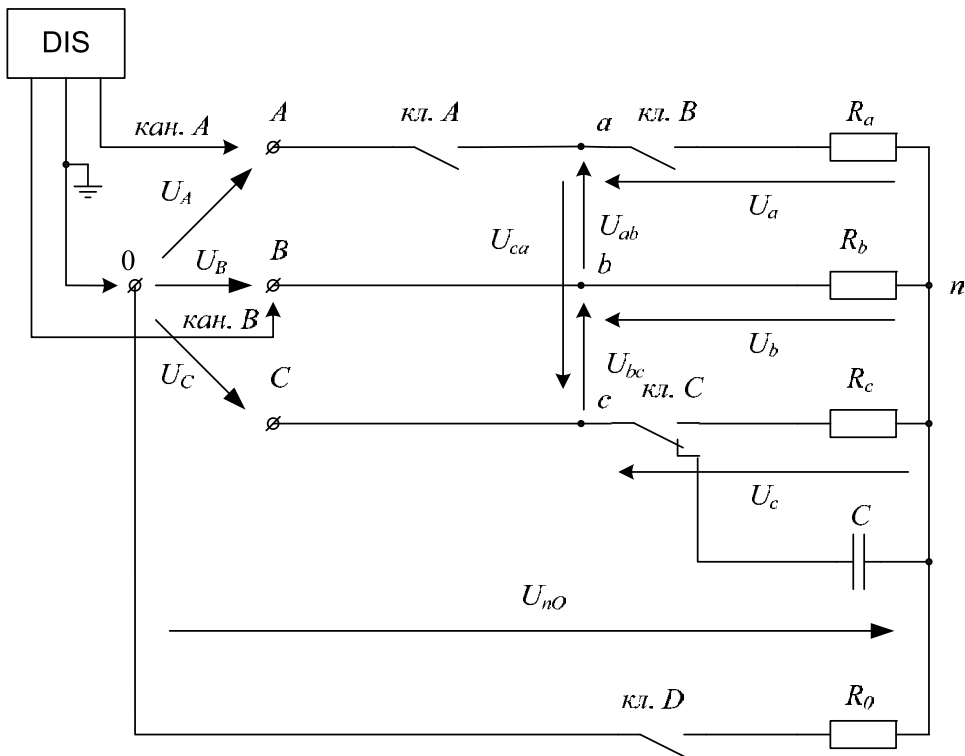
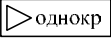


Рис. 1.1. Схема фізичного експерименту

1.4. Увімкнути джерело трифазного живлення. Переконайтесь у симетрії трифазного джерела. Для цього спочатку виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги на джерелі U_A та U_B та часовий зсув фаз між ними $T_2 - T_1$ (рис. 1.1). Потім, переставивши вивід каналу В до точки С, виміряти напругу на джерелі U_C та зсув фаз між U_A та U_C .

Для визначення діючих значень ЕРС (напруг) необхідно мишкою натиснути кнопку . На екран виведуться часові залежності напруг $u(t)$. У нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота).

Для визначення кута зсуву фаз між ЕРС (напругами) необхідно за допомогою мишки встановити маркери **1** (коричневий) і **2** (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і увімкнути дію $\underline{A} = -A$. У нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зміщення в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

Кут зсуву фаз визначаємо за формулою: $\varphi_k = 360^\circ(T_2 - T_1) \cdot F$.

Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Таблиця 1.1

$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$\varphi (U_A \wedge U_B)$, град	$\varphi (E_A \wedge U_C)$, град

1.5. Дослідити трифазне коло для резистивного симетричного навантаження ($R_A = R_B = R_C$) з нейтральним проводом (ключ D – замкнений). Увімкнути джерело живлення. Спочатку виміряти напругу між нейтральними U_{nN} . Для цього вивід каналу А під'єднати до нейтралі споживача n, вивід каналу В під'єднати до точки А, а спільний провід до нейтралі джерела N. За наявності нейтрального проводу ця напруга дорівнює нулю (опір нейтрального проводу дорівнює нулю). Але для визначення струму в нейтральному проводі увімкнено R_{iu} ($R_{iu} \ll R_a, R_b, R_c$). Тому в режимі з нейтральним проводом напругою між нейтральними можна знехтувати, а використати її лише для визначення струму в нейтральному проводі.

Потім виміряти фазні напруги споживача U_a, U_b, U_c . Для цього спільний провід під'єднати до нейтралі споживача n, вивід каналу В до точки a, а вивід каналу А почергово до точок b і c. Це дасть змогу виміряти не лише діючі значення

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Несиметричне навантаження											
Обрив лінії А											
Обрив фази а											
Неоднорідне навантаження											

Таблиця 2.2

Режими без нейтрального проводу	U_{ab} , В	U_{bc} , В	U_{ca} , В	U_a , В	U_b , В	U_c , В	U_{nN} , В	I_a , А	I_b , А	I_c , А	I_N , А
Симетричне навантаження											
Несиметричне навантаження											
Обрив лінії А											
Обрив фази а											
Неоднорідне навантаження											

2.5. Опрацювання дослідних даних віртуального експерименту.

2.5.1. Для кожного з режимів порівняти дані фізичного та віртуального експериментів.

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яке трифазне джерело вважають симетричним?
2. Які умови для симетричного трифазного приймача?
3. Чому дорівнює струм в нейтральному проводі для симетричного режиму трифазного кола зі з'єднанням приймачів зіркою?
4. Чому дорівнює напруга між нейтральними для симетричного режиму трифазного кола зі з'єднанням приймачів зіркою без нейтрального проводу?
5. Які співвідношення між лінійними та фазними напругами і струмами для симетричного режиму трифазного кола зі з'єднанням зіркою?
6. Завдяки яким перевагам використовують саме трифазні кола здебільшого в електроенергетичних мережах?

Лабораторна робота № 6 Дослідження трифазного кола зі з'єднанням приймачів трикутником

Мета роботи: експериментально дослідити та виявити особливості режимів трифазного кола зі з'єднанням приймачів трикутником.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Увімкнути комп'ютер кнопкою на системному блоці. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик DISco на робочому столі).

1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1. Блок DIS на схемі – це осцилограф DISco, який має три виводи (канал А – червоного кольору, канал Б – чорного кольору і спільний провід).

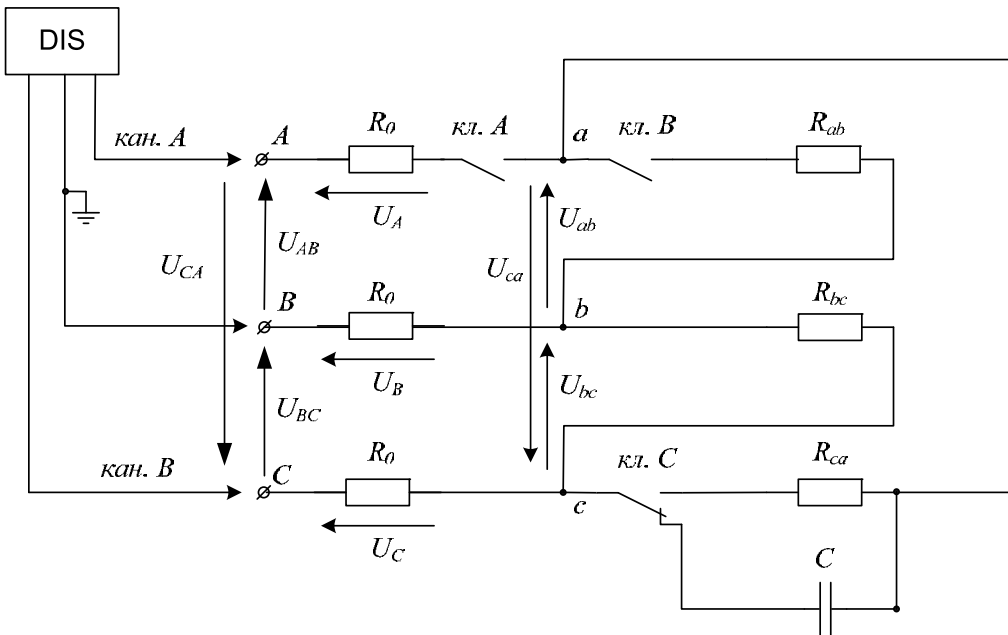
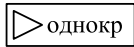


Рис. 1.1. Схема фізичного експерименту

1.4. Увімкнути джерело трифазного живлення. Переконайтесь у симетрії трифазного джерела. Для цього спочатку виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги на джерелі U_{AB} та U_{BC} та часовий зсув фаз між ними $T_2 - T_1$

(рис. 1.1). Потім, переставивши спільний провід до точки С, вивід каналу А до точки А, вивід каналу В до точки В, виміряти напругу на джерелі U_{CA} та зсув фаз між U_{BC} та U_{CA} .

Для визначення діючих значень напруг необхідно мишкою натиснути кнопку



. На екран виведуться часові залежності напруг $u(t)$. У нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота).

Для визначення кута зсуву фаз між напругами необхідно за допомогою мишки встановити маркери **1** (коричневий) і **2** (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і ввімкнути дію $A = -A$. У нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зміщення в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

Кут зсуву фаз визначаємо за формулою: $\varphi_k = 360^\circ(T_2 - T_1) \cdot F$.

Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Таблиця 1.1

$U_{AB}, \text{В}$	$U_{BC}, \text{В}$	$U_{CA}, \text{В}$	$\varphi(U_{AB} \wedge U_{BC}), \text{град}$	$\varphi(U_{BC} \wedge U_{CA}), \text{град}$

1.5. Дослідити трифазне коло для резистивного симетричного навантаження ($R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}$). Увімкнути джерело живлення. Спочатку виміряти фазні напруги приймача U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} та кути зсуву фаз між ними. Для цього виводи каналів осцилографа DISCO потрібно під'єднувати як у попередньому досліді (п. 1.4). Тільки замість точок А, В, С використовувати точки а, в, с. Потім виміряти діючі значення напруг U_A , U_B , U_C на резисторах $R_{ш}$. Для цього під'єднати спільний провід до точок a , b , c , а канал А чи В відповідно до точок A , B , C . Ці напруги необхідні для визначення лінійних струмів. Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

1.6. Дослідити трифазне коло для резистивного несиметричного навантаження. Для цього необхідно перемикачем на макеті змінити опір фази В. Провести вимірювання напруг та зсувів фаз, як у п. 9.2.5. Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

1.7. Дослідити трифазне коло в режимі обриву лінії для резистивного навантаження. Для цього необхідно розімкнути коло на ділянці між точками А і

- 1.10. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту.
- 1.10.1. За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1.3 величини.
- 1.10.2. На підставі вимірювань та обчислень для кожного досліді побудувати векторні діаграми струмів і топографічні діаграми напруг.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Завантажити програму Electronic Workbench (ярлик EWB32 на робочому столі). Відкрити файл лаброб9.ewb. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1).

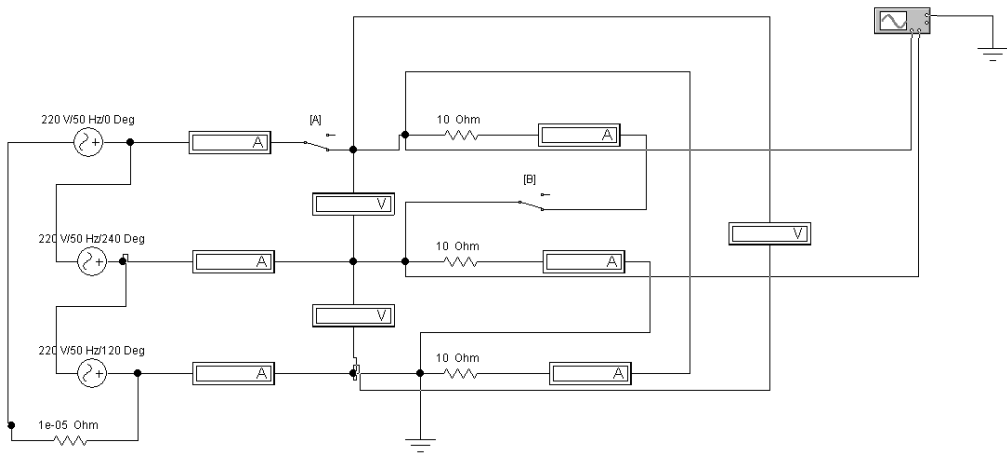


Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.2. Встановити напругу трифазного джерела ЕРС (E_{AB} , E_{BC} , E_{CA}), яка відповідає напругам джерела у фізичному експерименті. Для цього двічі клікнути по джерелах, і у вікні властивостей встановити значення напруг джерел, їхні початкові фази та частоту ($f = 50$ Гц). Початкову фазу e_{AB} прийняти такою, що дорівнює нулю.

2.3. Встановити параметри резисторів та конденсатора, вказані на макеті і які використовувались у фізичному експерименті.

2.4. Дослідити трифазне коло для всіх режимів, проведених у фізичному експерименті. Для цього натиснути клавішу “Activate simulation” у правому верхньому куті екрана й відразу кнопку Pause. Покази вольтметрів і амперметрів записати у табл. 2.1. У разі потреби за допомогою осцилографа подібно, як у фізичному експерименті, можна визначити кути зсуву фаз між напругами.

Таблиця 2.1

Режими	U_{ab} , В	U_{bc} , В	U_{ca} , В	I_{ab} , А	I_{bc} , А	I_{ca} , А	I_A , А	I_B , А	I_C , А
Симетричне навантаження									
Несиметричне навантаження									
Обрив лінії A									
Обрив фази ab									
Неоднорідне навантаження									

2.5. Опрацювання дослідних даних віртуального експерименту.

2.5.1. Для кожного з режимів порівняти дані фізичного та віртуального експериментів.

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яке трифазне джерело вважають симетричним?
2. Які умови для симетричного трифазного приймача?
3. Які співвідношення між лінійними та фазними напругами і струмами для симетричного режиму трифазного кола зі з'єднанням трикутником?
4. До симетричного трифазного джерела під'єднано симетричний приймач, з'єднаний зіркою. Як зміняться фазні і лінійні струми, якщо той самий приймач з'єднати трикутником?

Лабораторна робота № 7

Дослідження пасивного прохідного чотириполюсника

Мета роботи: визначити коефіцієнти рівнянь лінійного пасивного прохідного чотириполюсника, характеристичні параметри та дослідження його роботи за змінного навантаження.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Скласти електричне коло за схемою (рис. 1.1). Дослідити чотириполюсник у неробочому режимі за прямого вмикання. Увімкнути джерело живлення змінного струму. Встановити напругу джерела 20–40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_1 та зсув фаз між ними T_2-T_1 (увімкнути $\underline{A} = -A$ в меню обробка сигналів). Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

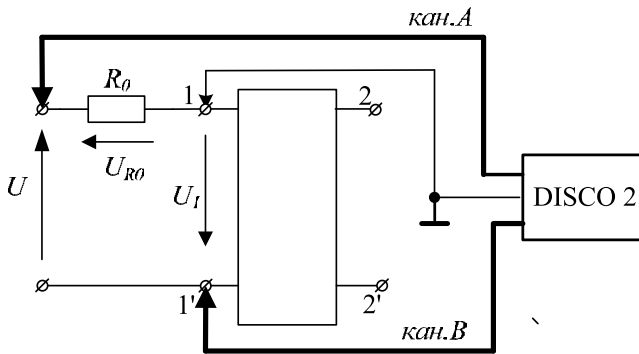


Рис. 1.1. Схема неробочого режиму чотириполюсника

1.2. Дослідити чотириполюсник у режимі короткого замикання за прямого вмикання (рис. 1.2). Увімкнути джерело живлення змінного струму. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_1 та зсув фаз між ними T_2-T_1 (увімкнути $\underline{A} = -A$ в меню обробка сигналів). Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

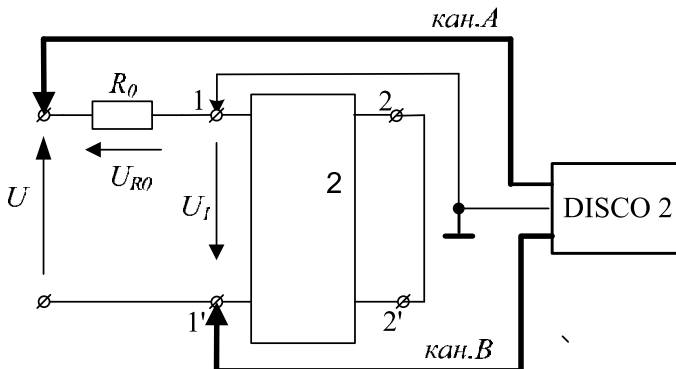


Рис. 1.2. Схема режиму короткого замикання чотириполюсника

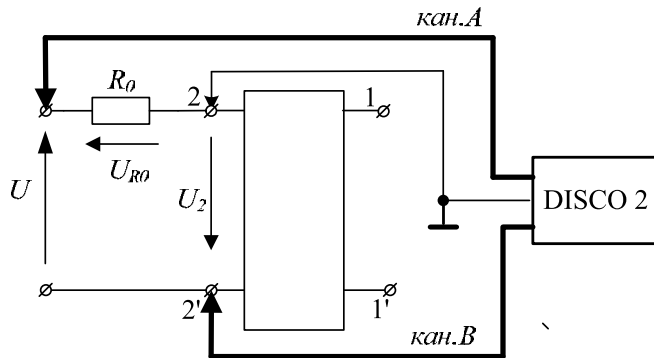
Таблиця 1.1

Результати дослідження чотириполюсника за прямого вмикання

Режим роботи чотириполюсника	Виміри			Обчислення		
	U_1 , В	U_{R0} , В	$T_2 - T_1$, мс	Z_{10} , Ом	Z_{1k} , Ом	Z_{1c} , Ом
Неробочий режим					–	
Коротке замикання				–		

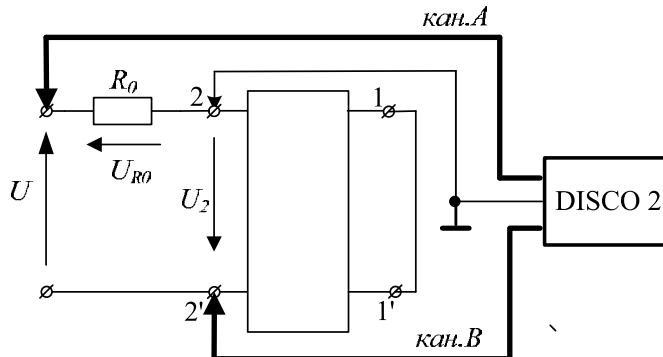
1.3. Скласти електричне коло за схемою рис. 1.3. Дослідити чотириполюсник у неробочому режимі за зворотного вмикання: увімкнути джерело живлення змінного струму. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_1 та зсув фаз між ними $T_2 - T_1$ (увімкнути $\underline{A} = -A$ в меню обробка сигналів). Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

Рис. 1.3. Схема неробочого режиму чотириполюсника



1.4. Дослідити чотириполюсник у режимі короткого замикання за зворотного вмикання (рис. 1.4): увімкнути джерело живлення змінного струму ~ 40 В. Виміряти за допомогою пристрою DISCO2 напруги U_{R0} та U_2 та зсув фаз між ними $T_2 - T_1$ (увімкнути $\underline{A} = -A$ в меню обробка сигналів). Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

Рис. 1.4. Схема режиму короткого замикання чотириполюсника



Таблиця 1.2

Результати дослідження чотириполюсника за зворотного вмикання

Режим роботи чотириполюсника	Виміри			Обчислення		
	U_2 , В	U_{R0} , В	$T_2 - T_1$, мс	Z_{20} , Ом	Z_{1k} , Ом	Z_{2c} , Ом
Неробочий режим					–	
Коротке замикання				–		

1.5. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту.

1.5.1. Обробити результати фізичного експерименту:

$$\varphi = 360(T_2 - T_1) f; \quad Z_{10} = U_{10}/I_{10}; \quad Z_{1k} = U_{1k}/I_{1k}; \quad Z_{20} = U_{20}/I_{20}; \quad Z_{2k} = U_{2k}/I_{2k};$$

$$\underline{A} = \pm \sqrt{(Z_{10}/((Z_{20} - Z_{10})))}; \quad \underline{B} = \underline{A} \cdot Z_{1k}; \quad \underline{C} = \underline{A}/Z_{10}; \quad \underline{C} = \underline{B}/Z_{1k}; \quad \underline{Z}_1 = (\underline{A} - 1)/\underline{C};$$

$$\underline{Z}_2 = (\underline{D} - 1)/\underline{C}; \quad \underline{Z}_3 = 1/\underline{C}.$$

Записати обчислені коефіцієнти чотириполюсника та повні комплексні опори в алгебричній формі $Z_1 = R_1 + jX_1$, $Z_2 = R_2 + jX_2$, $Z_3 = R_3 + jX_3$ у табл. 1.3. За знаком уявної частини визначити характер реактивного опору (“+” – індуктивний, “–” – ємнісний). Якщо реактивний опір є індуктивним, то визначаємо значення індуктивності за виразом $L = X/(2\pi f)$, якщо ємнісним, то визначаємо значення ємності $C = 1/(2\pi fX)$.

Таблиця 1.3

A	B, Ом	C, См	D	Z ₁ , Ом	Z ₂ , Ом	Z ₃ , Ом
–	–	–	–			

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Завантажити програму Electronic Workbench (ярлик EWB32 на робочому столі). Відкрити файл лаброб9.ewb. На екрані з’явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1).

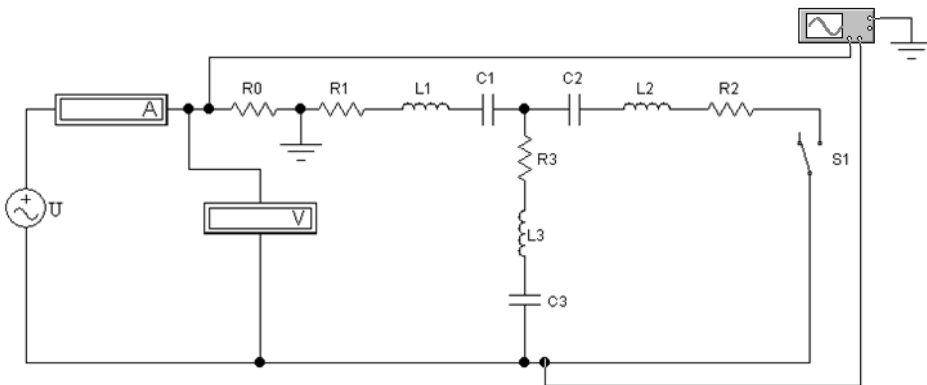


Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.2. Встановити параметри елементів схеми ($R_0, R_1, L_1, C_1, R_2, L_2, C_2, R_3, L_3, C_3$) за даними п. 1.5. Якщо деякі елементи схеми чотириполосника, за даними обчислень п. 1.5, відсутні, то їх треба вилучити зі схеми або присвоїти такі значення: для резистора $R = 0$; для котушки $L = 0$; для конденсатора $C = \infty$ (достатньо встановити $C = 100000000$ Ф).

2.3. Дослідити чотириполосник за прямого вмикання в неробочому режимі. Перемикач S1 на схемі у лівому положенні (перемикання здійснюється клавішею пробіл). Результати вимірювань записати в табл. 2.1.

2.4. Дослідити чотириполосник за прямого вмикання в режимі короткого замикання. Перемикач S1 на схемі у правому положенні (перемикання здійснюється клавішею пробіл). Результати вимірювань записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Результати дослідження чотириполосника за прямого вмикання

Режим роботи чотириполосника	Виміри		
	$U_1,$ В	$I_1,$ В	$T_2 - T_1,$ мс
Неробочий режим			
Коротке замикання			

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який чотириполосник називають прохідним?
2. Який чотириполосник називають симетричним?
3. Скільки дослідів неробочого режиму і короткого замикання достатньо провести для визначення коефіцієнтів несиметричного чотириполосника?
4. Який режим роботи чотириполосника називають узгодженим?
5. Чому дорівнює вхідний опір чотириполосника, який навантажений характеристичним опором?

Лабораторна робота № 8 Дослідження перехідних процесів у лінійних електричних колах

Мета роботи: дослідити вплив параметрів елементів електричного кола на характер перехідних процесів у лінійних електричних колах із зосередженими параметрами.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Підготувати до роботи USB-осцилограф. Відкрити програму DISCO, клікнувши двічі по ярлику Disco на робочому столі комп'ютера. Встановити дільник каналу А (В/дел) у положення 2В/дел, а ручку настройки масштабу часу в положення 0,5 мс/дел. Увімкнути генератор прямокутних імпульсів й встановити частоту в межах 100–200 Гц. Добитися стійкого зображення прямокутних імпульсів напруги генератора, використовуючи для її вимірювання щупи каналу “А” USB-осцилографа.

1.3. Під'єднати до затискачів генератора імпульсів вітку з послідовним з'єднанням конденсатора та резистора (рис. 1.1). Значення параметрів елементів вибрати за вказівкою викладача в межах $R = 5\text{--}100\ \text{Ом}$, $C = 2\text{--}5\ \text{мкФ}$. Зняти осцилограми напруг конденсатора $u_C(t)$ і резистора $u_R(t)$. Встановити вертикальні маркери у двох точках часу перехідного процесу для вимірювання значень напруги $u_R(t_1)$, $u_R(t_2)$ у цих точках та часового відрізка $T_2\text{--}T_1$ (рис. 1.2). Записати значення параметрів елементів R , C і дані вимірювань з панелі “Параметри сигналу під маркерами” в табл. 1.1. Записати дані експерименту у кількох форматах на флеш-носії.

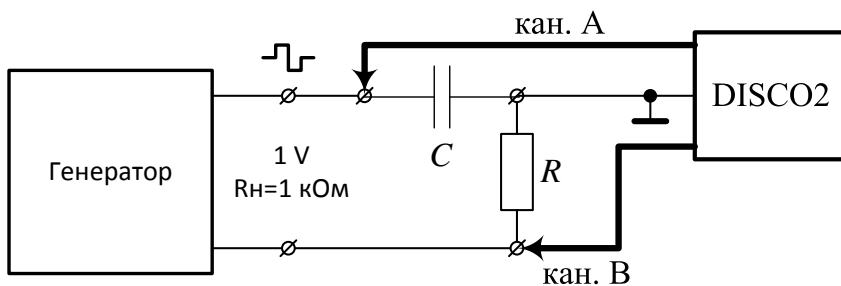


Рис. 1.1. Схема експерименту дослідження
перехідного процесу на ділянці R–C

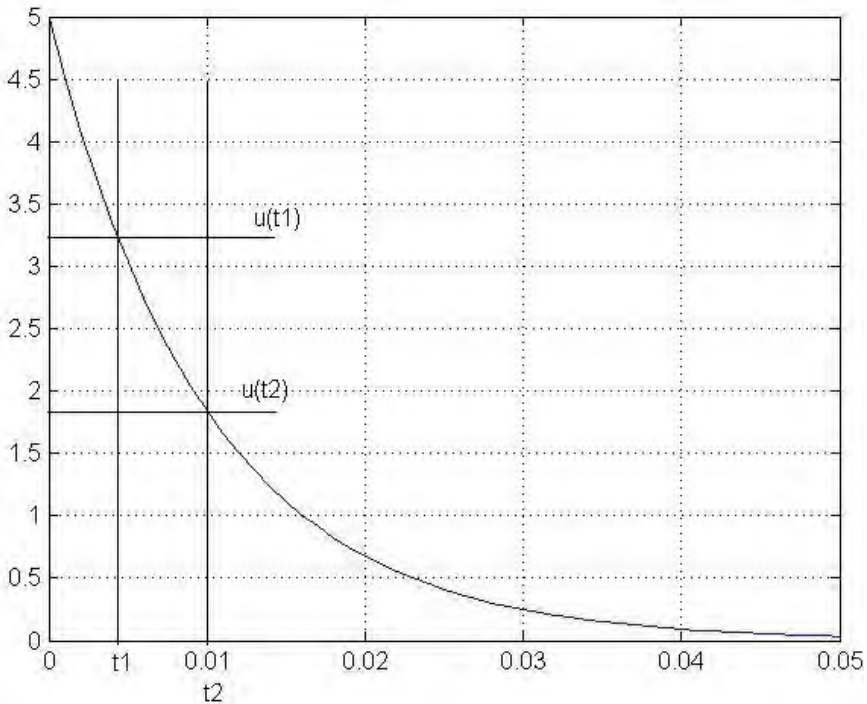
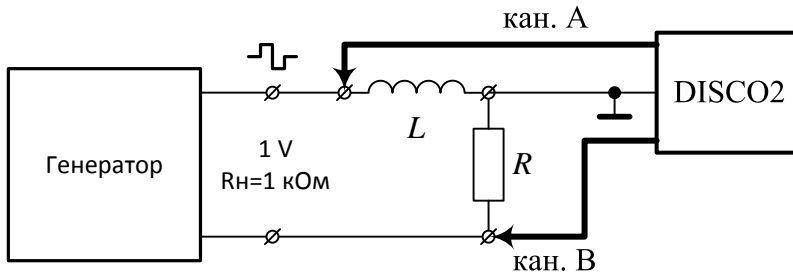


Рис. 1.2. Осцилограма перехідного процесу з маркерами

1.4. Під'єднати до затискачів генератора вітку з послідовним з'єднанням котушки індуктивності та резистора (рис. 1.3.). Значення параметрів елементів вибрати за вказівкою викладача в межах $R = 10\text{--}50$ Ом, $L = 8\text{--}15$ мГн. Зняти осцилограму напруги котушки. Встановити вертикальні маркери у двох точках часу перехідного процесу для вимірювання значень напруги $u_L(t_1)$, $u_L(t_2)$ у цих точках та часового відрізка $T_2\text{--}T_1$. Записати дані експерименту у кількох форматах на флеш-носії. Значення параметрів елементів кола і дані вимірювань записати в табл. 1.2.

Рис. 1.3. Схема експерименту дослідження перехідного процесу на ділянці $R\text{--}L$

1.5. Під'єднати до затискачів генератора вітку з послідовним з'єднанням резистора, індуктивної котушки та конденсатора (рис. 1.4) Значення параметрів елементів вибрати за вказівкою викладача в межах $R = 0 \dots 100$ Ом, $L = 8 \dots 15$ мГн, $C = 0,5 \dots 1,0$ мкФ. Обчислити значення критичного опору для вибраних значень L та C . Встановити опір резистора $R < R_{кр}$. Зняти осцилограму напруги конденсатора $u_C(t)$. Встановити вертикальні маркери у двох сусідніх точках максимуму перехідної напруги для вимірювання їх значень $u_C(t_1)$, $u_C(t_1+T_0)$ та значень часу у цих точках T_2 , T_1 , де $T_0 = T_2 - T_1$. Записати дані експерименту у кількох форматах на флеш-носії. Значення параметрів елементів кола і дані вимірювань записати в табл. 1.2.

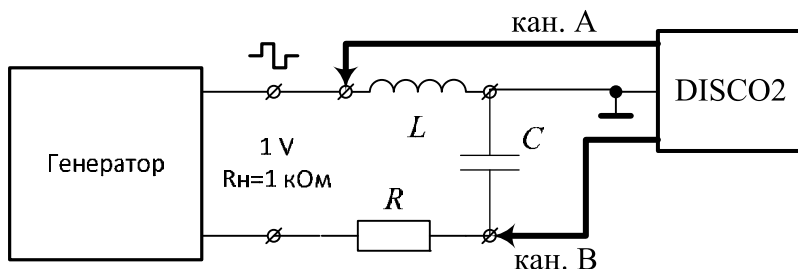


Рис. 1.4. Схема експерименту дослідження перехідного процесу на ділянці R–L–C

1.6. Обчислити значення критичного опору для заданих значень L та C . Встановити опір резистора $R > R_{кр}$. Значення параметрів елементів кола записати в табл. 1.3.

1.7. Дослідити перехідний процес у колі з послідовним з'єднанням резистора, індуктивної котушки та конденсатора за значення опору $R > R_{кр}$. Зняти осцилограму напруги конденсатора. Встановити вертикальні маркери у двох точках часу перехідної напруги для вимірювання їхніх значень та значень часу в цих точках. Записати дані експерименту у кількох форматах на флеш-носії. Значення параметрів елементів кола і дані вимірювань записати в табл. 1.3.

Таблиця 1.1

Склад кола	Виміри					Обчислення	
	R , Ом	C , мкФ	$T_2 - T_1$, мс	$u_R(t_1)$, В	$u_R(t_2)$, В	λ , c^{-1}	τ , с
Резистор і конденсатор							

Таблиця 1.2

Склад кола	Виміри					Обчислення	
	R , Ом	L , мГн	$T_2 - T_1$, мс	$u_L(t_1)$, В	$u_L(t_2)$, В	λ , c^{-1}	τ , с
Резистор і конденсатор							

Таблиця 1.3

Склад кола	Значення активного опору	Виміри							Обчислення			
		R , Ом	L , Гн	C , мкФ	$u_R(t_1)$, В	$u_R(t_2)$, В	T_1 , с	T_2 , с	δ , с ⁻¹	T_0 , с	λ_1 , с ⁻¹	λ_2 , с ⁻¹
Резистор, катушка і конденсатор	$R < R_{кр}$										–	–
	$R = R_{кр}$								–	–		
	$R > R_{кр}$								–	–		

1.8. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту.

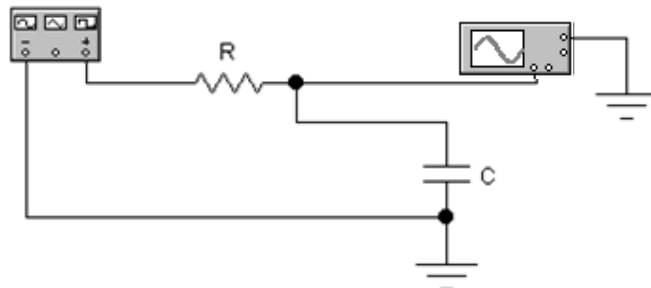
1.8.1. За даними експериментів, визначити корені відповідних характеристичних рівнянь, сталі часу для всіх трьох схем електричних кіл. Результати записати в табл. 1.1–1.3.

1.8.2. За даними п. 2.5 визначити частоту ω_0 та період T_0 вільних коливань і записати їх в табл. 1.3. Визначити критичне значення опору, користуючись значеннями параметрів кола (табл. 1.3).

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Завантажити програму **ELECTRONICS WORKBENCH 5.12 (EWB5.12)**, двічі клікнувши по відповідному ярлику на робочому столі комп'ютера. Відкрити файл *gc.ewb*. На екрані з'явиться вікно програми **EWB5.12** зі схемою та необхідними інструментами для дослідження перехідного процесу електричного кола з послідовним з'єднанням елементів R , C (рис. 2.1). У цій роботі для забезпечення повторюваності перехідного процесу в електричному колі з послідовним з'єднанням елементів R , C , що комутується з джерелом постійної напруги, використано генератор прямокутних імпульсів. Отже, ми досліджуємо перехідний процес, що зумовлений додатним та від'ємним фронтами сигналу генератора. Період сигналу генератора повинен бути не більшим, ніж тривалість перехідного процесу $\sim 10\tau$ ($\tau = RC$ – стала часу цього кола).

Рис. 2.1. Осцилограма дослідження перехідного процесу на ділянці R – C



Встановити параметри електричного кола, які задає викладач, й зняти осцилограму перехідної напруги конденсатора. За допомогою маркерів 1 (червоного кольору), 2 (синього кольору) визначити значення напруги конденсатора у двох точках $u_C(T_1)$, $u_C(T_2)$ і відрізок часу між ними T_1-T_2 .

2.2. Відкрити файл gl.ewb. На екрані з'явиться вікно програми **EWB5.12** зі схемою та необхідними інструментами для дослідження перехідного процесу електричного кола з послідовним з'єднанням елементів R , L (рис. 2.2). Період сигналу генератора повинен бути не більшим, аніж тривалість перехідного процесу $\sim 10\tau$ ($\tau = L/R$ – стала часу цього кола). Встановити параметри електричного кола, які задає викладач, й зняти осцилограму перехідної напруги котушки індуктивності. За допомогою маркерів 1 (червоного кольору), 2 (синього кольору) визначити значення напруги котушки у двох точках $u_L(T_1)$, $u_L(T_2)$ і відрізок часу між ними T_1-T_2 .

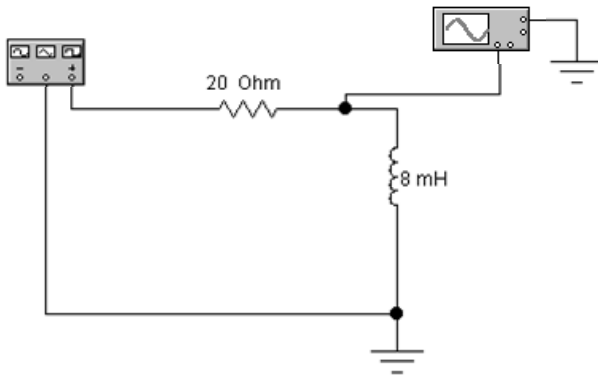


Рис. 2.2. Осцилограма дослідження перехідного процесу на ділянці $R-L$

2.3. Відкрити файл RLC.ewb. На екрані з'явиться вікно програми **EWB5.12** зі схемою та необхідними інструментами для дослідження перехідного процесу електричного кола з послідовним з'єднанням елементів R , L , C (рис. 2.3.) За значеннями L та C , які задає викладач, обчислити значення критичного опору $R_{кр}$. Встановити параметри L , C , $R < R_{кр}$ електричного кола й зняти осцилограму перехідної напруги конденсатора. За допомогою маркерів 1 (червоного кольору), 2 (синього кольору) визначити значення напруги конденсатора у двох сусідніх точках максимуму $u_C(T_1)$, $u_C(T_2)$ і відрізок часу між ними T_1-T_2 (рис. 2.3). Період сигналу генератора повинен бути не більшим, ніж тривалість перехідного процесу $\sim 10\tau$ ($\tau = 2L/R$ – стала часу цього кола).

Встановити параметри L , C , $R > R_{кр}$ електричного кола й зняти осцилограму перехідної напруги конденсатора. За допомогою маркерів 1 (червоного кольору), 2 (синього кольору) визначити значення напруги конденсатора у двох сусідніх точках максимуму $u_C(T_1)$, $u_C(T_2)$ і відрізок часу між ними T_1-T_2 (рис. 5).

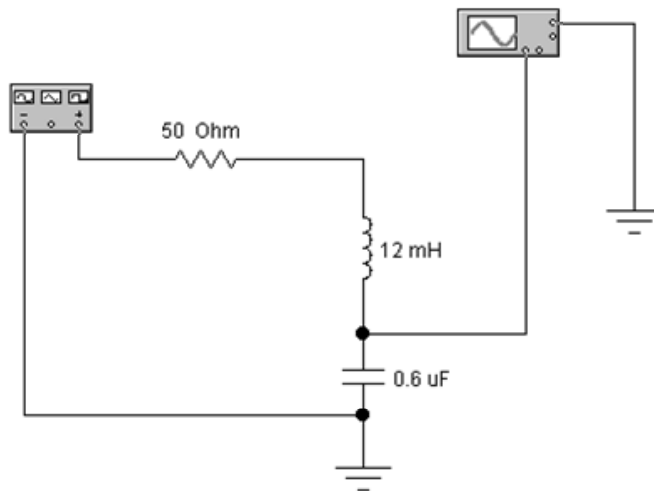


Рис. 2.3. Осцилограма дослідження перехідного процесу на ділянці R–L–C

3. ВИСНОВКИ

Порівняти результати фізичного і віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яку величину називають постійною часу електричного кола й від чого вона залежить?
2. Як визначити постійну часу з кривої перехідного процесу?
3. За яких умов виникає коливний перехідний процес?
4. Який опір називається критичним і як він визначається?
5. За якої умови під час вмикання кола немає перехідного процесу?

Лабораторна робота № 9

Дослідження детермінованих періодичних сигналів

Мета роботи: ознайомитися з гармонійним складом періодичних несинусоїдних сигналів та виділенням окремих спектральних складових цих сигналів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом.

1.2. Увімкнути комп'ютер кнопкою на системному блоці. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISCO2 (ярлик DISCO на робочому столі).

1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1.

1.4. Дослідити електричне коло для визначення параметрів котушки індуктивності (R_K , L_K). Увімкнути джерело живлення змінного струму. На екран виведуться часові залежності $u_{R0}(t)$ і $u_K(t)$. В нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота). Результати експерименту напруги U_{R0} та U_K і зсуву фаз між ними $T_2 - T_1$ записати в табл. 1.1. Для визначення кута зсуву фаз між напругою $u_K(t)$ і напругою $u_{R0}(t)$ необхідно за допомогою мишки встановити маркери 1 (фіолетовий) і 2 (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг $u_{R0}(t)$ і $u_K(t)$ через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і увімкнути дію $A = -A$. У нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зсуву в часі $T_2 - T_1$ між цими координатами.

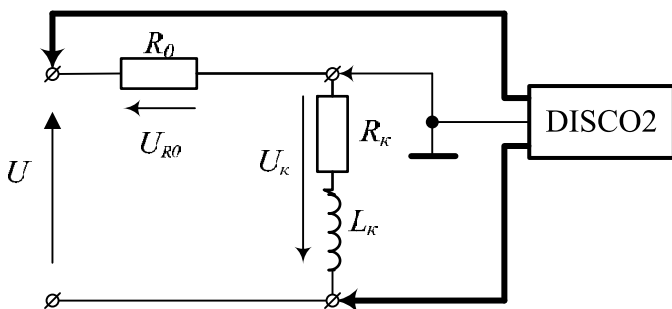


Рис. 1.1. Схема електричного кола R-L.

1.5. Обчислити за результатами експерименту параметри котушки індуктивності:
 $\varphi = 360^\circ (T_2 - T_1) / 20$ $I = U_{R0} / R_0$; $Z_K = U_K / I$; $R_K = Z_K \cos \varphi$; $X_K = Z_K \sin \varphi$; $L_K = X_K / (2\pi f)$.

Таблиця 1.1

U, В	U _{R0} , В	U _K , В	I, А	T ₂ – T ₁ , мс	φ, град.

1.6. Зібрати електричне коло за схемою, показаною на рис. 1.2.

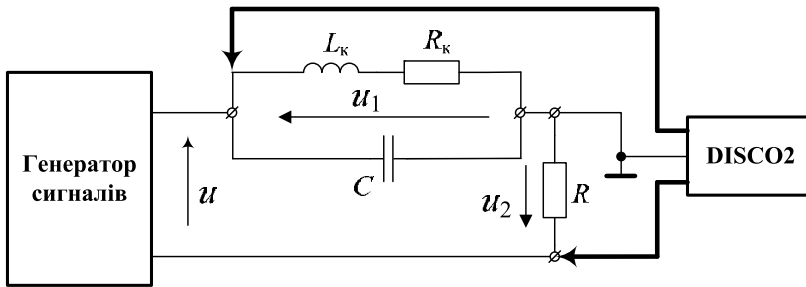


Рис. 1.2. Схема електричного кола для проведення експерименту

1.7. Розрахувати ємність C конденсатора для виникнення резонансу на частоті f_c сигналу генератора. Встановити визначене значення C на магазині ємностей. Увімкнути генератор. Встановити вид сигналу “прямокутний”, частоту сигналу $f_c = 50$ Гц. Виміряти спочатку напруги u_1 , u_2 за допомогою приладу DISCO2 (див. рис. 1.1), а потім одним із каналів цього приладу напругу генератора u . Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u , u_1 і u_2 . Записати в табл. 1.2 діючі значення напруг U , U_1 і U_2 .

1.8. Розрахувати ємність C конденсатора для виникнення резонансу на частоті $f = 3f_c$. Встановити, визначене значення C на магазині ємностей. Увімкнути генератор. Виміряти спочатку напруги u_1 , u_2 за допомогою приладу DISCO2, а потім одним із каналів цього приладу напругу генератора u . Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u , u_1 і u_2 . Записати в табл. 1.2 діючі значення напруг U , U_1 і U_2 .

1.9. Встановити значення C на магазині ємностей, що відповідає резонансу на частоті f_c . Увімкнути генератор. Виставити вид сигналу “трикутний”, частоту сигналу $f_c = 50$ Гц. Виміряти спочатку напруги u_1 , u_2 за допомогою приладу DISCO2 (див. рис. 1.1), а потім одним із каналів цього приладу напругу генератора u . Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u , u_1 і u_2 . Записати в табл. 1.2 діючі значення напруг U , U_1 і U_2 .

1.10. Встановити значення C на магазині ємностей, що відповідає резонансу на частоті $f = 3f_c$. Увімкнути генератор. Виміряти спочатку напруги u_1 , u_2 за допомогою приладу DISCO2, а потім одним із каналів цього приладу напругу генератора u . Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u , u_1 і u_2 . Записати в табл. 1.2 діючі значення напруг U , U_1 і U_2 .

Таблиця 1.2

Вид сигналу	U , В	U_1 , В	U_2 , В
Прямокутний			
Трикутний			

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Для виконання віртуального експерименту використовується програмний пакет Multisim Electronics Workbench (EWB). За допомогою його засобів, зокрема елементної бази, і вимірювальних інструментів виконують віртуальні експерименти.

2.2. Завантажити з папки “Схеми” на робочому столі файл з іменем spc.ewb (рис. 2.1). Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим за результатами фізичного експерименту п. 2.7. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути цю ж кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_1(t)$ і $u_2(t)$. Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u_1 і u_2 . Записати в табл. 2.1 діючі значення напруг U_1 і U_2 .

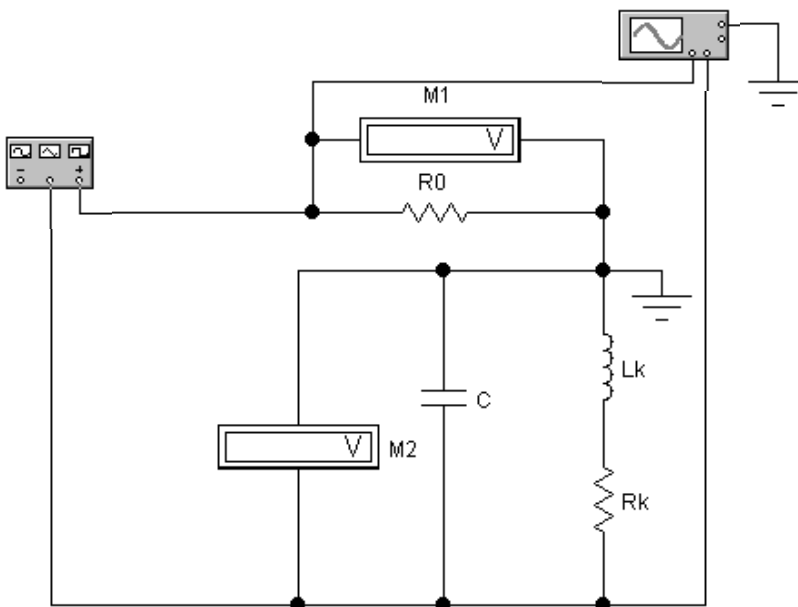


Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.3. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим за результатами фізичного експерименту п. 2.8. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути ту саму кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_1(t)$ і $u_2(t)$. Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u_1 і u_2 . Записати в табл. 2.1 діючі значення напруг U_1 і U_2 .

2.4. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим за результатами фізичного експерименту п. 2.9. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути ту саму кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться

часові діаграми напруг $u_1(t)$ і $u_2(t)$. Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u_1 і u_2 . Записати в табл. 2.1 діючі значення напруг U_1 і U_2 .

2.5. Встановити значення параметрів джерела та елементів такими, що дорівнюють обчисленим за результатами фізичного експерименту п. 2.10. Натиснути кнопку “Старт” (Ctrl+G) у верхньому правому кутку віконця програми і відразу повторно натиснути ту саму кнопку (Ctrl+T). У віконці “Oscilloscope” з’являться часові діаграми напруг $u_1(t)$ і $u_2(t)$. Зберегти знімок екрана осцилографа з осцилограмами напруг u_1 і u_2 . Записати в табл. 3 діючі значення напруг U_1 і U_2 .

Таблиця 2.1

Вид сигналу	U , В	U_1 , В	U_2 , В
Прямокутний			
Трикутний			

2.6. Оброблення результатів

2.6.1. Побудувати часові діаграми трикутного і прямокутного сигналів за такими виразами:

$$u(\omega t) = \frac{8U_m}{\pi^2} \left(\sin(\omega t) - \frac{1}{9} \sin(3\omega t) + \frac{1}{25} \sin(5\omega t) - \frac{1}{49} \sin(7\omega t) \right);$$

$$u(\omega t) = \frac{4U_m}{\pi} \left(\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) \right)$$

і порівняти їх з відповідними сигналами знятими у фізичному та віртуальному експериментах.

2.6.2. Побудувати часові діаграми трикутного і прямокутного сигналів за відсутності першої гармоніки за такими виразами:

$$u(\omega t) = \frac{8U_m}{\pi^2} \left(-\frac{1}{9} \sin(3\omega t) + \frac{1}{25} \sin(5\omega t) - \frac{1}{49} \sin(7\omega t) \right);$$

$$u(\omega t) = \frac{4U_m}{\pi} \left(\frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) \right)$$

і порівняти їх з відповідними сигналами, знятими у фізичному та віртуальному експериментах.

3. ВИСНОВКИ

Зробити висновки на підставі фізичного та віртуального експериментів.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яких гармонік немає в сигналі трикутної форми?
2. Яке явище (режим) можна використати для вилучення певних гармонік?
3. Чи правильне твердження, що амплітуда вищої гармоніки більша за амплітуду нижчої гармоніки?

Лабораторна робота № 10

Дослідження послідовного з'єднання конденсатора і котушки з феромагнітним осердям (явище ферорезонансу)

Мета роботи: ознайомитись з особливостями процесів за послідовного з'єднання нелінійної котушки та конденсатора. Пояснити стрибки струму за зміни напруги.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Визначення залежності $U_L=f(I)$. Зібрати схему на фізичній моделі згідно з рис. 1.1. Виводи DISCO2 під'єднати згідно зі схемою (канал А – червоний колір, канал В – синій колір).

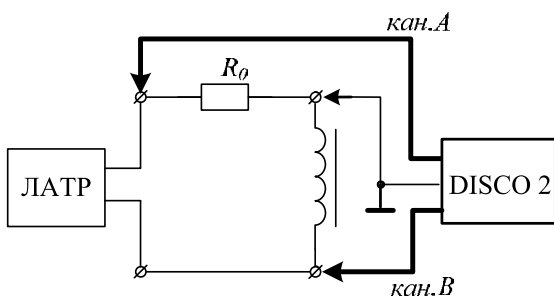


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.2. Ввімкнути комп'ютер і схему лабораторної роботи. Ввійти в систему DISCO2. Встановити часову розгортку таку, щоб на моніторі у вимірювальному вікні DISCO2 відображалось декілька періодів ($T = 20$ мс), а частота сигналу дорівнювала 50 Гц.

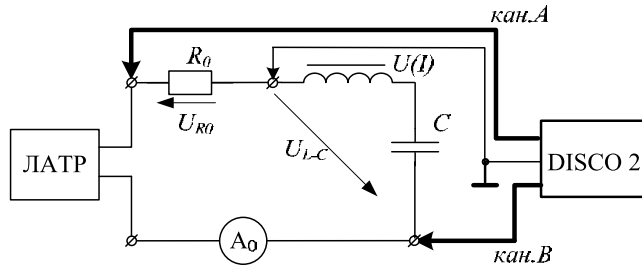
1.3. Змінюючи напругу живлення (0–30 В) за допомогою ЛАТРу вимірюємо значення U_L і U_{R0} . Дані записуємо в табл. 1.1. Після завершення експерименту ЛАТР повернути у вихідне положення.

Таблиця 1.1

№ з/п	U_L , В	U_{R0} , В	$I = U_{R0}/R_0$, А
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
...			

1.4. Зібрати схему послідовного з'єднання котушки і конденсатора С1 (рис. 1.2). Для виявлення явища ферорезонансу необхідно під'єднати амперметр А₀ з границею вимірювання до 2,5 А.

Рис. 1.2. Схема електричного кола



1.5. Поступово змінюючи напругу живлення (0–30 В) знімаємо залежність напруги $U_{L-C} = f(I)$ під час зростання напруги, а також і за зменшення напруги до нуля. **Увага!** Під час експерименту необхідно точно зафіксувати значення стрибків струму. Дані записати в табл. 1.2.

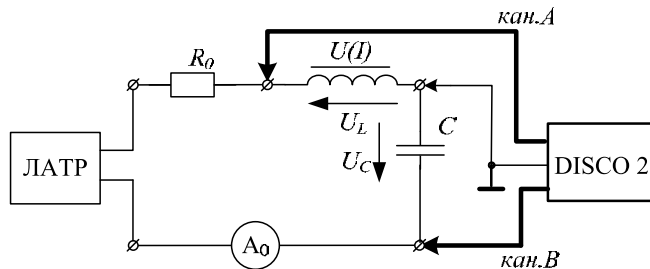
Таблиця 1.2

	№ з/п	U_{L-C} , В	U_{R0} , В	I_A , А	$I = U_{R0}/R_0$, А
Зростання напруги ↓	U_{min}	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
	U_{max}	7			
Спадання напруги ↓	U_{max}	8			
		9			
		10			
		11			
		12			
		13			
	U_{min}	14			

Примітка. Зменшувати напругу необхідно через 2–3 кроки після першого стрибка струму.

1.6. Перемкнути виводи осцилографа згідно з рис. 1.3.

Рис. 1.3. Схема електричного кола



1.7. За допомогою ЛАТРу встановити значення струму, з якого здійснюється стрибок струму за зменшення напруги і поміряти напруги U_L і U_C .

$$U_L = \dots \text{ [В]} \quad U_C = \dots \text{ [В]}.$$

1.8. За вимірними даними визначаємо величину ємності

$$C = \frac{1}{x_c \cdot 2\pi F}.$$

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Ввійти в середовище Matlab. Відкрити файл (вказує викладач) і ввести у відповідному форматі напругу і струм нелінійної котушки відповідно з табл. 1.1.

2.1. Запустити відкритий файл на виконання й отримати графік інтерпольованої вольт-амперної характеристики нелінійної котушки. Зберегти цей графік у файл.

2.3. Аналогічно відтворити вольт-амперну характеристику ємності і зберегти її у файл.

2.4. За допомогою тієї самої програми Matlab отримати сумарну вольт-амперну характеристику за послідовного з'єднання нелінійної котушки та ємності. Зберегти цю характеристику у файл.

2.5. Використовуючи графік результуючої вольт-амперної характеристики, визначити величину струму за збільшення напруги та зменшення напруги джерела.

$$I_{(зб)} = \dots \text{ [А]} \quad I_{(зм)} = \dots \text{ [А]}.$$

3. ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Порівняти величини струмів стрибків, отриманих за фізичного та математичного експериментів.

3.2. Визначити похибку проведення фізичного експерименту, як

$$\delta_{зб} = \frac{I_{(зб)}\phi - I_{(зб)м}}{I_{(зб)}\phi} \cdot 100 \% ;$$

$$\delta_{зм} = \frac{I_{(зм)}\phi - I_{(зм)м}}{I_{(зм)}\phi} \cdot 100 \% .$$

4. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть ферорезонансу?
2. Який ферорезонанс виникає за послідовного з'єднання нелінійної котушки та ємності?
3. Що таке "мертва зона"?
4. Чому виникають стрибки струму?

Лабораторна робота № 11

Дослідження однофазного трансформатора

Мета роботи: ознайомитися з будовою і принципом дії однофазного трансформатора; визначити коефіцієнт трансформації, параметри заступної схеми трансформатора, коефіцієнт корисної дії та відносну зміну вторинної напруги трансформатора.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом, провести зовнішній огляд трансформатора. Номінальну потужність S_H , номінальні напруги первинної U_{1H} та вторинної U_{2H} обмоток з паспорта трансформатора записати в табл. 1.1. Обчислити номінальні струми обидвох обмоток $I_{1H} = S_H / U_{1H}$; $I_{2H} = S_H / U_{2H}$ та записати їхні значення в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

S_H , ВА	U_{1H} , В	U_{2H} , В	U_K , %	I_{1H} , А	I_{2H} , А

1.2. Дослідження неробочого ходу.

1.2.1. Для проведення досліду неробочого ходу зібрати схему на фізичній моделі згідно рис. 1.1. Виводи DISCO2 під'єднати згідно зі схемою (канал А – червоний колір, канал В – чорний колір)

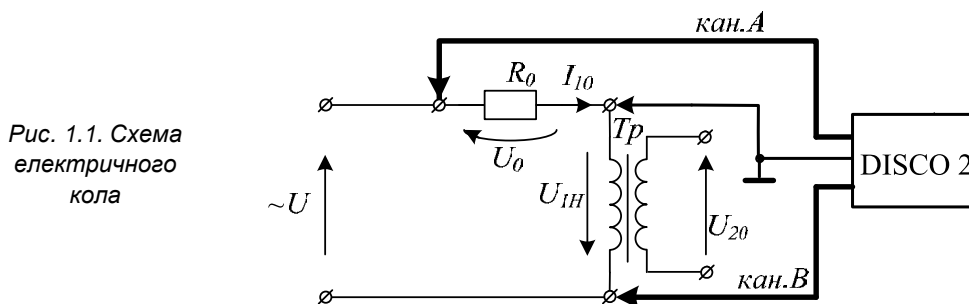


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.2.2. Увімкнути комп'ютер, запустити файл DISCO2, на робочому вікні встановити однакові масштаби напруги каналів. Увімкнути напругу живлення схеми. На первинну обмотку трансформатора подати номінальну напругу. Мишкою натиснути кнопку ▶однокр. На екрані виведуться часові залежності $U_0(t)$ і $U_{1H}(t)$. У нижній частині екрана [Загальні параметри сигналів] подаються значення величини напруги і частоти (U – діюче значення, F – частота). Використовуючи задані значення опору R_0 , визначаємо струм $I_{10} = U_0 / R_0$. Значення U_0 , U_{1H} та I_{10} записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

U_0 , В	U_{1H} , В	I_{10} , А	T_2-T_1 , мс	φ_{10} , град	U_{20} , В	K	R_0	X_0	P_{10}

1.2.3. Для визначення кута зсуву фаз між напругами $U_{1H}(t)$ і струмом $i_{10}(t)$ необхідно за допомогою мишки встановити маркери 1 (коричневий) і 2 (зелений) у верхній частині екрана на точки переходу напруг через нуль. Попередньо у вікні [Аналогові сигнали] вибрати [оброблення] і ввімкнути дію $\underline{A} = -A$. У нижній частині [Параметри сигналів під маркером] отримаємо значення зміщення в часі T_2-T_1 між цими координатами.

Визначити кут зсуву фаз $\varphi_{10} = 360^\circ(T_2-T_1) \cdot F$.

Значення T_2-T_1 та φ_{10} записати в табл. 1.2.

1.2.4. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та приєднати їх згідно з рис. 1.2.

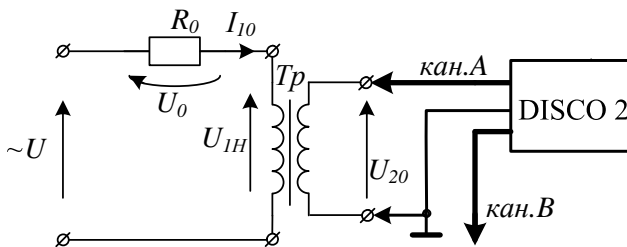


Рис. 1.2. Схема електричного кола

Одним з каналів цього приладу (канал А) виміряти напругу вторинної обмотки U_{20} . Діюче значення U_{20} записати в табл. 1.2.

1.3. Дослід короткого замикання.

1.3.1. За виразом $U'_0 = R_0 \cdot I_{1K}$ обчислити напругу шунтового резистора (шунта).

1.3.2. Ручку регулятора автотрансформатора перевести (повернути) у нульове положення.

1.3.3. Зібрати схему згідно з рис. 1.3.

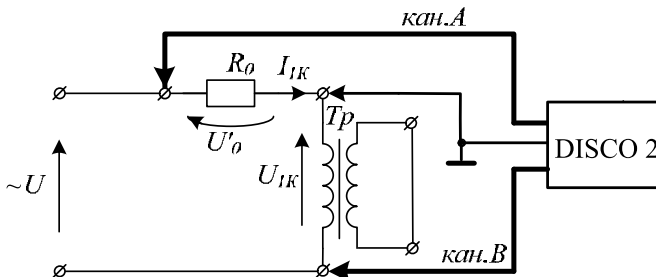


Рис. 1.3. Схема електричного кола

1.4.4. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та приєднати їх згідно з рис. 1.5.

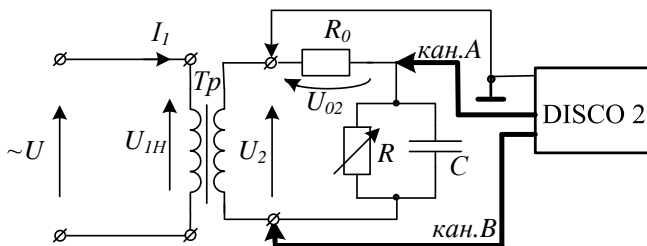


Рис. 1.5. Схема електричного кола

Виміряти діючі значення U_{02} , U_2 та зміщення в колі $(T_2 - T_1)_2$.

Обчислити $I_2 = U_{02} / R_0$ та $\varphi_2 = 360^\circ (T_2 - T_1)_2 \cdot F$.

Значення U_{02} , $(T_2 - T_1)_2$, U_2 , I_2 , та φ_2 записати в табл. 1.4.

1.4.5. Пункти 1.4.3. та 1.4.4. виконати для II, III та IV положень ручки перемикача навантаження трансформатора.

Усі вимірювання та обчислення, проведені у пунктах 1.4.3 та 1.4.4, виконати для II, III та IV положень ручки перемикача навантаження трансформатора. Результати вимірювань та обчислень записати в табл. 1.4.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Ввійти в середовище Matlab. Відкрити файл (вказує викладач) і ввести у відповідному форматі напругу і струм неробочого режиму трансформатора з табл. 1.2.

2.2. Запустити відкритий файл на виконання й отримати графік інтерпольованої вольт-амперної характеристики неробочого режиму трансформатора. Зберегти цей графік у файл.

2.3. За допомогою програми Matlab отримати часову характеристику струму первинної обмотки трансформатора. Зберегти цю характеристику у файл.

3. ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

3.1. Використовуючи дані, отримані з досліду неробочого ходу трансформатора (табл. 1.2) за виразами

$$k = \frac{U_{1H}}{U_{20}}; z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; R_0 = z_0 \cos \varphi_{10}; x_0 = z_0 \sin \varphi_{10}; P_{10} = I_{10}^2 R_0$$

Визначити коефіцієнт трансформації k , поперечні параметри заступної схеми трансформатора R_0 ; x_0 та втрати потужності неробочого ходу (втрати в сталі) трансформатора P_{10} . Результати обчислень записати в табл. 1.2.

3.2 Використовуючи дані, отримані з досліду короткого замикання трансформатора (табл. 1.1) за виразами

$$z_{1k} = \frac{U_{1k}}{I_{1H}}; R_{1k} = z_{1k} \cos \varphi_{1k}; x_{1k} = z_{1k} \sin \varphi_{1k}; R_1 = R_2' = \frac{R_{1k}}{2}; x_1 = x_2' = \frac{x_{1k}}{2};$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{k^2}; x_2 = \frac{x_2'}{k^2}; P_{1k} = I_{1H}^2 \cdot R_{1k}; U_k = \frac{U_{1k} [B]}{U_{1H} [B]} \cdot 100 \%$$

визначити активні R_1, R_2 та реактивні опори x_1, x_2 обмоток трансформатора, втрати потужності короткого замикання P_{1k} та напругу короткого замикання (втрати в міді) $U_{k1} \%$.

Результати обчислень записати в табл. 1.3.

3.3. Використовуючи дані з режиму навантаження трансформатора (табл. 1.4) за виразами

$$\Delta U = \frac{U_{1H} - U_2'}{U_{1H}} \cdot 100\%; \quad \eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{1k} + P_{10}}$$

визначити відносну зміну вторинної напруги ΔU та ККД трансформатора η , де коефіцієнт навантаження трансформатора

$$\beta = \frac{I_1}{I_H} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

Результати обчислень записати в табл. 1.4.

3.4. Побудувати залежності $\Delta U = f(\beta)$ та $\eta = f(\beta)$.

3. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Пояснити мету проведення досліду неробочого ходу.
2. Пояснити мету досліду короткого замикання.
3. Як провести досліди неробочого ходу та короткого замикання?
4. Як у заступній схемі трансформатора визначити приведені струм I_2' , напругу U_2' та опори R_2', x_{21}' вторинної обмотки.

1.2. Скласти схему рис. 1.2, *а* послідовного узгодженого з'єднання двох котушок і виміряти діючі значення напруг U_A , U_B згідно з алгоритмом, поданим у п. 1. Результати вимірювань записати в табл. 1.2.

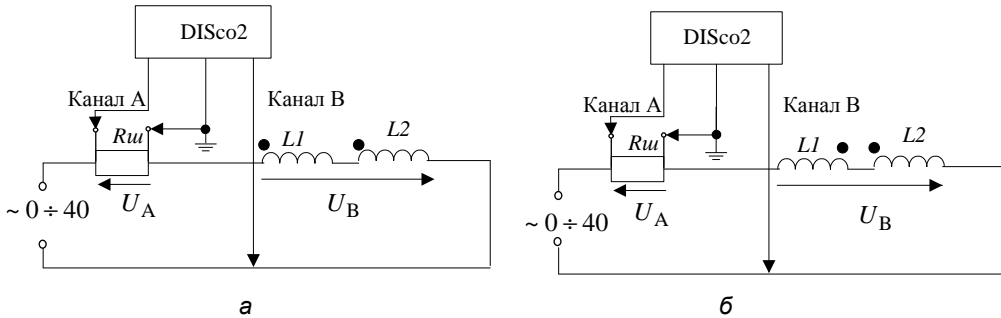


Рис. 1.2. Схеми непрямого вимірювання взаємної індуктивності

Таблиця 1.2

	Вимірювання		Обчислення			
	U_B , В	U_A , В	$I = U_A/R_{ш}$, А	Z , Ом	X , Ом	M , Гн
Узгоджене з'єднання						
Зустрічне з'єднання						

1.3. Скласти схему рис. 1.2, *б* послідовного зустрічного з'єднання двох котушок. Результати вимірювань записати в табл. 1.2.

1.4. Опрацювання результатів експериментів

1.4.1. Обчислити параметри індуктивних котушок згідно з поданим нижче алгоритмом. Результати розрахунків записати у табл. 1.1.

Нехтуючи споживанням потужності вимірювальних приладів, величину повного опору Z котушки визначають на підставі закону Ома:

$$Z_X \cong \frac{U_B}{I}, \quad (1)$$

де U_B – діюче значення напруги на котушці (канал В осцилографа); $I = \frac{U_A}{R_{ш}}$ – діюче значення струму котушки (U_A – діюче значення напруги каналу А осцилографа, $R_{ш} = 1$ Ом – опір шунта класу точності 0,1 %).

1.4.3. За результатами експериментів (п. 1.2, 1.3) обчислити значення взаємної індуктивності M і похибки вимірювання. Значення похибок записати у табл. 1.4.

Взаємну індуктивність M визначають методом амперметра й вольтметра, за умови, що відомі активна та реактивна складові повного опору котушок.

За узгодженого з'єднання двох котушок (рис. 1.2, *a*) сумарний реактивний опір схеми визначається:

$$X_y = X_1 + X_2 + 2X_m = \omega L_1 + \omega L_2 + 2\omega M. \quad (9)$$

Нехтуючи споживанням потужності вимірювальних приладів, величину повного опору Z схеми визначають на підставі закону Ома:

$$Z_y = \frac{U_B}{I} = \sqrt{R^2 + X_y^2}, \quad \text{де } R = R_1 + R_2,$$

звідки $X_y = \sqrt{Z_y^2 - R^2}.$

Сумарний реактивний опір схеми рис. 1.2, *б* за зустрічного з'єднання двох котушок

$$X_3 = X_1 + X_2 - 2X_m = \omega L_1 + \omega L_2 - 2\omega M. \quad (10)$$

Повний опір Z_3 схеми (рис. 2, *б*) визначається за показами вимірювальних приладів

$$Z_3 = \frac{U_B}{I} = \sqrt{R^2 + X_3^2},$$

звідки $X_3 = \sqrt{Z_3^2 - R^2}.$

Сумісне розв'язування рівнянь (9) і (10) дає змогу визначити взаємну індуктивність котушок

$$M = \frac{X_y - X_3}{4\omega} = \frac{L_y - L_3}{4}. \quad (11)$$

Граничні значення відносної ($\delta_{\Gamma.P.Z}$) та абсолютної ($\Delta_{\Gamma.P.Z}$) похибок вимірювання повного опору Z та його реактивної складової X ($\delta_{\Gamma.P.X}, \Delta_{\Gamma.P.X}$) визначаються згідно з рівняннями (4-7).

Тоді, граничні значення відносної та абсолютної похибок вимірювання взаємної індуктивності

$$\delta_{\Gamma.P.M} = \pm \left(\delta_{\Gamma.P.X_y} + \delta_{\Gamma.P.X_3} \right), \quad (12)$$

$$\Delta_{\Gamma.P.M} = M \cdot \delta_{\Gamma.P.M}. \quad (13)$$

Результат вимірювання подамо у стандартизованій формі

$$M_X = M \pm \Delta_{\Gamma.P.M}. \quad (14)$$

Таблиця 1.4

	$\delta_{ГР.Z}$, %	$\Delta_{ГР.Z}$, Ом	$\delta_{ГР.X}$, %	$\Delta_{ГР.X}$, Ом	$\delta_{ГР.M}$, %	$\Delta_{ГР.M}$, Гн
Узгоджене з'єднання						
Зустрічне з'єднання						

1.4.4. Порівняти розраховані значення індуктивностей L_1 , L_2 з показами цифрового вимірювача L - C -параметрів.

2. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Навести схему непрямого вимірювання параметрів котушки індуктивності.
2. Від чого залежать граничні значення похибок вимірювання параметрів котушки індуктивності?
3. Навести схему вимірювання взаємної індуктивності котушок.
4. У яких випадках нехтують методичною похибкою під час вимірювання параметрів котушки індуктивності?

Лабораторна робота № 13

Вимірювання параметрів електричних сигналів

Мета роботи: ознайомитись з функціональними можливостями цифрового вимірювального комплексу DISCO та отримання практичних навичок у користуванні ним під час вимірювання параметрів електричних сигналів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. Встановити частоту генератора періодичних імпульсів напруги (ГПІ) в межах 1000–2000 Гц та максимальну амплітуду вихідного сигналу (10–15 В). Вибрати один з трьох типів сигналів (прямокутної, пилоподібної чи синусоїдної форми).

1.2. Підготувати ЦВК до роботи. Задати розмах шкали напруги на панелі 6 “Канал А (В/дел)” за допомогою ручки налаштувань 7 згідно з алгоритмом: встановити курсор на червоний трикутник 7 ручки налаштувань → натиснути ліву кнопку миші, після чого, не відпускаючи її, пересувати мишу до встановлення маркера 7 на позначці 5 В чи 10 В (рис. 1.1).

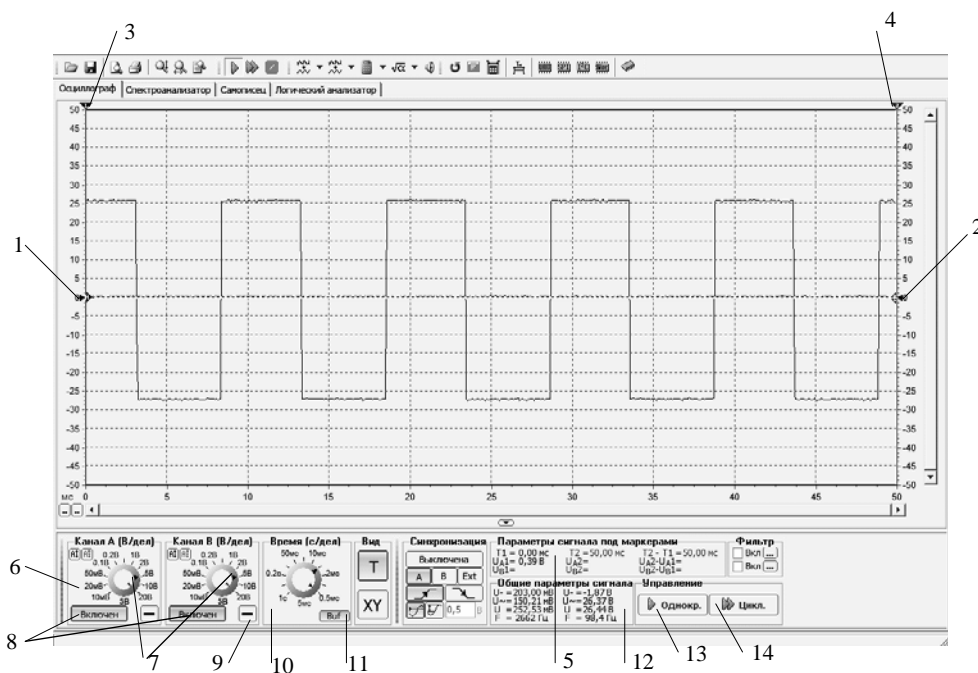
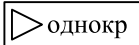


Рис. 1.1. Робоче вікно програми під час роботи в режимі осцилографа

“Канал В (В/дел)” відімкнути через активування кнопки 8 увімкнення/вимкнення каналів. Активування кнопки здійснюється встановленням курсора на відповідну кнопку та кліком лівої клавіші миші. Задати розгортку, з якою відбувається відображення вхідного аналогового сигналу за допомогою ручки налаштувань 10 панелі “Время

(с/дел)” згідно з алгоритмом: встановити курсор на червоний трикутник 10 ручки налаштувань → натиснути ліву кнопку миші, після чого, не відпускаючи її, пересувати мишу до встановлення маркера 10 на відмітці 2 мс чи 10 мс.

1.3. Під’єднати щупи каналу А (червоного кольору) ЦВК до клем генератора (“Земля” генератора повинна бути з’єднаною із “Землею” ЦВК).

1.4. Для проведення вимірювань необхідно активувати кнопку 13  однокр

й записати в табл. 1.1 діюче значення напруги U та частоту коливань F (панель 12 “Загальні параметри сигналу”), періоду сигналу (встановити вертикальні маркери 3,4, розташовані над екраном у точках, що відповідають періоду, результати вимірювань – панель 5 “параметри сигналу під маркером”) та максимального значення напруги U_m (встановити горизонтальний маркер 1 в точці, що відповідає максимальному значенню напруги, результати вимірювань – панель 5 “параметри сигналу під маркером”).

1.5. Зберегти результати вимірювань на зовнішніх носіях інформації, під’єднаних до комп’ютера через USB-порт.

Таблиця 1.1

	Діюче значення напруги U	Амплітуда імпульсу U_m	Постійна складова напруги U_-	Змінна складова напруги U_{\approx}	Період T	Частота F
1. Сигнал прямокутної форми						
2. Сигнал пилоподібної форми						
3. Сигнал синусоїдної напруги						

1.6. Опрацювання результатів експериментів.

1.6.1. За результатами експериментів (п. 4) граничні значення відносних похибок вимірювання діючого значення напруги $\delta_{ГР,U}$ та частоти коливань $\delta_{ГР,F}$ визначають так:

$$\delta_{ГР,U} = \gamma_{АЦП,ГР} \cdot \frac{U_H}{U}; \quad \delta_{ГР,F} = \gamma_{АЦП,ГР} \cdot \frac{F_H}{F}, \quad (1)$$

де $U_H; F_H$, – номінальні значення напруги й частоти; $U; F$ – виміряні значення напруги й частоти, $\gamma_{АЦП,ГР} = 1\%$ – граничне значення похибки перетворення АЦП.

Тоді граничні значення абсолютних похибок вимірювання напруги й частоти:

$$\Delta_{ГР,U} = U \cdot \delta_{ГР,U}; \quad \Delta_{ГР,F} = F \cdot \delta_{ГР,F}. \quad (2)$$

Подамо шукані параметри у стандартизованій формі

$$U_X = U \pm \Delta_{ГР,U}; \quad F_X = F \pm \Delta_{ГР,F}. \quad (3)$$

1.6.2. Значення похибок записати у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

	Граничне значення відносної похибки вимірювання напруги $\delta_{ГР,У} (\%)$	Граничне значення відносної похибки вимірювання частоти $\delta_{ГР,Ф} (\%)$	Граничне значення абсолютної похибки вимірювання напруги $\Delta_{ГР,У} (В)$	Граничне значення абсолютної похибки вимірювання частоти $\Delta_{ГР,Ф} (Гц)$	k_c	k_a
1. Сигнал прямокутної форми						
2. Сигнал пилоподібної форми						
3. Сигнал синусоїдної напруги						

1.6.3. За результатами експериментів (п. 4) обчислити коефіцієнт спотворення

$$k_c = \frac{U_1}{U},$$

де U_1 – діюче значення основної гармоніки напруги, U – діюче значення напруги та коефіцієнт амплітуди

$$k_a = \frac{U_{\max}}{U},$$

де U_{\max} – максимальне значення напруги.

1.6.4. Отримані часові залежності $u(t)$, записані на флеш-пам'ять, роздрукувати та долучити до звіту.

2. ВИСНОВКИ

За результатами експериментів порівняти результати фізичного й віртуального експериментів й зробити висновки.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як визначити амплітуду імпульсів за допомогою осцилографа?
2. Як визначити часовий інтервал між двома точками чи періоду сигналу?
3. Як визначається відносна похибка вимірювання напруги та частоти?
4. Пояснити призначення органів керування цифрового вимірювального комплексу DISCO.
5. Навести приклад запису результату вимірювання напруги та частоти в стандартизованій формі.

Розділ 3

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ У СЕРЕДОВИЩІ ORCAD

Інструкція

до лабораторного практикуму в середовищі ORCAD

Виконання лабораторних робіт з теорії електронних кіл на персональному комп'ютері полягає у заміні натурального експерименту його комп'ютерним моделюванням за допомогою програмного комплексу OrCAD 16.6 Lite (<http://www.orcad.com/products/orcad-overview>), до базового комплексу якого входять модулі OrCAD Capture і PSpice. Для підготування графічного зображення електронної схеми використовують OrCAD Capture, який генерує файл з описом схеми. Цей файл містить перелік аналогових пристроїв, елементів, топологічний опис електронної схеми та виконавчі команди, які PSpice використовує для моделювання. Результати моделювання електронних кіл з аналоговими пристроями виводять у вигляді графіків, які можна побачити на екрані дисплея та надрукувати. Також доступний широкий комплект різноманітних функцій для обчислення параметрів сигналів, які можна задавати окремо чи у макросах.

До базових режимів роботи програмного комплексу належать аналіз на постійному струмі, аналіз гармонічних усталених режимів, аналіз перехідних процесів, які можна виконувати з різними формами вхідних сигналів. Додатковими типами аналізу є параметричний аналіз, аналіз методом Монте–Карло та аналіз чутливості, які показують поведінку електронного кола залежно від відхилення чи зміни параметрів елементів. Бібліотека елементів містить понад 11 300 аналогових моделей пристроїв, які виготовляють у Північній Америці, Японії та Європі. PSpice має вбудовані числові моделі з параметрами, які можна змінювати для вказаних пристроїв. PSpice підтримує дослідження поведінки пристроїв, складених з функціональних блоків електронного кола з використанням математичних виразів і функцій.

Система PSpice дає змогу виконувати такі види аналізу:

- розрахунок на постійному струмі зі зміною параметрів для отримання низки вольт-амперних характеристик та інших обчислень. До них зараховують розрахунок напруг і струмів зі зміною параметрів джерел та елементів, температури у визначених межах, аналіз чутливості низки напруг як функції заданої величини, малосигнальні коефіцієнти пересилання, вхідні та вихідні опори як функції заданих параметрів;

- розрахунок перехідних процесів (часовий аналіз) – залежність струмів і напруг від часу;


- частотний аналіз – залежність амплітуд, фаз напруг і струмів лінеаризованої моделі електронної схеми від частоти гармонічного сигналу генератора.

Зауважимо, що використаний програмний комплекс OrCAD PSpice буде схемні зображення в стандарті, прийнятому в США, який певною мірою відрізняється від позначень, прийнятих в Україні.

ПІДГОТУВАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Роботу з системою PSpice починають із запуску програми OrCAD Capture. Для виконання лабораторного завдання треба відкрити план завдання (*project*) з описом відповідної схеми в такій послідовності:

1. У стартовому меню (*Start / All Programs / Cadence*) операційної системи Windows запускають програму *OrCAD Capture CIS Lite*.

2. За допомогою менеджера завдань (*Project Manager*) з меню *File (Open / Project...)* чи, натиснувши піктограму , відкривають проект, до прикладу, *LR_011*, ... тощо. На екрані дисплея з'явиться зображення електронної схеми (рис. 1).

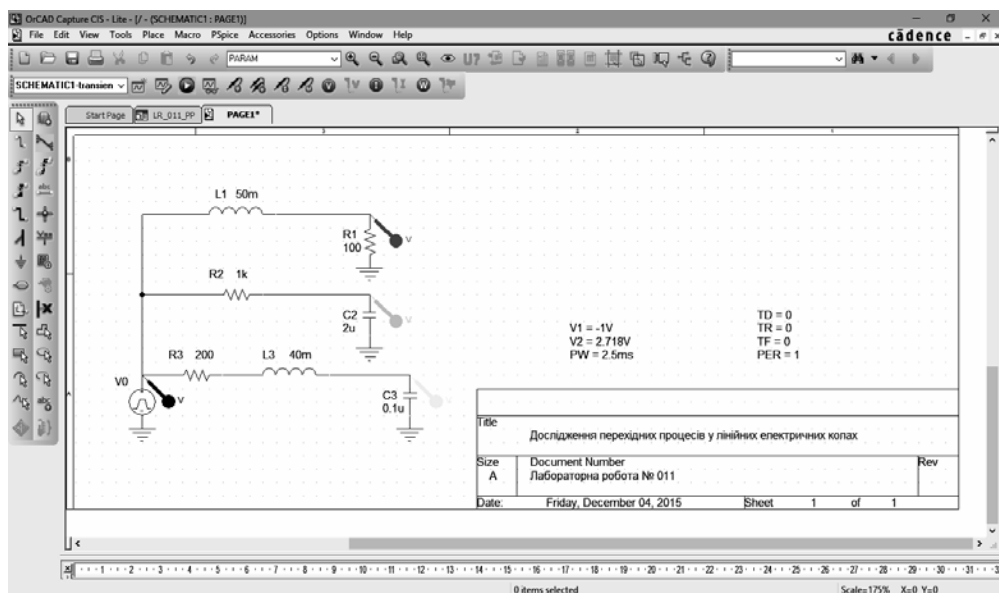






Рис. 1. Приклад зображення електронної схеми

Для зміни масштабу зображення достатньо натиснути піктограму  (*Zoom to all*) чи інші, які встановлюють потрібний масштаб:  – *Zoom in*,  – *Zoom out*,  – *Zoom to region*.

Для виконання заданої лабораторної роботи необхідно отримати у викладача вихідні дані, ввести відповідно до завдання значення параметрів елементів схеми,

джерел живлення чи генераторів. Для введення чи зміни параметрів компонент потрібно навести курсор на поле відповідного параметра, натиснути двічі ліву клавішу “миші” і ввести з клавіатури його значення для резисторів, конденсаторів, котушок індуктивностей, джерел напруги чи струму, ім’я вузла чи назву компоненти тощо.

Для зручності введення параметрів елементів застосовують стандартне масштабування чисел за допомогою суфіксів (табл. 1).

Таблиця 1

Масштабні коефіцієнти

Префікс	Масштабний коефіцієнт	Назва
f	10^{-15}	фемто
p	10^{-12}	піко
n	10^{-9}	нано
u	10^{-6}	мікро
m	10^{-3}	мілі
k або K	10^3	кіло
MEG	10^6	Мега
G	10^9	Гіга
T	10^{12}	Тера


Зауваження. У комплексі OrCAD великі та малі літери не розрізняються.

До масштабних префіксів дає змогу дописувати інші літери для наочності позначень. Наприклад, опір 5,1 кОм можна записати так: 5100, 5.1K, 5.1KOhm, 5.1e3, 0.0051e3K. Зокрема, префікс дає змогу приєднувати й до чисел, поданих у формі з плаваючою комою.

Опори, ємності та індуктивності повинні бути постійними величинами і можуть набувати як додатні, так і від’ємні, однак у жодному разі **не нульові значення**.

Помилки, які виникають під час трансляції схеми та її моделювання, виводяться на екран дисплея і записуються у вихідний файл *.OUT.

ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Перед розрахунком схеми треба задати вид аналізу і ввести відповідні параметри. Для цього потрібно активізувати пункт меню опції *PSpice / Edit Simulation Profile* (рис. 2, а) чи піктограму , внаслідок чого на місці меню з’явиться віконце з параметрами (рис. 2, б).

Потім вибирають вид аналізу і вводять (змінюють) значення параметрів цього виду аналізу відповідно до завдання. У розроблених віртуальних лабораторних роботах потрібно вводити тільки певні параметри, оскільки інші задано за замовчуванням і не потребують зміни. Щоб повернутися в загальне меню, необхідно натиснути *OK* чи *Cancel*.

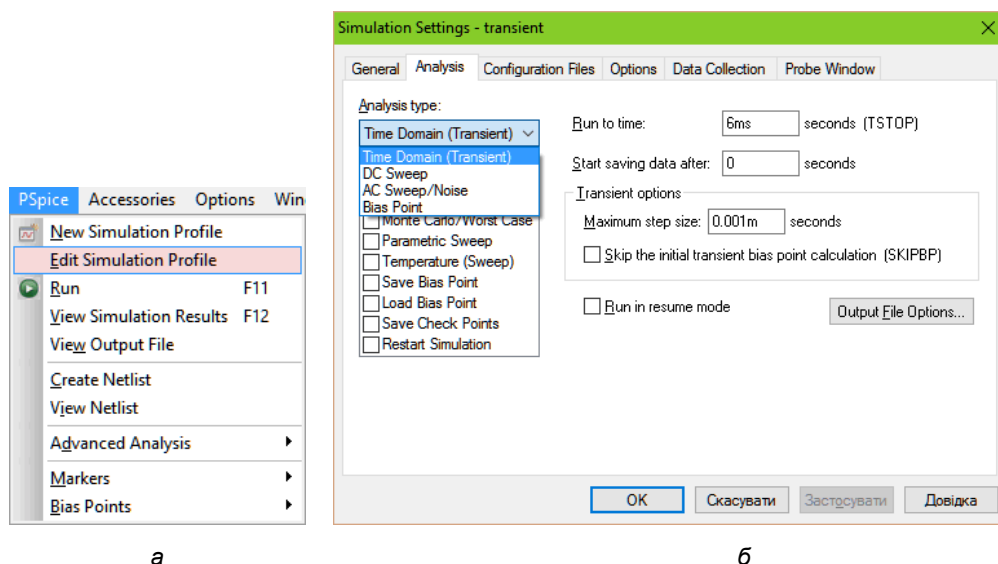
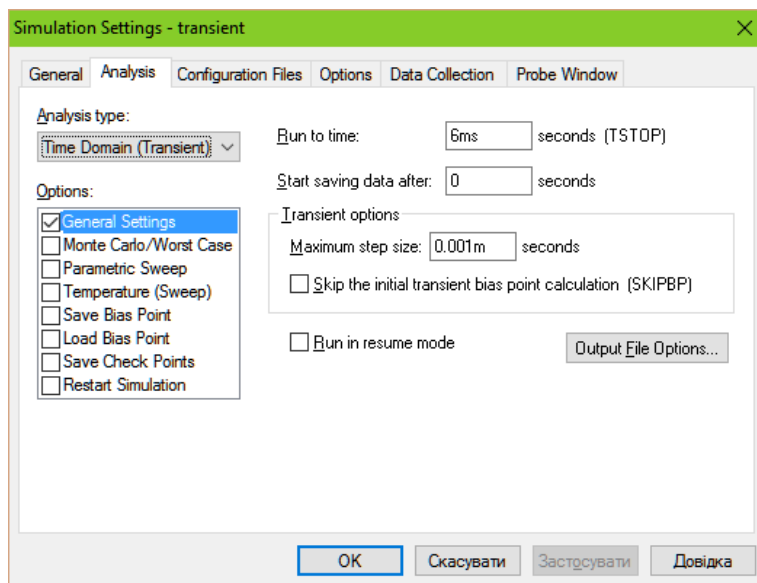


Рис. 2. Меню опцій аналізу

Для одержання осцилограм (графіків перехідних процесів) треба встановити режим розрахунку перехідних процесів (часовий аналіз) *Time Domain (Transient)* і ввести значення часового інтервалу T_{\max} у віконце *Run to time (TSTOP)*, якщо це вказано в завданні до роботи (рис. 3). Звичайно цей інтервал встановлюють експериментально з міркувань зручності і наочності відображення на рисунках часових залежностей.



Щоб отримати АЧХ і ФЧХ, потрібно задати частотний аналіз *AC Sweep/Noise* і ввести межі зміни частоти $F_{\text{поч}}$, $F_{\text{кін}}$ у віконця *Start Frequency*, *End Frequency* (рис. 4). За потреби можна змінити кількість точок на лінійній шкалі чи декад на логарифмічній шкалі *Points/Decade* заданого частотного інтервалу, для яких буде виконано частотний аналіз.

Статичні характеристики одержують за допомогою аналізу на постійному струмі *DC Sweep*. Тут у віконці *Sweep variable* вводять ім'я параметра *Name*, який потрібно змінювати, у віконці *Sweep type* його межі зміни (рис. 5). За потреби можна змінити тип і крок заданого інтервалу зміни параметра, для яких буде виконано статичний аналіз.

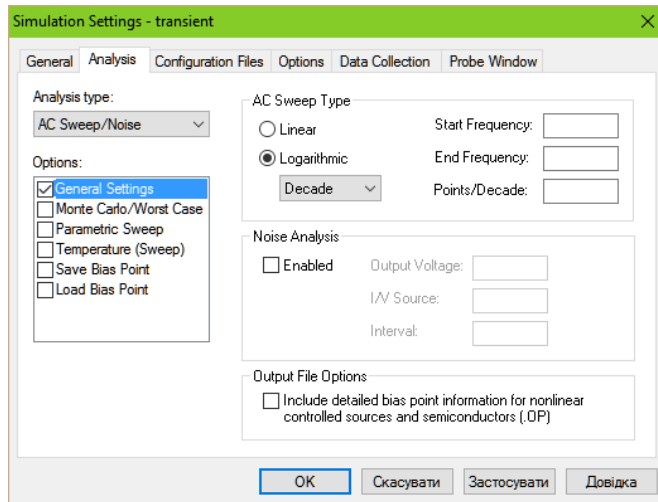


Рис. 4. Завдання режимів частотного аналізу

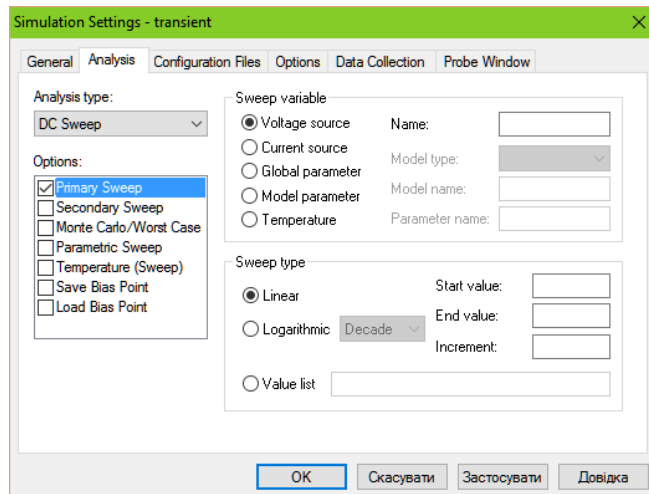
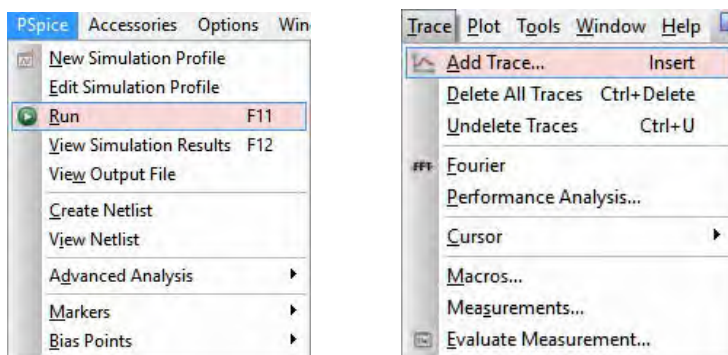





Рис. 5. Завдання режимів статичного аналізу

РОЗРАХУНОК СХЕМИ, ПЕРЕГЛЯД ТА ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

До розрахунку схеми переходять за допомогою активізації пункту меню *PSpice / Run* (рис. 6, а) чи піктограми .



а б
Рис. 6. Меню виконання завдання

Після закінчення розрахунку на екрані дисплея з'являться відповідні графіки миттєвих значень (рис. 7) вимірюваних величин (напруги чи струми), вказаних кольоровими шпильками на схемі (рис. 1) через активізацію піктограм  ,  ,  . На графік є сенс виводити співмірні за числовими значеннями величини, оскільки масштаб вибирається автоматично за найбільшою межею зміни тієї чи іншої величини. Тоді можливий невдалий випадок, коли графік струму в мА (10^{-3}) буде зображений майже прямою лінією поруч з графіком напруги в кВ (10^3).

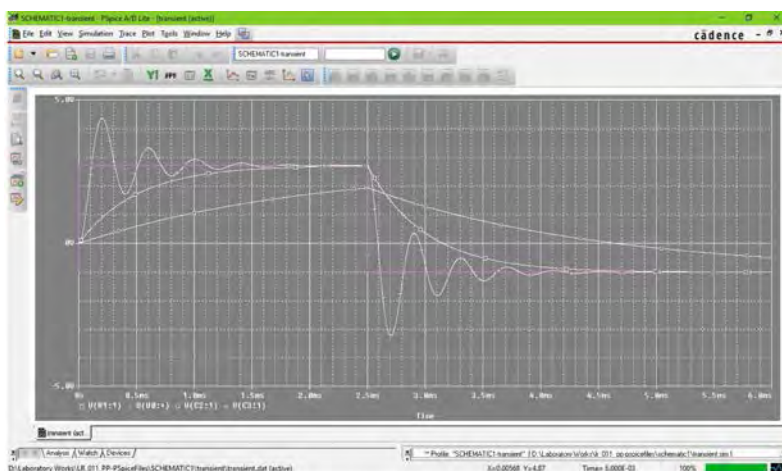


Рис. 7. Приклад моделювання електронної схеми

Для звіту недоцільно робити копію екрана, оскільки чорний фон при друці не дасть достатньо чітко відобразити на папері кольорові криві. У програмі *PSpice A/D/ Lite* передбачено конвертацію графічного зображення фону в білий колір (рис. 8) під час натискання пункту меню *File / Print...* чи клавіш *Ctrl+P*. Однак у цьому випадку необхідно перехопити друк віртуальним принтером, до прикладу *File/Print*, за допомогою якого друкований масив можна зберегти в графічному файлі.

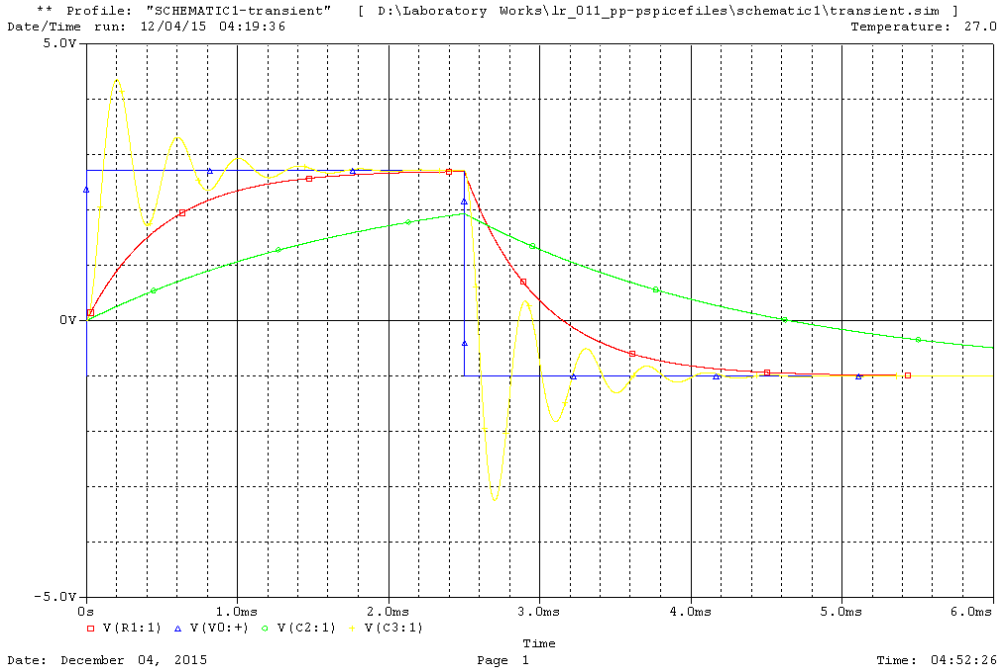



Рис. 8. Зображення перехопленого віртуальним принтером друкованого масиву

Якщо вимірювані величини відсутні чи необхідно їх замінити іншими, то в програмі *PSpice A/D Lite* активують меню *Trace/Add Trace...* чи піктограму  (рис. 6, б), де потрібно списком вказати необхідні функціональні залежності для побудови графіків (рис. 9) чи вирази для обчислення значень вимірюваних величин (рис. 10).

Для запису числового виразу *Trace Expression* можна використовувати десяткові числа і такі символи:

- +, -, *, / – знаки дії додавання, віднімання, множення, ділення;
- (,) – дужки.

Крім арифметичних виразів, дає змогу застосування стандартних функцій, наведених у табл. 2.

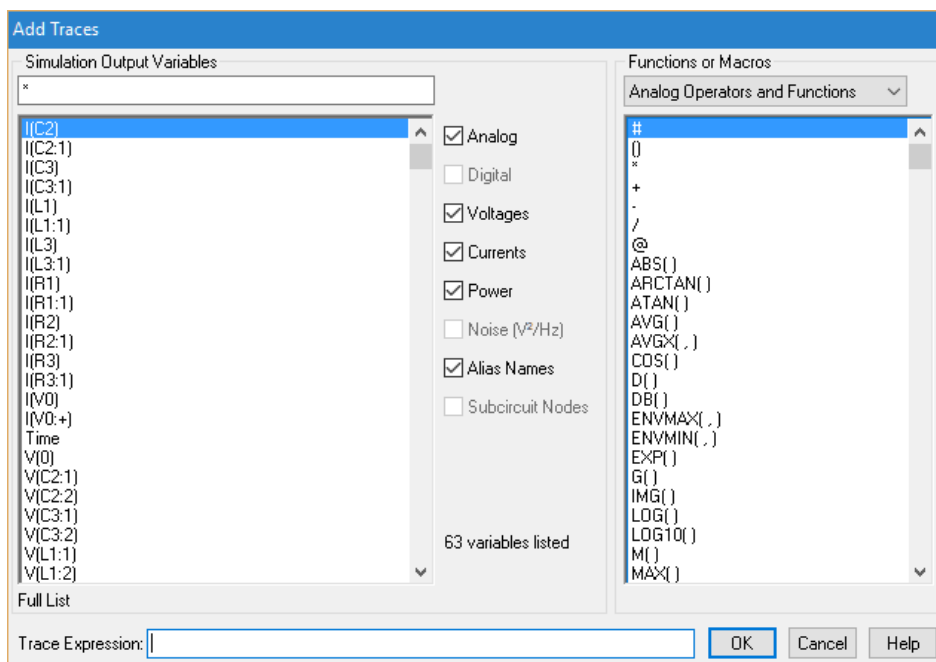


Рис. 9. Вибір функціональних залежностей для побудови графіків вимірюваних величин

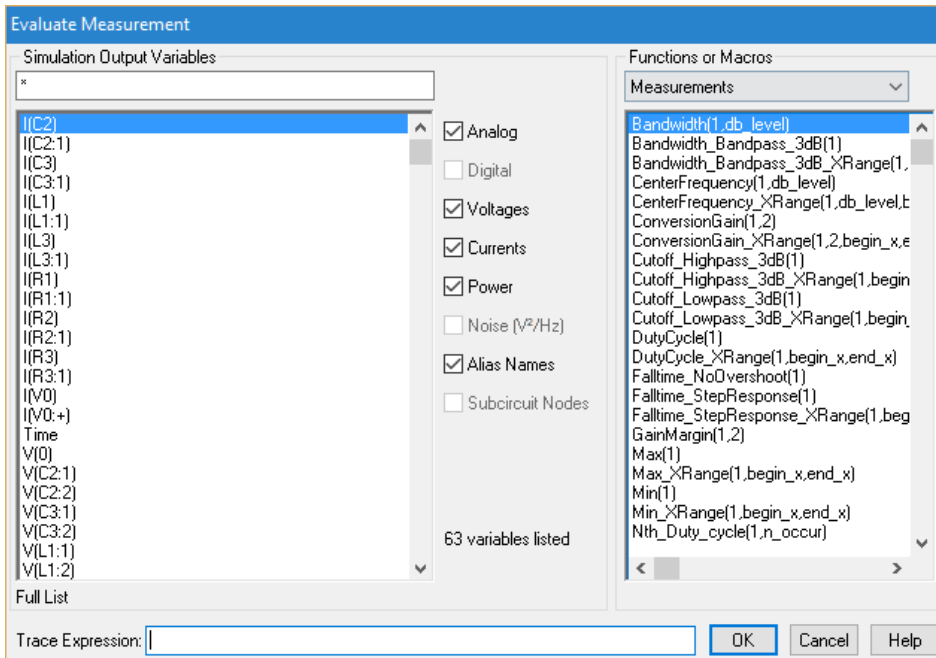


Рис. 10. Вибір функцій для обчислення значень вимірюваних величин

Таблиця 2

Позначення деяких стандартних функцій

Функція	Визначення	Коментар
ABS(x)	Абсолютне значення x	
ACOS(x)	Аркосинус x	Результат у радіанах
ARCTAN(x)	Арктангенс x	Результат у радіанах
ASIN(x)	Арксинус x	Результат у радіанах
ATAN(x)	Арктангенс x	Результат у радіанах
ATAN2(y,x)	Арктангенс y/x	Результат у радіанах
COS(x)	Косинус x	x в радіанах
COSH(x)	Косинус гіперболічний x	x в радіанах
DDT(x)	Похідна dx/dt	Застосовують лише під час аналізу перехідних процесів
EXP(x)	Експонента числа x	
W(t,x,y)	x , якщо t – істинне; y , якщо t – неправдиве	t – булева змінна, оператор відносин
IMG(x)	Уявна частина x	
LIMIT(x,min,max)	min, якщо $x < \text{min}$; max, якщо $x > \text{max}$; x , якщо $\text{min} < x < \text{max}$	Обмежувач з лінійною зоною
LOG(x)	Натуральний логарифм x	
LOG10(x)	Десятковий логарифм x	
M(x)	Модуль x	Збігається з ABS(x)
MAX(x,y)	Максимум x, y	
MIN(x,y)	Мінімум x, y	
P(x)	Фаза x	Дорівнює 0 для дійсних чисел
PWR(x,y)	Степенева функція $ x ^y$	
PWRS(x,y)	$+ x ^y$, якщо $x < 0$; $- x ^y$, якщо $x > 0$	
R(x)	Дійсна частина x	
SDT(x)	Інтеграл від $x(t)dt$	Застосовують лише під час аналізу перехідних процесів
SGN(x)	Знак x	
SIN(x)	Синус x	x у радіанах
SINH(x)	Синус гіперболічний x	x у радіанах
STP(x)	1, якщо $x > 0$; 0, якщо $x < 0$	
SQRT(x)	корінь з x	
TABLE (x,x1,y1,...)	Таблична залежність функції y від x	Задано координати точок (x_i, y_i) , у проміжних точках застосовується лінійна апроксимація
TAN(x)	Тангенс x	x у радіанах
TANH(x)	Тангенс гіперболічний x	x у радіанах

Часто вживані операції з функціями можна записати в макроси, під час виклику яких у меню *View / Measurement Results* відкривається окреме вікно Measurement Results (рис. 7). Тут необхідно почергово активувати “пташками” низку обраних макросів, результати виконання яких у подальшому можна зберегти у текстовому файлі.

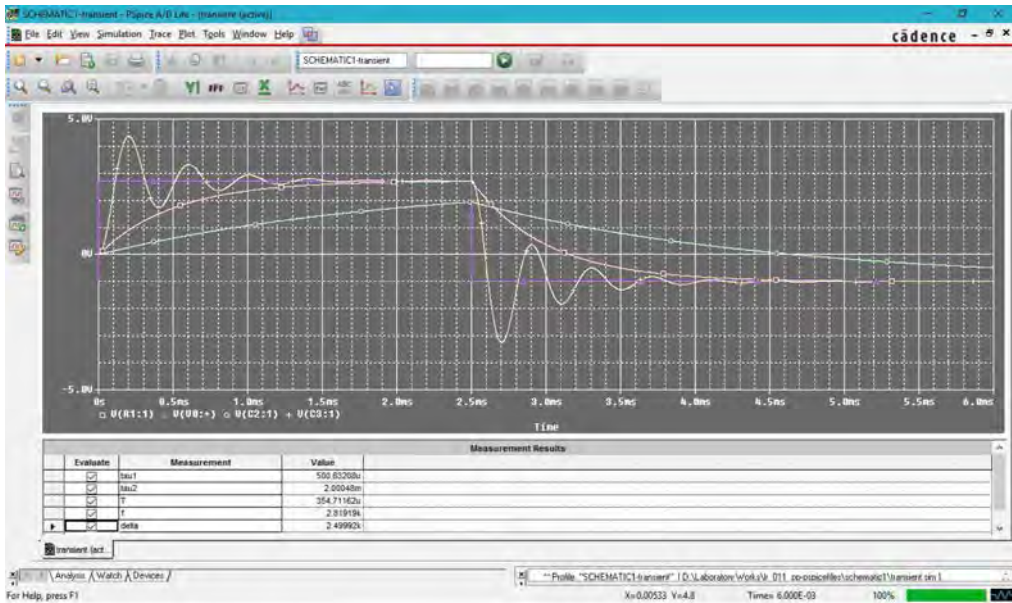


Рис. 11. Відображення вікна з результатами виконання обраних макросів

Лабораторна робота № 14

Дослідження лінійного електричного кола змінного струму за послідовного з'єднання елементів

Мета роботи: експериментально визначити параметри елементів електричного кола змінного струму: резистора, котушки індуктивності, конденсатора; віртуально дослідити властивості електричного кола за послідовного з'єднання цих елементів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Переписати у табл. 1.1 значення опору R_0 , вказане на макеті.

1.1.2. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик *DISco* на робочому столі).

1.1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1. Дослідити електричне коло з резистором і котушкою індуктивності.

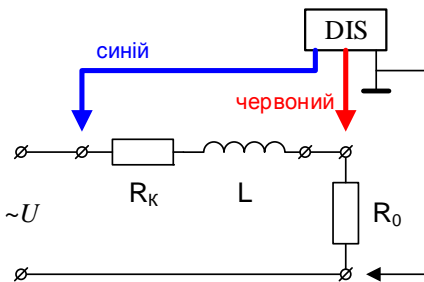


Рис. 1.1. Схема електричного кола
з резистором і котушкою
індуктивності

1.1.4. Установити регулятор напруги джерела живлення змінного струму $\sim U$ у нульове положення. Увімкнути джерело живлення. Плавно повертаючи регулятор, установити напругу від 20 до 30 В. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напругу резистора U_{R_0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

1.1.5. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2. Дослідити електричне коло з резистором і конденсатором.

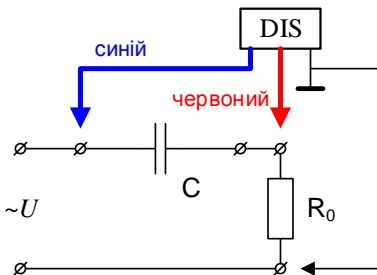


Рис. 1.2. Схема електричного
кола з резистором
і конденсатором

1.1.6. Увімкнути джерело живлення. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги резистора U_{R0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Таблиця 1.1

	Схема				Один. вим.
	Параметр	Послідовне злучення резистора та котушки індуктивності (рис. 1.1)	Параметр	Послідовне злучення резистора та конденсатора (рис. 1.2)	
Виміри	R_0				Ом
	U_{R0}		U_{R0}		В
	U		U		В
	T_2-T_1		T_2-T_1		мс
Обчислення	φ		φ		град
	I		I		А
	Z		Z		Ом
	R_1		R_2		Ом
	X_1		X_2		Ом
	L			–	Гн
		–	C		мкФ
	R_K		R_C		Ом
	Z_K		Z_C		Ом
	φ_K		φ_C		град

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1 величини та параметри (**передусім необхідно обчислити параметри реактивних елементів R_K , L , C для подальшого виконання роботи**). Значенням активного опору R_C конденсатора можна знехтувати внаслідок його суттєво малого впливу на режими роботи елементів, вважаючи отримане значення похибкою вимірювань відносно нуля.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_003_RLC.opj**. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1). Встановити напруги джерел рівними напругам U кожної схеми у фізичному експерименті. Для цього двічі клацнути по надпису **VAMPL** джерела та у вікні **Value** ввести відповідні значення. Звичайно для таких завдань не переводять діючі значення в амплітудні, оскільки отримані результати також відповідатимуть діючим значенням. У полі **PARAMETERS** так само ввести параметри резисторів та реактивних елементів (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання на відміну від її префікса

вказувати не обов'язково). Зберегти зображення електричної схеми в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*¹.

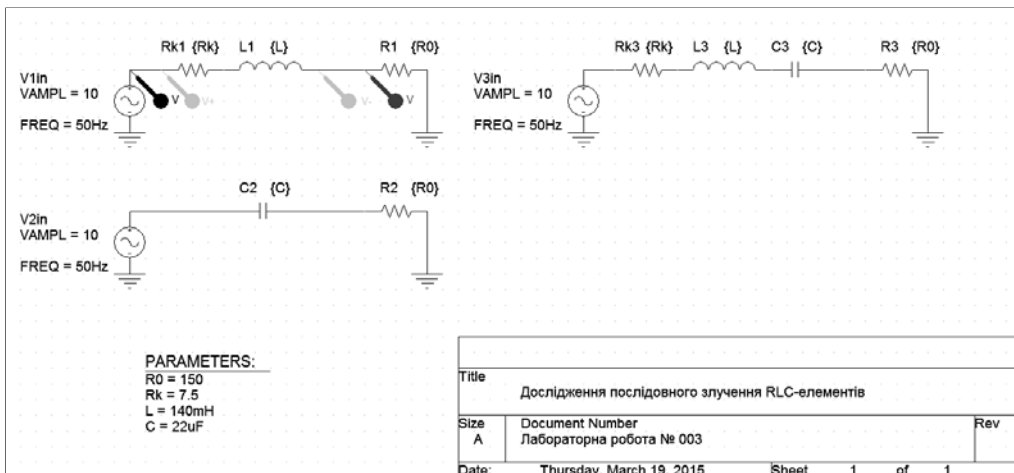




Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.1.2. Дослідити електричну схему з резистором і котушкою індуктивності, для цього розмістити маркери (кольорові шпильки) вольтметрів так, як показано на рис. 2.1.

2.1.3. Запустити часовий аналіз, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриються часові діаграми напруги опору **R1** (червона крива), напруги котушки індуктивності **Rk1, L1** (зелена крива) і напруги джерела **V1in** (синя крива). Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих, натиснувши підпункт меню *File/Print*².

2.1.4. Дослідити електричну схему з резистором і конденсатором, для цього перемістити маркери (кольорові шпильки) вольтметрів з першої до другої схеми, зберігаючи зв'язок між кольором маркера й елементом схеми (зелені маркери приєднати до конденсатора **C2**). Повторно запускати часовий аналіз немає потреби, оскільки графіки кривих оновлюються автоматично. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

2.1.5. Повторити завдання попереднього пункту для електричної схеми з послідовно злученими котушкою індуктивності і конденсатором (зеленими маркерами охопити елементи **Rk3, L3 і C3**).

2.1.6. Відкрити вікно **Measurement Results** з пункту меню *View/Measurement Results*, чи натиснувши піктограму , і почергово активувати “пташками” низку макросів, результати виконання яких записати в табл. 2.1.

¹ У цьому разі випадку графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

² У цьому випадку графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

2.2. Опрацювання дослідних даних

2.2.1. Порівняти часові діаграми, отримані під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.2. Порівняти різниці фаз різних ділянок схем, отриманих під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.3. Отримати параметри послідовного з'єднання котушки індуктивності та конденсатора за даними експериментів з табл. 1.1 і порівняти їх з параметрами за даними табл. 2.1.

2.2.4. За даними віртуального експерименту і необхідних додаткових обчислень побудувати для кожної схеми векторні діаграми напруг і струмів.

Таблиця 2.1

Схема	Параметр	Позначення макроса	Значення	Один. вим.
1) послідовного з'єднання резистора та котушки індуктивності	φ	Ph1		град
	U_K	UK1		В
	φ_K	PhK1		град
	U_{Rk}	URk1		В
	U_L	UL1		В
	φ_L	PhL1		град
	U_R	UR1		В
	I	I1		А
2) послідовного з'єднання резистора та конденсатора	φ	Ph2		град
	U_C	UC2		В
	φ_C	PhC2		град
	U_R	UR2		В
	I	I2		А
3) послідовного з'єднання резистора, котушки індуктивності та конденсатора	φ	Ph3		град
	U_{KC}	UX3		В
	φ_{KC}	PhX3		град
	U_{Rk}	URk3		В
	U_L	UL3		В
	U_C	UC3		В
	U_R	UR3		В
	I	I3		А

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому дорівнює напруга послідовного електричного контуру, який складається із навою індуктивності (котушки індуктивності без активних втрат) і конденсатора?

2. Чому дорівнює різниця фаз кола з послідовно з'єднаними резистором та котушкою індуктивності?

3. Чому дорівнює різниця фаз кола з послідовно з'єднаними резистором та конденсатором?

Лабораторна робота № 15

Дослідження лінійного електричного кола змінного струму за послідовного та паралельного з'єднання елементів

Мета роботи: експериментально визначити параметри елементів електричного кола змінного струму: резистора, котушки індуктивності, конденсатора; віртуально дослідити властивості електричного кола за послідовного та паралельного з'єднання цих елементів.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Переписати у табл. 1 значення опору R_0 , вказане на макеті.

1.1.2. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик DISco на робочому столі).

1.1.3. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1. Дослідити електричне коло з резистором і котушкою індуктивності.

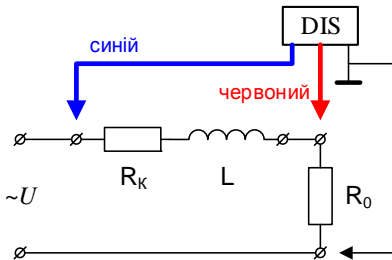


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.1.4. Установити регулятор напруги джерела живлення змінного струму $\sim U$ у нульове положення. Увімкнути джерело живлення. Плавно повертаючи регулятор, установити напругу від 20 до 30 В. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги резистора U_{R_0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1. Вимкнути джерело живлення.

1.1.5. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2. Дослідити електричне коло з резистором і конденсатором.

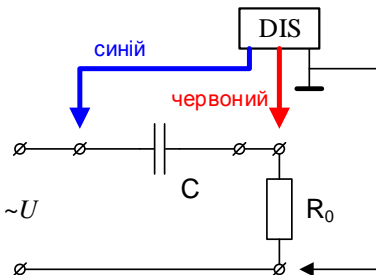


Рис. 1.2. Схема електричного кола

1.1.6. Увімкнути джерело живлення. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги резистора U_{R0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Таблиця 1.1

	Схема				Один. вим.
	Параметр	Послідовне злучення резистора та котушки індуктивності (рис. 1.1)	Параметр	Послідовне злучення резистора та конденсатора (рис. 1.2)	
Виміри	R_0				Ом
	U_{R0}		U_{R0}		В
	U		U		В
	T_2-T_1		T_2-T_1		мс
Обчислення	φ		φ		град
	I		I		А
	Z		Z		Ом
	R_1		R_2		Ом
	X_1		X_2		Ом
	L				Гн
			C		мкФ
	R_K		R_C		Ом
	Z_K		Z_C		Ом
	φ_K		φ_C		град
	Y_K		Y_C		мСм
	G_K		G_C		мСм
B_K		B_C		мСм	

1.1.7. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.3. Дослідити електричне коло з послідовним з'єднанням резистора, котушки індуктивності та конденсатора.

1.1.8. Увімкнути джерело живлення. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги резистора U_{R0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

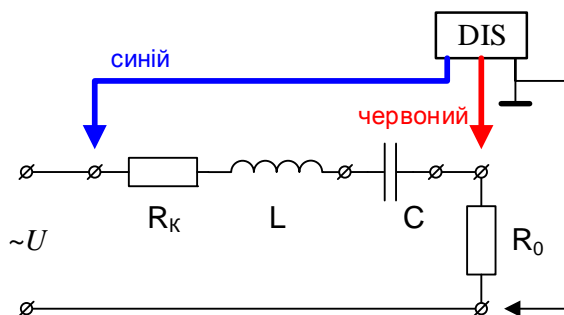


Рис. 1.3. Схема електричного кола

1.1.9. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.4. Дослідити розгалужене електричне коло з резистором і паралельним з'єднанням котушки індуктивності та конденсатора.

1.1.10. Увімкнути джерело живлення. Виміряти за допомогою пристрою DISco2 напруги резистора U_{R_0} і всього кола U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.2. Вимкнути джерело живлення.

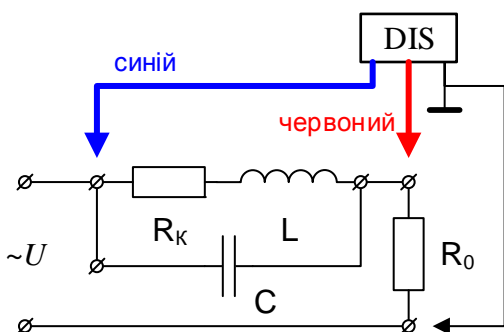


Рис. 1.4. Схема електричного кола

Таблиця 1.2

	Параметр	Один. вим.	Схема	
			Послідовне з'єднання котушки індуктивності та конденсатора (рис. 3)	Паралельне з'єднання котушки індуктивності та конденсатора (рис. 4)
Виміри	U_{R_0}	В		
	U	В		
	T_2-T_1	мс		
Обчислення	φ	град		
	I	А		
	Z	Ом		
	R	Ом		
	X	Ом		
	$Z_{КС}$	Ом		
	$\varphi_{КС}$	град		
	$Y_{КС}$	мСм		
	$G_{КС}$	мСм	–	
	$B_{КС}$	мСм		

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1.1 і табл. 1.2 величини та параметри (**передусім необхідно обчислити параметри реактивних елементів R_K , L , C для подальшого виконання роботи**). Значенням активного

опору та провідності конденсатора можна знехтувати внаслідок їх суттєво малого впливу на режими роботи елементів.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_004_RLC.opj**. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1). Встановити напруги джерел рівними напругам U кожної схеми у фізичному експерименті. Для цього двічі клацнути по напису **VAMPL** джерела та у вікні **Value** ввести відповідні значення. Зазвичай для таких завдань не переводять діючі значення в амплітудні, оскільки отримані результати також відповідатимуть діючим значенням. У полі **PARAMETERS** так само ввести параметри резисторів та реактивних елементів (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання на відміну від її префікса вказувати необов'язково). Зберегти зображення електричної схеми в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*³.

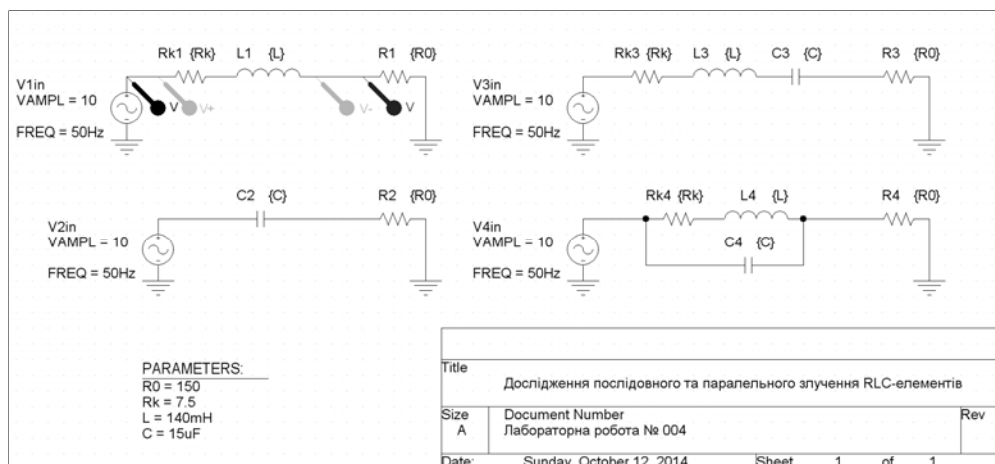



Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.1.2. Дослідити електричну схему з резистором і котушкою індуктивності, для цього розмістити маркери (кольорові шпильки) вольтметрів так, як показано на рис. 2.1.


2.1.3. Запустити часовий аналіз, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриваються часові діаграми напруги опору **R1** (червона крива), напруги котушки

³ У цьому випадку графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

індуктивності **Rk1, L1** (зелена крива) і напруги джерела **V1in** (синя крива). Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*.

2.1.4. Дослідити електричну схему з резистором і конденсатором, для цього перемістити маркери (кольорові шпильки) вольтметрів з першої до другої схеми, зберігаючи зв'язок між кольором маркера і елементом схеми (зелені маркери приєднати до конденсатора **C2**). Повторно запускати часовий аналіз немає потреби, оскільки графіки кривих оновлюються автоматично. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

2.1.5. Повторити завдання попереднього пункту для електричної схеми з послідовно злученими котушкою індуктивності і конденсатором (зеленими маркерами охопити елементи **Rk3, L3 і C3**) та паралельно злученими котушкою індуктивності і конденсатором (зеленими маркерами охопити елементи **Rk4, L4 і C4**).

2.1.6. Відкрити вікно **Measurement Results** з пункту меню *View/Measurement Results*, чи натиснувши піктограму , і почергово активувати “пташками” ряд макросів, результати виконання яких записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Схема	Параметр	Позначення макроса	Значення	Один. вим.
1	2	3	4	5
1) з резистором і котушкою індуктивності	φ	Ph1		град
	U_K	UK1		В
	φ_K	PhK1		град
	U_{Rk}	URk1		В
	U_L	UL1		В
	φ_L	PhL1		град
	U_R	UR1		В
2) з резистором і конденсатором	I	I1		А
	φ	Ph2		град
	U_C	UC2		В
	φ_C	PhC2		град
	U_R	UR2		В
3) з послідовним з'єднанням резистора, котушки індуктивності та конденсатора	I	I2		А
	φ	Ph3		град
	U_{KC}	UX3		В
	φ_{KC}	PhX3		град
	U_{Rk}	URk3		В
	U_L	UL3		В
	U_C	UC3		В
	U_R	UR3		В
I	I3		А	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5
4) з резистором і паралельним з'єднанням котушки індуктивності та конденсатора	φ	Ph4		град
	U_{KC}	UX4		В
	φ_{KC}	PhX4		град
	U_{Rk}	URk4		В
	U_L	UL4		В
	I_L	IL4		А
	I_C	IC4		А
	U_R	UR4		В
	I	I4		А

2.2. Опрацювання дослідних даних

2.2.1. Порівняти часові діаграми, отримані під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.2. Порівняти різниці фаз різних ділянок схем, отриманих під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.3. Отримати параметри послідовного і паралельного з'єднання котушки індуктивності та конденсатора за даними експериментів з табл. 1.1 і табл. 1.2 та порівняти їх з параметрами за даними табл. 2.1.

2.2.4. За даними віртуального експерименту і відповідних обчислень побудувати векторні діаграми напруг і струмів для кожної схеми.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як обчислити параметри еквівалентної паралельної заступної схеми, користуючись параметрами послідовної вітки?

2. Як обчислити параметри еквівалентної послідовної заступної схеми, користуючись параметрами паралельних віток?

3. Чому дорівнює напруга послідовного електричного контуру, який складається з ідеальної котушки індуктивності та конденсатора?

4. Чому дорівнює струм на вході паралельного електричного контуру, який складається із ідеальної котушки індуктивності та конденсатора?

Лабораторна робота № 16

Дослідження резонансних явищ у лінійному електричному колі

Мета роботи: експериментально визначити параметри елементів електричного кола змінного струму: резистора, котушки індуктивності, конденсатора; віртуально дослідити явище резонансу електричного кола за послідовного та паралельного з'єднання реактивних елементів, зняття резонансних кривих, амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Переписати у табл. 1.1 значення опору R_0 , вказане на макеті.

1.1.2. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1.

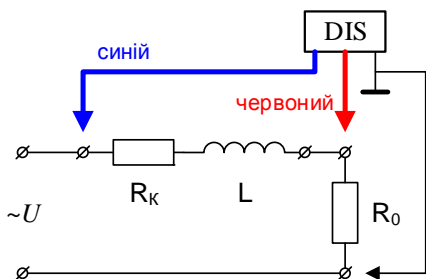


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.1.3. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з аналогово-цифровим перетворювачем DISco2 (ярлик *DISco* на робочому столі).

1.1.4. Установити регулятор напруги джерела живлення змінної напруги $\sim U$ у нульове положення. Увімкнути джерело живлення. Плавнo повертаючи регулятор, установити діюче значення напруги від 20 до 30 В. Дослідити електричне коло з резистором і котушкою індуктивності (рис. 1), для цього виміряти приладом DISco2 напруги резистора U_{R_0} і навантаження U та зсув фаз між ними $T_2 - T_1$. Результати експериментів записати в табл. 1. Вимкнути джерело живлення.

1.1.5. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2. Дослідити електричне коло з резистором і конденсатором.

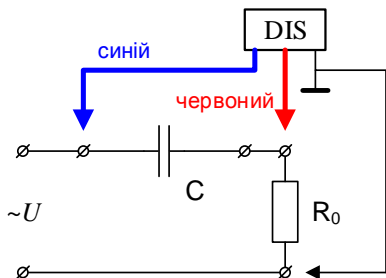


Рис. 1.2. Схема електричного кола

1.1.6. Увімкнути джерело живлення. Виміряти приладом DISco2 напруги резистора U_{R0} і навантаження U та зсув фаз між ними T_2-T_1 . Результати експериментів записати в табл. 1.1. Вимкнути джерело живлення.

Таблиця 1.1

	Схема				Один. вим.
	Параметр	Послідовне з'єднання резистора та котушки індуктивності	Параметр	Послідовне з'єднання резистора та конденсатора	
Виміри	R_0				Ом
	U_{R0}		U_{R0}		В
	U		U		В
	T_2-T_1		T_2-T_1		мс
Обчислення	φ		φ		град
	I		I		А
	Z		Z		Ом
	R_1		R_2		Ом
	X_1		X_2		Ом
	L			–	Гн
		–	C		мкФ
	R_K		R_C		Ом
	ρ				Ом

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1.1 величини та параметри. Значенням активного опору конденсатора можна знехтувати внаслідок його суттєво малого впливу на режими роботи елементів.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_008_RES.opj**. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи рис. 2.1. У полі **PARAMETERS** увести значення опорів та параметрів реактивних елементів (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання, на відміну від її префікса, вказувати не обов'язково). Параметри **VAMPL** та **FREQ** джерел встановлювати не потрібно, оскільки їх значення ігноруються. Зберегти зображення електричної схеми в графічному файлі.

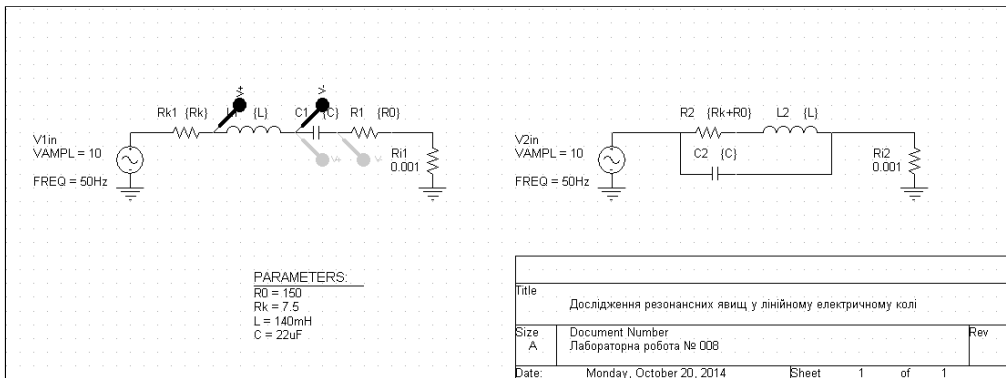



Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.1.2. Дослідити електричну схему з послідовно з'єднаними резистором **R1**, котушкою індуктивності **Rk1**, **L1** і конденсатором **C1**, для цього обчислити значення активного опору послідовного контуру R_K+R_0 та опору R_0 для різних значень добротності Q . Визначити максимальне значення добротності Q при $R_0 = 0$. Результати обчислень занести в частину “Обчислення” табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№ з/п	1	2	3	4	5
Обчислення					
Q	0.5	1	2	5	
R_K+R_0 , Ом					
R_0 , Ом					0
Послідовний контур					
f_{p1} , Гц					
$2\Delta f_1$, Гц					
Паралельний контур					
f_{p2} , Гц					
Вимірювання					
f_{p1} , Гц					
$2\Delta f_1$, Гц					
Q_1					
f_{p2} , Гц					
$2\Delta f_2$, Гц					
Q_2					

2.1.3. Відкрити вікно **Simulation Settings** (рис. 2.2) з пункту меню *PSpice/Edit Simulation Profile*, чи натиснувши піктограму . За замовчуванням встановлено тип аналізу **AC Sweep/Noise** (частотний аналіз). Занести перелік значень опору R_0 з табл. 2.1 у поле **Value List** вікна **Parametric Sweep**.

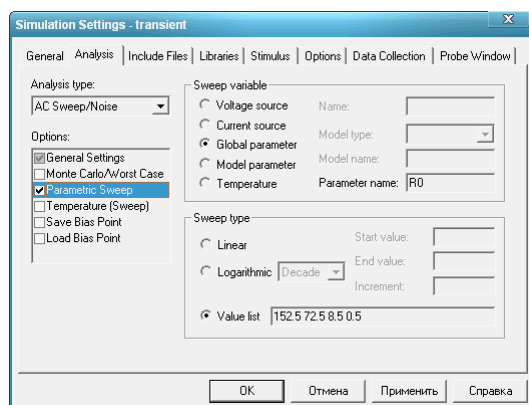






Рис. 2.2. Вікно Simulation Settings

2.1.4. Розмістити пару маркерів **V+**, **V-** (кольорові шпильки) вольтметра до **котушки** індуктивності та конденсатора так, як показано на рис. 2.1. Запустити частотний аналіз, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриються ряд резонансних кривих напруги котушки **L1** і напруги конденсатора **C1** у відповідному порядку значень добротності Q . Порівняти зображення кривих за лінійною та логарифмічною шкалою напруг, натиснувши піктограми  та . Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих, натиснувши підпункт меню *Print (Ctrl+P)*.

2.1.5. Зняти резонансні криві струму послідовного контуру I_{R1} , розмістивши маркер струму **I** на верхньому полюсі опору **R1**. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

2.1.6. Зняти резонансні криві струму котушки **L2** та струму конденсатора **C2** паралельного контуру, розмістивши маркери струму **I** на лівих полюсах котушки та конденсатора. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

2.1.7. Зняти резонансні криві струму паралельного контуру I_{R2} , розмістивши маркер струму **I** на верхньому полюсі опору **R2**. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

2.1.8. Зняти амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) струму і фазо-частотні характеристики (ФЧХ) послідовного та паралельного злучення елементів для вказаних значень добротності Q , послідовно запустивши на виконання макроси **AFC1**, **PFC1**, **AFC2**, **PFC2** у вікні **Add Trace** . Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих.

Перед кожним запуском макроса очищати поле кривих, натиснувши “гарячі” клавіші *Ctrl-Del*.

2.1.9. Виміряти ряд резонансних частот **fp1** і **fp2** відповідно послідовного і паралельного контурів, смуг пропускання **PB1** і **PB2** на рівні 3дБ, також

добротності Q_1 і Q_2 , запустивши на виконання відповідні макроси у вікні підпункту *View/Measurement Result*. Результати вимірювань занести в частину “Вимірювання” табл. 2.1.

2.2. Опрацювання дослідних даних

2.2.1. Обчислити резонансні частоти, смуги пропускання послідовного та паралельного контурів для вказаних значень добротності. Результати обчислень занести в табл. 2.

2.2.2. Порівняти результати обчислень і вимірювань з табл. 2.1.

2.2.3. Показати на відповідних графіках точки резонансу та смуги пропускання частот.

2.2.4. Пояснити особливості резонансних кривих, АЧХ і ФЧХ послідовного та паралельного контурів із зміною добротності.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який режим електричного кола змінного струму називається резонансним?
2. Яка умова резонансу напруг?
3. Як можна досягти резонансу напруг?
4. Яка умова резонансу струмів?
5. Як можна досягти резонансу струмів?
6. Чи впливає на явище резонансу струмів наявність активного опору у вітці з котушкою індуктивності?
7. Чому дорівнює струм на вході паралельного електричного контуру, яке складається з ідеальної котушки індуктивності та конденсатора?
8. Який характер приймає коло з послідовним злученням реактивних елементів на частотах, менших та більших за резонансну частоту?
9. Який характер приймає коло з паралельним злученням реактивних елементів на частотах, менших та більших за резонансну частоту?
10. Які переваги і недоліки лінійних та логарифмічних шкал?

Лабораторна робота № 17

Дослідження перехідного процесу лінійного електричного кола з послідовним злученням елементів

Мета роботи: експериментально дослідити перехідні струми і напруги електричного кола зі зосередженими параметрами, дослідити вплив параметрів елементів на характер перехідного процесу; віртуально визначити параметри перехідного процесу.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

Ознайомитись з лабораторним стендом та генератором прямокутних сигналів.

1.1.1. Дослідження електричного кола з резистором і котушкою індуктивності.

1.1.1.1. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.1 (коло приєднати до клем генератора, на яких формується вихідний сигнал 0–20 В на навантаженні $R_H = 200 \text{ Ом}$).

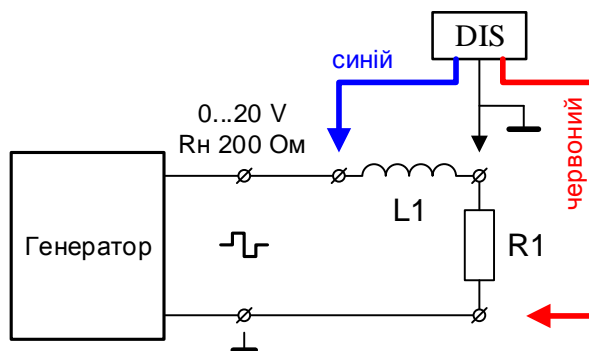


Рис. 1.1. Схема електричного кола з резистором і котушкою індуктивності

1.1.1.2. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик *DISco* на робочому столі).

1.1.1.3. Установити вказані викладачем параметри котушки індуктивності та резистора (рекомендовані значення знаходяться у межах $L_1 = 10\text{--}90 \text{ мГн}$, $R_1 = 10\text{--}100 \text{ Ом}$). Записати параметри елементів у табл. 1. Порахувати постійну часу τ_1 .

1.1.1.4. Увімкнути генератор прямокутних сигналів. Установити частоту генератора, яка відповідає періоду тривалістю орієнтовно $(3\text{--}5) \tau_1$.

1.1.1.5. Приєднати штекери цифрового осцилографа (рис. 1.1). Для узгодження умовно додатних напрямів напруги і струму котушки індуктивності змінити знак напруги резистора, встановивши в меню DISco2 *Аналоговые сигналы/Обработка* режим $A = -A$ для червоної кривої.

Установити такий часовий масштаб осцилографа, щоби на екрані відображався хоча б один період сигналу генератора. За допомогою вертикальних та горизонтальних маркерів визначити за показом $T_2 - T_1$ період коливань та часовий інтервал, який відповідає сталій часу перехідного процесу. Зберегти осцилограми з відповідними показами в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *Файл/Сохранить снимок экрана*.

1.1.1.6. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути генератор.

1.1.2. Дослідження електричного кола з резистором і конденсатором.

1.1.2.1. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.2.

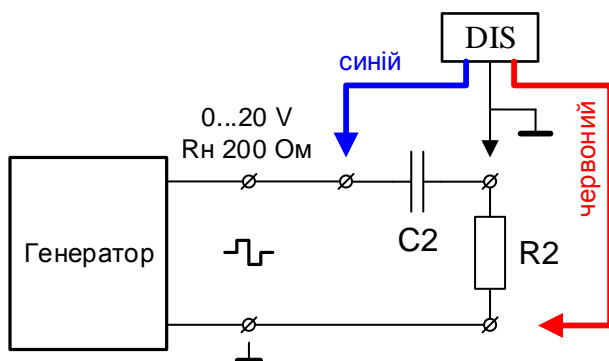


Рис. 1.2. Схема електричного кола з резистором і конденсатором

1.1.2.2. Установити вказані викладачем параметри конденсатора та резистора (рекомендовані значення знаходяться у межах $C_2 = 10 \dots 90$ мкФ, $R_2 = 100 \dots 1000$ Ом). Записати параметри елементів у табл. 1.1. Порахувати постійну часу τ_2 .

1.1.2.3. Увімкнути генератор прямокутних сигналів. Установити частоту генератора, яка відповідає періоду тривалістю орієнтовно $(3-5) \tau_2$.

1.1.2.4. Приєднати штекери цифрового осцилографа (рис. 1.2). Для узгодження умовно додатних напрямів напруги і струму конденсатора змінити знак напруги резистора, встановивши в меню DISco2 *Аналоговые сигналы/Обработка* режим $A = -A$ для червоної кривої.

Установити такий часовий масштаб осцилографа, щоби на екрані відображався хоча б один період сигналу генератора. За допомогою вертикальних

та горизонтальних маркерів визначити за показом $T_2 - T_1$ період коливань та часовий інтервал, який відповідає сталій часу перехідного процесу. Зберегти осцилограму з відповідними показами в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *Файл/Сохранить снимок экрана*.

1.1.2.5. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути генератор.

1.1.3. Дослідження електричного кола з резистором, котушкою індуктивності та конденсатором.

1.1.3.1. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 1.3.

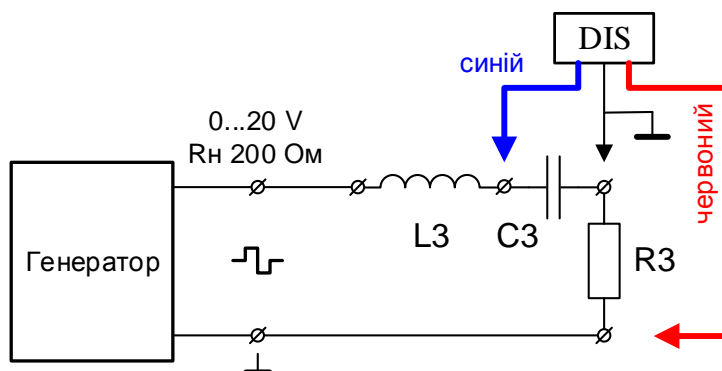


Рис. 1.3. Схема електричного кола з резистором, котушкою індуктивності та конденсатором

1.1.3.2. Установити вказані викладачем параметри резистора, котушки індуктивності та конденсатора, які відповідають коливальному режиму перехідного процесу (рекомендовані значення знаходяться у межах $L_3 = 10 - 90$ мГн, $C_3 = 0.1 - 0.3$ мкФ, $R_3 = 10 - 100$ Ом). Записати параметри елементів у табл. 1.1.

1.1.3.3. Увімкнути генератор прямокутних сигналів.

1.1.3.4. Приєднати штекери цифрового осцилографа (рис. 1.3). Для узгодження умовно додатних напрямів напруги і струму конденсатора змінити знак напруги резистора, встановивши в меню DISco2 *Аналоговые сигналы/Обработка* режим $A = -A$ для червоної кривої.

Установити частоту генератора, за якої тривалість перехідного процесу достатня для вимірювань його параметрів.

Установити такий часовий масштаб осцилографа, щоби на екрані відображався хоча б один період сигналу генератора. За допомогою вертикальних маркерів визначити період вільних коливань за показом $T_2 - T_1$. Зберегти осцилограму з відповідними показами в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *Файл/Сохранить снимок экрана*.

Таблиця 1.1

Параметр	Вимірювання	Обчислення
Послідовне злучення резистора та котушки індуктивності (рис. 1.1)		
L_1 , мГн		
R_1 , Ом		
τ_1 , мс		
T_T , мс		–
f_T , Гц		–
Послідовне злучення резистора та конденсатора (рис. 1.2)		
R_2 , Ом		
C_2 , мкФ		
τ_2 , мс		
T_T , мс		–
f_T , Гц		–
Послідовне злучення резистора, котушки індуктивності та конденсатора (рис. 1.3)		
L_3 , мГн		
C_3 , мкФ		
Характер процесу коливальний		
R_3 , Ом		
$1/\delta$, мс		
δ , 1/с		
ω_B , рад/с		
f_B , Гц		
T_B , мс		
R_K , Ом		
Характер процесу аперіодичний		
R_3 , Ом		
τ_{31} , мс	–	
τ_{32} , мс	–	

1.1.3.5. Змінюючи опір резистора R_3 , визначити значення критичного опору R_K , за якого відбувається зміна характеру перехідного процесу з коливального на аперіодичний.

1.1.3.6. Зміною опору резистора R_3 , значення якого записати в табл. 1.1, встановити аперіодичний режим перехідного процесу. Зберегти осцилограму в графічному файлі.

1.1.3.5. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути генератор.

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

За результатами вимірювань, обчислити всі вказані в табл. 1 параметри: для кожної схеми порахувати корені характеристичного рівняння і визначити сталі часу τ_1 , τ_2 , τ_{31} , τ_{32} , параметри коливального режиму та значення критичного опору R_K .

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярилик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_011_PP.opj**. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1). Встановити параметри елементів кожної схеми рівними відповідним значенням з фізичного експерименту. Для цього двічі клацнути по відповідному вікну з числом та у полі **Value** встановити значення параметра **A** (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання на відміну від її префікса вказувати не обов'язково). Значення опору **R3** встановлювати таким, яке відповідає коливальному режиму переходного процесу з урахуванням активного опору котушки індуктивності, а саме збільшеним на 50–60 Ом.

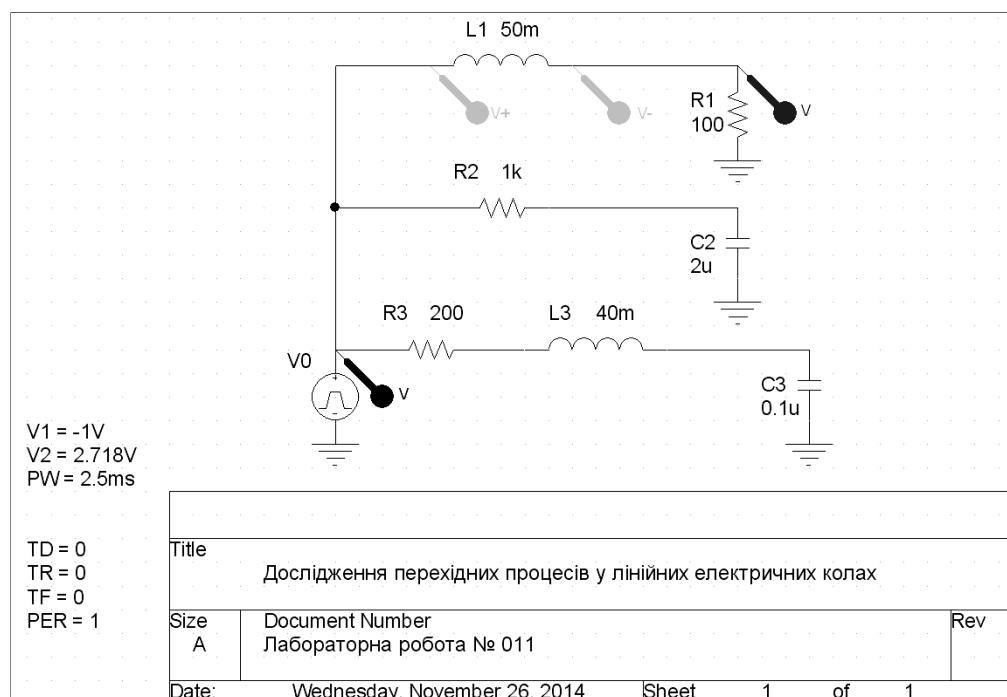




Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

Зберегти зображення електричної схеми в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*⁴.

⁴ У цьому випадку графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

2.1.2. Дослідити послідовно всі електричні схеми, розмістивши для цього маркери (кольорові шпильки) вольтметрів до прикладу так, як показано на рис. 2.1.

2.1.3. Запустити часовий аналіз, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриються часові діаграми відповідних напруг. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*³.

2.1.4. Відкрити вікно **Measurement Results** з пункту меню *View/Measurement Results*, чи натиснувши піктограму , і по чергово активувати “пташками” ряд макросів, результати виконання яких записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Параметр	Позначення макроса	Значення	Один. вим.
τ_1	tau1		мс
τ_2	tau2		мс
T_B	T		мс
f_B	f		Гц
δ	delta		1/c

2.2. Опрацювання дослідних даних

2.2.1. Порівняти часові діаграми, отримані під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.2. Порівняти параметри перехідних процесів, отриманих під час фізичного і віртуального експериментів.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яку величину називають сталою часу перехідного процесу й від чого вона залежить?

2. Як визначити сталу часу з кривої перехідного процесу?

3. За яких умов виникає коливальний перехідний процес?

4. Який опір називають критичним?

5. Навести приклади, коли після комутації немає перехідного процесу.

Лабораторна робота № 18

Дослідження пасивного прохідного чотириполюсника

Мета роботи: експериментально визначити параметри елементів лінійного пасивного прохідного взаємного чотириполюсника на змінному струмі; перевірити отримані результати під час віртуального експерименту.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Переписати до табл. 1.1 встановлене в магазині опорів значення шунтового опору R_0 , необхідне для вимірювання струму (рекомендоване значення 10 Ом).

1.1.2. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DISco2 (ярлик *DISco* на робочому столі).

1.1.3. Скласти електричне коло прямого ввімкнення прохідного чотириполюсника за схемою, зображеною на рис. 1.1. Дослідити неробочий режим (затискачі **2-2'** розімкнуті) та режим короткого замикання (затискачі **2-2'** закорочені) на виході під час живлення чотириполюсника зі сторони входу (затискачі **1-1'**).

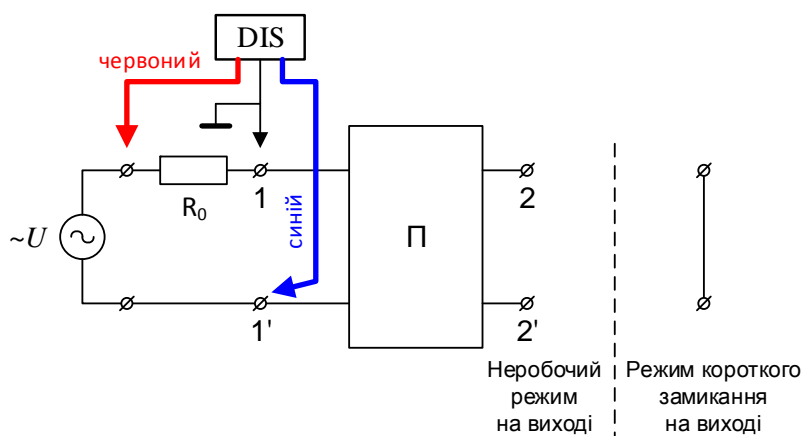


Рис. 1.1. Схема електричного кола

1.1.4. Установити регулятор напруги джерела живлення змінного струму $\sim U$ частотою 50 Гц у нульове положення. Увімкнути джерело живлення. Плавню повертаючи регулятор, установити напругу від 20 до 30 В.

Приєднати штекери цифрового осцилографа (рис. 1). Для узгодження умовно додатних напрямів напруг змінити знак вхідної напруги чотириполюсника, встановивши в меню DISco2 *Аналоговые сигналы/Обработка режим В = - В* для синьої кривої.

Виміряти в обох режимах вхідну напругу чотириполюсника U_1 , напругу резистора U_{R_0} та зсув фаз між ними $T_2 - T_1$ (див. Інструкцію “Вимірювання координат режиму електричного кола за допомогою USB-осцилографа DiSco2”). Зберегти осцилограму з

відповідними показами в графічному файлі. Результати експериментів записати в табл. 1. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути джерело живлення.

1.1.5. Скласти електричне коло оберненого ввімкнення прохідного чотириполюсника за схемою, зображеною на рис. 1.2. Дослідити неробочий режим (затискачі 1-1' розімкнуті) та режим короткого замикання (затискачі 1-1' закорочені) на вході під час живлення чотириполюсника зі сторони виходу (затискачі 2-2').

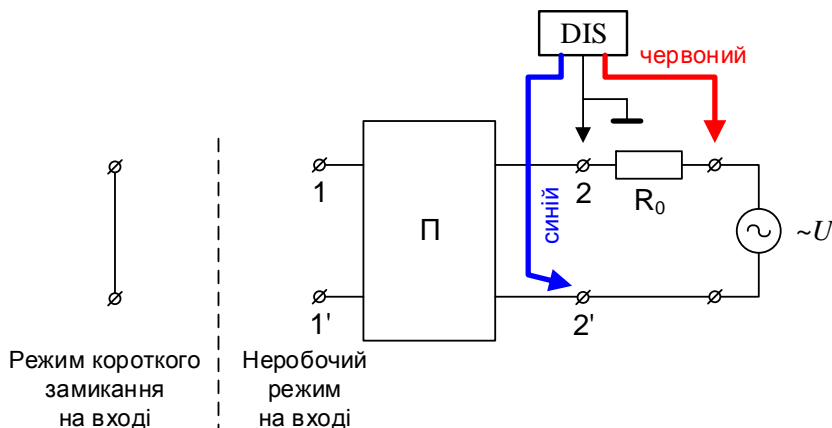


Рис. 1.2. Схема електричного кола

1.1.6. Увімкнути джерело живлення. Приєднати штекери цифрового осцилографа (рис. 1.2). Для узгодження умовно додатних напрямів напруг змінити знак вихідної напруги чотириполюсника, встановивши в меню DISCo2 *Аналоговые сигналы/Обработка* режим $\mathbf{V} = -\mathbf{V}$ для синьої кривої. Виміряти в обох режимах вихідну напругу чотириполюсника U_2 , напругу резистора U_{R0} та зсув фаз між ними $T_2 - T_1$. Зберегти осцилограму з відповідними показами в графічному файлі. Результати експериментів записати в табл. 1.1. Від'єднати штекери цифрового осцилографа, вимкнути джерело живлення та закрити програму для роботи з осцилографом DISCo2.

Таблиця 1.1

Режими	Вимірювання			Обчислення				
Пряме ввімкнення чотириполюсника (рис. 1)								
Параметр	U_1	U_{R0}^*	$T_2 - T_1$	I_1	Z_1	φ_1	R_1	X_1
Один. вим.	В	В	мс	А	Ом	град	Ом	Ом
Неробочий режим								
Режим короткого замикання								
Обернене ввімкнення чотириполюсника (рис. 2)								
Параметр	$U_2, \text{В}$	U_{R0}^*	$T_2 - T_1$	I_2	Z_2	φ_2	R_2	X_2
Один. вим.	В	В	мс	А	Ом	град	Ом	Ом
Неробочий режим								
Режим короткого замикання								

* Опір $R_0 =$ Ом.

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

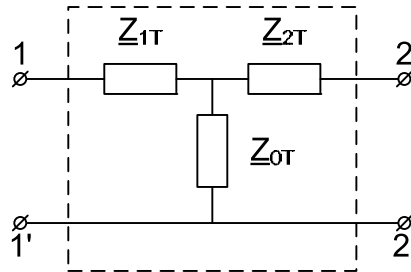
1.2.1. За результатами вимірювань обчислити вказані в табл. 1.1 діючі значення струмів I_{10} , I_{1K} , I_{20} , I_{2K} та вторинні параметри прохідного чотириполюсника Z_{10} , Z_{1K} , Z_{20} , Z_{2K} у показниковій та алгебричній формі.

1.2.2. Перевірити умову взаємності пасивного прохідного чотириполюсника, обчисливши співвідношення $\frac{Z_{10}}{Z_{1K}} = \frac{Z_{20}}{Z_{2K}}$ та $Z_{10}Z_{2K} = Z_{20}Z_{1K}$.

Параметр	mod	arg
Z_{10}/Z_{1K}		
Z_{20}/Z_{2K}		
$Z_{10}Z_{2K}$		
$Z_{20}Z_{1K}$		

1.2.3. За цими даними обчислити параметри віток заступної Т-подібної схеми прохідного чотириполюсника (рис. 1.3). Провести інтерпретацію складових повних комплексних опорів як типових пасивних елементів. Результати обчислень і параметри елементів Т-подібної схеми записати в табл. 1.2.

Рис. 1.3. Заступна Т-подібна схема прохідного чотириполюсника



Таблиця 1.2

Параметр	Z, Ом	φ, град	R, Ом	X, Ом	L, Гн	C, мкФ
$Z_{0T} = \sqrt{Z_{10}(Z_{20} - Z_{2K})}$ або $Z_{0T} = \sqrt{Z_{20}(Z_{10} - Z_{1K})}$						
$Z_{1T} = Z_{10} - Z_{0T}$						
$Z_{2T} = Z_{20} - Z_{0T}$						

1.2.4. За результатами обчислень з табл. 1.2 нарисувати заступну схему прохідного чотириполюсника, компонентами якої є типові пасивні елементи (опори, навої індуктивності та конденсатори), і вказати на ній параметри елементів.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл **проекту LR_017_4P.opj**. На екрані з'явиться схема лабораторної роботи (рис. 2.1). Встановити у полі **PARAMETERS** параметри пасивних елементів, обчислені в табл. 1.2. Для цього двічі клацнути по вікну із значенням параметра та у вікні **Value** встановити відповідне число (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання, на відміну від її префікса, вказувати не обов'язково). Зберегти зображення електричної схеми в графічному файлі.

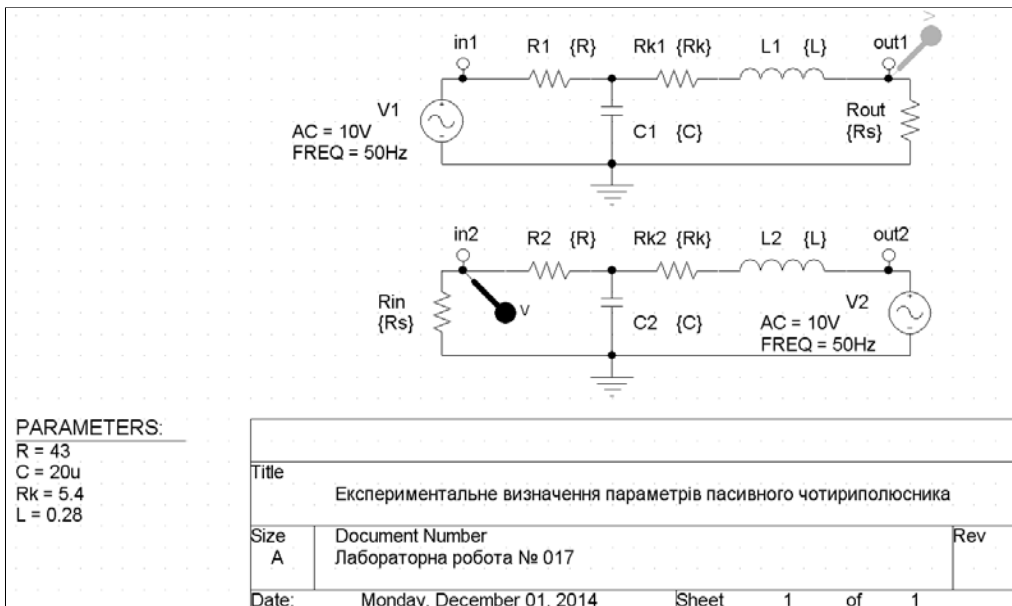




Рис. 2.1. Схема віртуального експерименту

2.1.2. Запустити частотний аналіз, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриються амплітудно-частотні характеристики вихідної напруги за прямого ввімкнення та входної напруги за оберненого ввімкнення чотириполюсника. Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*.

2.1.3. Відкрити вікно **Measurement Results** з пункту меню *View/Measurement Results*, чи натиснувши піктограму , і почергово активувати ряд макросів, результати виконання яких записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Позначення макроса	Параметр	Значення		Один. вим.
A11_____	A_{11}		–	–
_____A12	A_{12}	–		Ом
ph11_ph12	$\varphi_{11}, \varphi_{12}$			град
A21_____	A_{21}		–	См
_____A22	A_{22}	–		–
ph21_ph22	$\varphi_{21}, \varphi_{22}$			град

Позначені в таблиці знаком “–” числа ігнорувати.

3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

3.1. Обчислити основні параметри пасивного чотириполюсника в показниковій та алгебричній формі з експериментальних даних (табл. 1.2). Результати занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Параметр	mod	arg	Re	Im
$A_{11} = 1 + Z_{1T}/Z_{0T}$				
$A_{12} = Z_{1T} + Z_{2T} + Z_{1T}Z_{2T}/Z_{0T}$				
$A_{21} = 1/Z_{0T}$				
$A_{22} = 1 + Z_{2T}/Z_{0T}$				

3.2. Порівняти результати обчислень матриці основної форми **A**, отримані під час фізичного і віртуального експериментів (табл. 2.1 і табл. 3.1).

3.3. Перевірити умову взаємності пасивного прохідного чотириполюсника, обчисливши визначник матриці основної форми **A** з даних віртуального (табл. 2.1) і фізичного експерименту (табл. 3.1).

Параметр	mod	arg	Re	Im
З даних віртуального експерименту				
$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} =$ $= A_{11}e^{j\varphi_{11}} A_{22}e^{j\varphi_{22}} - A_{12}e^{j\varphi_{12}} A_{21}e^{j\varphi_{21}} =$				
З даних фізичного експерименту				
$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} =$				

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Записати основні рівняння пасивного прохідного чотириполюсника. Вкажіть співвідношення між коефіцієнтами взаємного прохідного чотириполюсника.

2. Накреслити схеми, еквівалентні взаємному пасивному прохідному чотириполюсникові. Який зв'язок між параметрами цих схем та коефіцієнтами чотириполюсника?

3. Скільки дослідів і які необхідно виконати за експериментального визначення параметрів чотириполюсника?

Лабораторна робота № 19 Дослідження однофазних випростувачів

Мета роботи: ознайомитись з роботою однофазних випростувачів на прикладі однопівперіодної схеми, двопівперіодної схеми з середнім виводом та мостової схеми за допомогою USB-осцилографа DiSCO2 та провести імітаційне моделювання процесів у випростувачі програмним комплексом OrCAD PSpice.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з обладнанням лабораторного стенда (рис. 1.1).

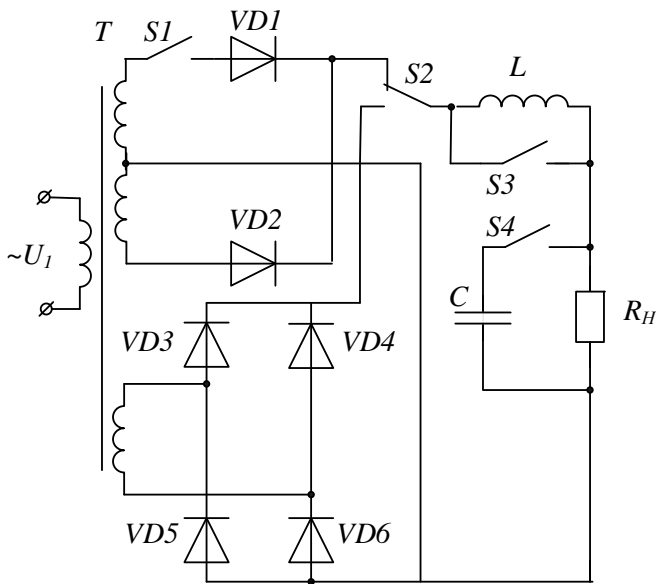


Рис. 1.1. Принципова електрична схема лабораторного макета

За допомогою перемикачів S1 і S2 змінюють тип випростувача, перемикачем S3 вмикають L-фільтр, S4 – C-фільтр. Положення ручки перемикача відповідає напрямку, вказаному в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Схема випростувача	Фільтр	Положення перемикачів			
		S1	S2	S3	S4
1. Однопівперіодна	без фільтра	↑	↑		↑
	C-фільтр				↓
2. Двопівперіодна з середнім виводом	без фільтра	↓	↑	↓	↑
	C-фільтр				↓
3. Мостова	без фільтра	×	↓		↑
	C-фільтр				↓

1.1.2. Під'єднати первинну обвитку трансформатора до джерела змінної напруги від 30 до 36 вольт.

1.1.3. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DiSco2 (ярлик *DiSco* на робочому столі).

1.1.4. За допомогою перемикачів S1 і S2 послідовно вмикати однопівперіодний випростувач, двопівперіодний випростувач з середнім виводом і випростувач мостової схеми (рис. 1, табл. 1).

1.1.5. Для кожної схеми випростувача за допомогою перемикачів S3 і S4 приєднати згладжувальні фільтри (можливі два варіанти: без фільтра і C-фільтр).

1.1.6. Виміряти цифровим вольтметром діючі значення первинної U_1 та вторинної напруги U_2 трансформатора, занести результати вимірювання у табл. 1.2. Зберегти осцилограми з відповідними показами в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *Файл/Сохранить снимок экрана*.

1.1.7. Виміряти цифровим вольтметром середні значення випростаної напруги навантаження U_n у всіх режимах роботи, занести результати вимірювання у табл. 1.2. Зберегти осцилограми з відповідними показами в графічному файлі, натиснувши підпункт меню *Файл/Сохранить снимок экрана*.

Таблиця 1.2

Схема випростувача	Фільтр	Напруга			Коефіцієнт пульсацій $K_n, \%$
		$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_n, \text{В}$	
1. Однопівперіодна	без фільтра				
	C-фільтр				
2. Двопівперіодна з середнім виводом	без фільтра				
	C-фільтр				
3. Мостова	без фільтра				
	C-фільтр				

1.1.8. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути генератор.

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

З осцилограм обчислити значення коефіцієнта пульсацій і занести результати в табл. 1.2. Коефіцієнт пульсацій K_n обчислювати як відношення половини різниці між максимальним і мінімальним значенням випростаної напруги до її середнього значення.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_302_VP.opj** (рис. 2.1). Присвоїти параметрам **U2_1**, **U2_3** у блоці **PARAMETERS** діючі значення вторинних напруг

U_2 трансформатора з табл. 1.2. Для цього двічі клацнути по вікну з числом і в полі **Value** встановити відповідне значення параметра (десяткову точку необхідно позначати **крапкою**, одиницю вимірювання на відміну від її префікса вказувати не обов'язково). За замовченням у полях **VAMPL** встановлюються амплітудні значення джерел синусоїдної напруги.

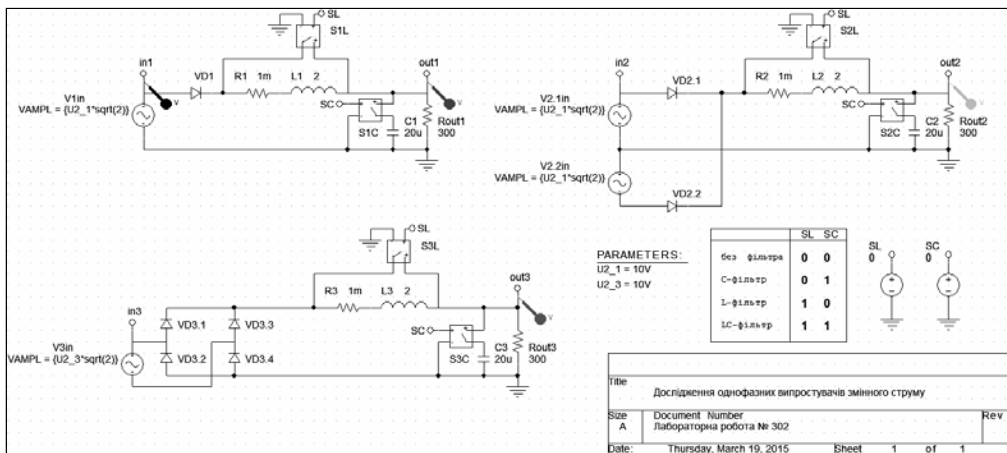


Рис. 2.1. Схема імітаційного моделювання випростувачів

2.1.2. Зміною значень керуючих параметрів **SL** і **SC** ключів (цифри зеленого кольору) встановлювати тип згладжувального фільтра згідно з довідковою таблицею на рис. 2.1 для всіх досліджуваних схем випростувачів.

2.1.3. Запустити часовий аналіз для кожного типу згладжувального фільтра, натиснувши піктограму . У новому вікні відкриються часові діаграми напруг, визначених кольоровими шпильками.

Зберегти в графічному файлі придатні для друку зображення кривих на білому фоні, натиснувши підпункт меню *File/Print (Ctrl-P)*⁵.

2.1.4. Відкрити вікно **Measurement Results** з пункту меню *View/Measurement Results*, чи натиснувши піктограму , і почергово активувати “пташками” ряд макросів, результати виконання яких записати в табл. 3.1.

2.2. Опрацювання дослідних даних

2.2.1. Порівняти часові діаграми, отримані під час фізичного і віртуального експериментів.

2.2.2. Порівняти параметри напруг, отриманих під час фізичного і віртуального експериментів.

⁵ Графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка максимальна зворотна напруга діодів у кожній з досліджуваних схем?
2. Навести переваги і недоліки схем двопівперіодного випростування.
3. Порівняти ємнісні та індуктивні фільтри.
4. Коли застосовують L -фільтри?
5. У чому основна перевага LC -фільтра?

Таблиця 3.1

Згладжувальний фільтр	Схема випростувача	Параметр	Позначення макроса	Значення	Один. вим.
Без фільтра	1. Однопівперіодна	U_2	U2_1		В
		U_n	Uout1		В
		K_n	Kp1		%
	2. Двopівперіодна з середнім виводом	U_n	Uout2		В
		K_n	Kp2		%
		U_2	U2_3		В
	3. Мостова	U_n	Uout3		В
		K_n	Kp3		%
		U_2	U2_1		В
C-фільтр	1. Однопівперіодна	U_n	Uout1		В
		K_n	Kp1		%
		U_2	U2_1		В
	2. Двopівперіодна з середнім виводом	U_n	Uout2		В
		K_n	Kp2		%
		U_2	U2_3		В
	3. Мостова	U_n	Uout3		В
		K_n	Kp3		%
		U_2	U2_1		В
L-фільтр	1. Однопівперіодна	U_n	Uout1		В
		K_n	Kp1		%
		U_2	U2_1		В
	2. Двopівперіодна з середнім виводом	U_n	Uout2		В
		K_n	Kp2		%
		U_2	U2_3		В
	3. Мостова	U_n	Uout3		В
		K_n	Kp3		%
		U_2	U2_1		В
LC-фільтр	1. Однопівперіодна	U_n	Uout1		В
		K_n	Kp1		%
		U_2	U2_1		В
	2. Двopівперіодна з середнім виводом	U_n	Uout2		В
		K_n	Kp2		%
		U_2	U2_3		В
	3. Мостова	U_n	Uout3		В
		K_n	Kp3		%
		U_2	U2_1		В

Лабораторна робота № 20 Дослідження однокаскадного підсилювача на біполярному транзисторі

Мета роботи: ознайомитись з підсилювальними властивостями біполярного транзистора та підсилювача з спільним емітером за допомогою USB-осцилографа DiSco2 та провести імітаційне моделювання процесів у підсилювальному каскаді програмним комплексом OrCAD PSpice.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з обладнанням лабораторного стенда (рис. 1.1).

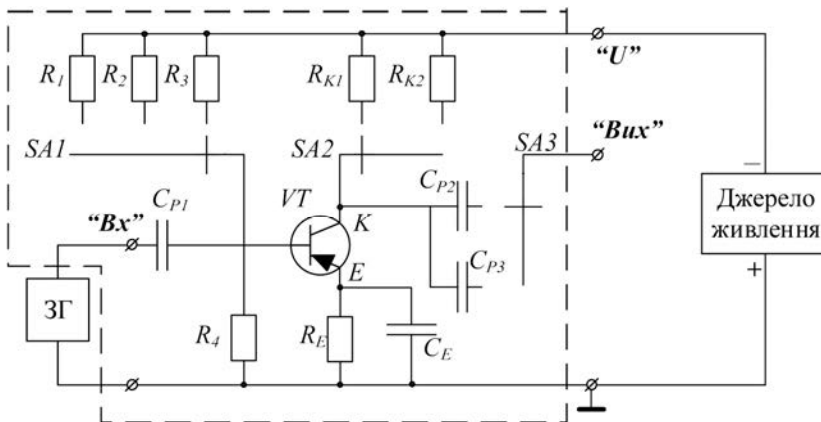


Рис. 1.1. Принципова електрична схема лабораторного макета

За допомогою перемикача SA1 здійснюють перемикання режимів роботи підсилювального каскаду. Перемикач SA2 забезпечує дослідження роботи каскаду для двох значень опору резистора в колі колектора. Перемикач SA3 дає змогу дослідити вплив на частотну характеристику підсилювального каскаду розділювальних конденсаторів C_{P2} і C_{P3} .

1.1.2. Під'єднати коло до джерела живлення (постійної напруги 12 В).

1.1.3. Увімкнути комп'ютер. Завантажити програму для роботи з осцилографом (аналогово-цифровим перетворювачем) DiSco2 (ярлик DiSco на робочому столі). Увімкнути джерело живлення та цифровим осцилографом виміряти його напругу:

$$E = V.$$

1.1.4. Під'єднати USB-осцилограф DiSco2 між корпусом та колектором транзистора VT. Змінюючи перемикачами SA1 і SA2 резистори R_1 , R_2 , R_3 , R_{K1} , R_{K2} , встановити режим А роботи підсилювального каскаду (напруга колектора повинна

дорівнювати наближено половині напруги живлення). Записати назви та параметри резисторів у табл. 1. У цьому режимі виміряти напруги колектора, бази, емітера й між базою та емітером транзистора VT, результати вимірювань записати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Назва опору		Виміряна величина				Обчислена величина			
R_{K1}, R_{K2}	R_1, R_2, R_3	$U_K, В$	$U_B, мВ$	$U_E, мВ$	$U_{EB}, мВ$	$I_K, мА$	$I_B, мА$	$I_E, мА$	h_{21E}

1.1.5. Від'єднати штекери цифрового осцилографа та вимкнути джерело живлення.

1.2. Оброблення експериментальних даних

1.2.1. Розрахувати значення струмів колектора, емітера та бази для значень опорів резисторів, вказаних на макеті, і занести результати обчислень у табл. 1.1.

1.2.2. Обчислити значення коефіцієнта підсилення за струмом транзистора h_{21E} у схемі з спільним емітером і занести отримане значення в табл. 1.1.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_305_TP.opj** (рис. 2.1). Установити виміряне значення напруги джерела живлення E у відповідному полі **12V** параметрів джерела **V2**. Перевірити і за необхідності змінити значення опорів **R1** (параметр **Rval**), **RK**, **R4**, **RE** і **RH**.

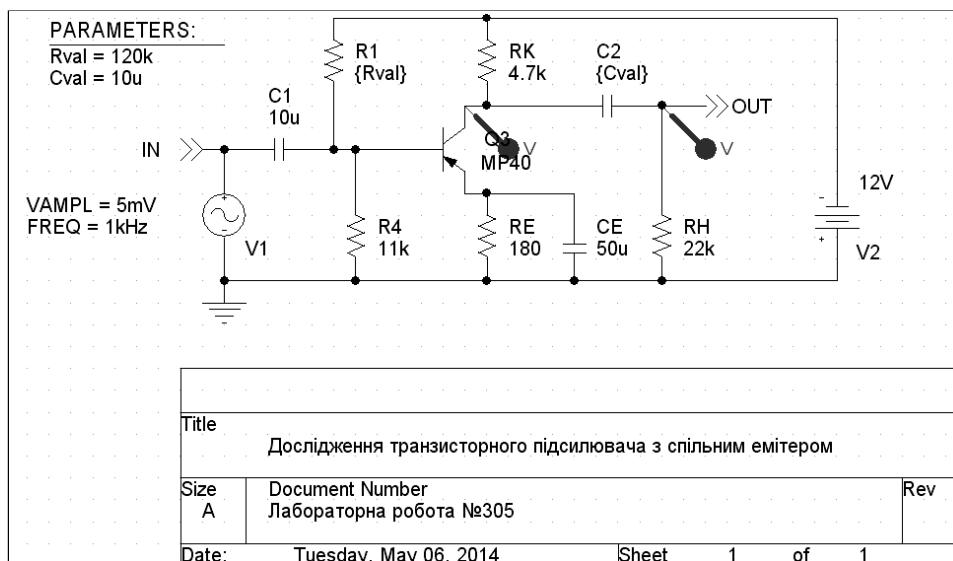





Рис. 2.1. Схема імітаційного моделювання підсилювача

2.1.2. Установити режим моделювання на постійному струмі *DC Sweep* у вікні *Simulation Settings* (меню *PSpice / Edit Simulation Profile* чи піктограма ).

Натиснути піктограму  і дослідити залежність напруги колектора від опору **R1** (параметр **Rval**) у колі бази. Зображення кривої на білому фоні, отримане у пункті меню *File/Print (Ctrl-P)*, зберегти в графічному файлі⁶.



З отриманого графіка для напруги колектора U_K з табл. 1 (наближено режим А роботи підсилювача) визначити значення опору R_1 . Визначити також значення цього опору для напруг колектора U_K на рівні 5–20 % та 80–95 % напруги джерела E . Тут для вимірювання координат точок кривої доцільно використати “перехрестя” натисканням

піктограми . Перехрестя переміщують по кривій, тримаючи натиснутою ліву чи праву клавішу “миші”, координати якого виводяться у додатковому вікні.

Результати вимірювань записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Режим	Значення опору R_1 , кОм	Напруга U_K , В
5–20 % від E		
~50 % від E (режим А)		
80–95 % від E		

2.1.3. Установити режим моделювання перехідних процесів *Time Domain (Transient)* у вікні *Simulation Settings* (меню *PSpice / Edit Simulation Profile* чи піктограма ). Почергово через пропуск встановити значення опору R_1 у полі *Value List* параметра *Rval* (рис. 2.2). За цієї умови після натискання піктограми  отримується відповідна кількість кривих перехідних процесів на одній площині від дії джерела синусоїдної напруги V_1 на вході підсилювача.

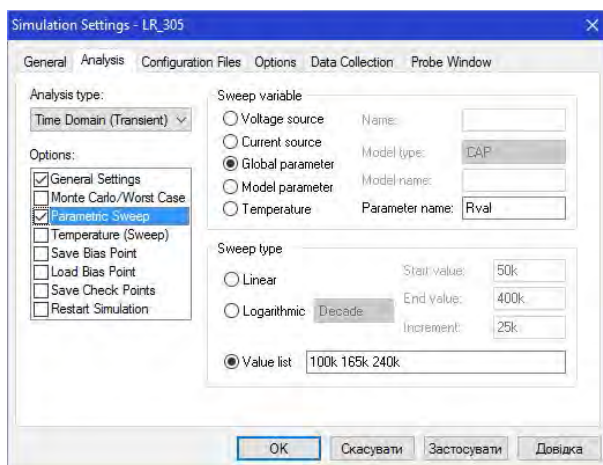


Рис. 2.2. Вікно встановлення значень параметра *Rval*


⁶ Графічний файл можна створити, до прикладу, віртуальним принтером FinePrint.

У графічних файлах зберегти отримані зображення часових залежностей.

2.2. Оброблення експериментальних даних

Пояснити вплив положення робочої точки транзистора на постійному струмі на форму вихідного сигналу в режимі підсилення синусоїдної напруги.

3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

3.1. Установити режим моделювання змінного струму *AC Sweep* у вікні *Simulation Settings* (меню *PSpice / Edit Simulation Profile* чи піктограма ). Установити додатковий режим *Parametric Sweep* (рис. 3.1) для двох значень розділювального конденсатора C_{P2} і C_{P3} (рис. 3.1). Отримати АЧХ та ФЧХ підсилювального каскаду в режимі А для вказаних значень ємностей конденсаторів. Для цього достатньо в програмі *PSpice A/D Lite* додати до отриманих графічних зображень макроси AFC (дБ) і PFC (град).

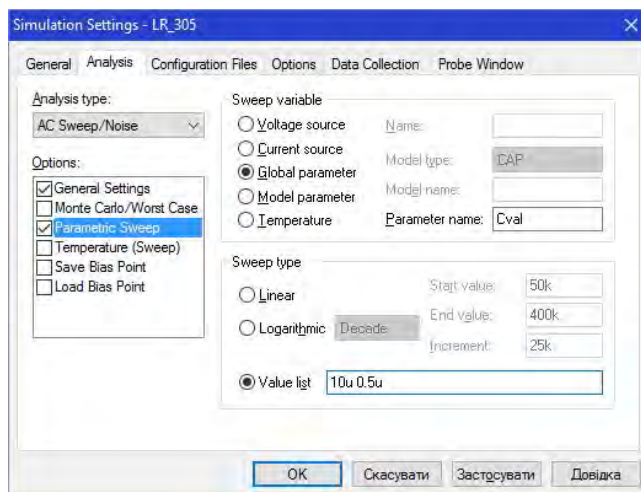


Рис. 3.1. Вікно встановлення значень параметра C_{val}

3.2. Проаналізувати відмінності АЧХ і ФЧХ за різних значень розділювального конденсатора.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає ефект підсилення сигналу в транзисторному підсилювачі?
2. Параметри яких елементів підсилювального каскаду визначають режим роботи транзистора?
3. Чим зумовлено зниження коефіцієнта підсилення транзисторного підсилювача на низьких та високих частотах?
4. Якими параметрами характеризується підсилювальний каскад?
- 4.5. Які основні характеристики підсилювача?

Лабораторна робота № 21 Дослідження аналогових пристроїв на операційних підсилювачах

Мета роботи: ознайомитись з особливостями роботи аналогових пристроїв на інвертувальних операційних підсилювачах (ОП) та дослідження їх робочих характеристик за допомогою USB-осцилографа DiSCO2, провести імітаційне моделювання процесів інвертувальних операційних підсилювачів програмним комплексом OrCAD PSpice.

1. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

1.1. План виконання

1.1.1. Ознайомитись з обладнанням лабораторного стенда (рис. 1.1).

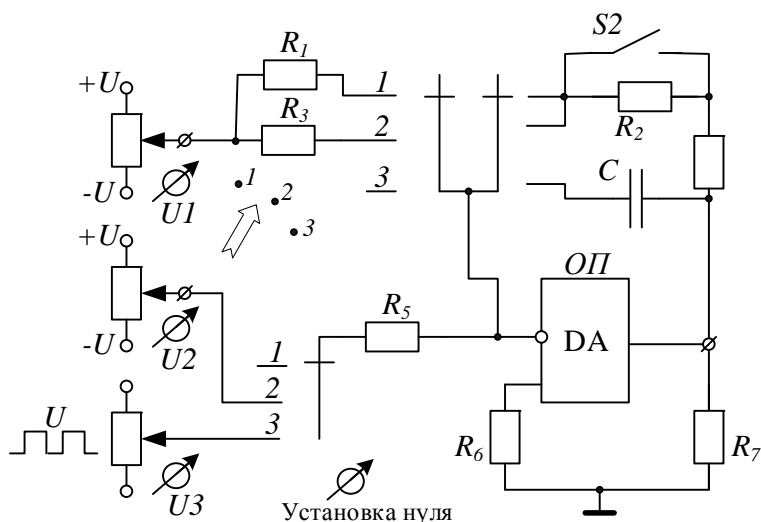


Рис. 1.1. Принципова електрична схема лабораторного макета

1.1.2. Масштабний інвертувальний підсилювач виконано на базі ОП типу К140УД1Б. Перемикач $S1$ призначено для дослідження різних аналогових пристроїв на базі ОП: у положенні 1 – масштабного інвертувального підсилювача; у положенні 2 – інвертувального суматора; у положенні 3 – інтегратора. Перемикач $S2$ забезпечує дослідження масштабного підсилювача з двома значеннями опорів у ланці зворотного зв'язку. Регуляторами $U1$, $U2$, $U3$ можна змінювати значення і полярність вхідних напруг. Регулятором “Установка нуля” встановлюють вихідну напругу ОП такою, що дорівнює нулеві за $U_{\text{вх}} = 0$.

1.1.3. Подати живлення до досліджуваної схеми від джерела живлення, використовуючи дві його секції “12 В”. Для цього з'єднати: клеми “-” першої та “+”

другої секції джерела живлення з корпусом “|” макета; клему “+” першої секції джерела живлення з клемою “+U” макета; клему “-” другої секції з клемою “-U” макета. Обидві секції джерела живлення вмикати одночасно.

1.1.4. Підготувати масштабний інвертувальний підсилювач до роботи: встановити перемикач S1 у положення 1 (рис. 1). Під’єднати один з входів USB-осцилографа до затискачів “|” і “Вхід 1” макета. За допомогою регулятора напруги “U1” встановити напругу на вході масштабного підсилювача рівною нулеві. Під’єднати інший вхід USB-осцилографа до вихідних затискачів підсилювача і встановити регулятором “Установка нуля” нульове значення вихідної напруги ОП.

1.1.5. Зняти залежність $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх1}})$ масштабного інвертувального підсилювача за різних опорів у ланці зворотного зв’язку, зміна яких здійснюється за допомогою ключа S2. Результати вимірювань записати в табл. 1.1.

Вхідну напругу $U_{\text{вх1}}$ необхідно змінювати за допомогою регулятора “U1” у межах від мінімального до максимального значення з відповідним кроком до повного заповнення стовпців табл. 1.1.

Визначити значення вихідної напруги, за якого починає проявлятися нелінійність передатної характеристики.

Таблиця 1.1

Результати досліджень масштабного підсилювача

Вимірювання	Вхідна напруга $U_{\text{вх1}}$, мВ									
	Вихідна напруга $U_{\text{вих1}}$, В (ключ S2 замкнений)									
	Вихідна напруга $U_{\text{вих2}}$, В (ключ S2 розімкнений)									
Обчислення	Коефіцієнт $K_{U1} = U_{\text{вих1}}/U_{\text{вх}}$									
	Коефіцієнт $K_{U2} = U_{\text{вих2}}/U_{\text{вх}}$									

1.1.6. Підготувати суматор до роботи: поставити перемикач S1 у положення 2, перемикач S2 замкнений (рис. 1.1).

1.1.7. Подати напругу на два входи суматора: напругу $U_{\text{вх1}}$ змінювати за допомогою регулятора “U1” від мінімального до максимального значення з відповідним кроком до повного заповнення стовпців за незмінної напруги $U_{\text{вх2}}$, що

дорівнює наближено $1/3$ – $1/2$ мінімального чи максимального значення (орієнтовно 150–200 мВ за модулем). Результати вимірювань записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Результати досліджень суматора

Вимірювання	Напруга $U_{\text{вх1}}$, мВ									
	Напруга $U_{\text{вх2}}$, мВ									
	Вихідна напруга $U_{\text{вих}}$, В									
Обчислення	$U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}}$, мВ									
	$K_U = U_{\text{вих}} / (U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}})$									

1.1.8. Підготувати інтегратор до роботи, установивши перемикач S1 у положення 3 (рис. 1).

1.1.9. Подати на вхід схеми прямокутної форми напругу від генератора імпульсів.

1.1.10. Зберегти в графічному файлі часові діаграми вхідного і вихідного сигналів.

1.2. Опрацювання дослідних даних фізичного експерименту

1.2.1. За результатами вимірювань з табл. 1.1 обчислити коефіцієнти підсилення масштабного підсилювача для двох значень опору резистора в ланці зворотного зв'язку.

1.2.2. Побудувати передатні характеристики масштабного інвертувального підсилювача $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх1}})$ для двох значень опору резистора в ланці зворотного зв'язку за результатами вимірювань з табл. 1.1.

1.2.3. За результатами вимірювань з табл. 1.2 обчислити коефіцієнт підсилення суматора.

1.2.4. Побудувати передатну характеристику суматора $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх1}})$ за результатами вимірювань з табл. 1.2.

2. ВІРТУАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. План виконання

2.1.1. Завантажити програму OrCAD Capture (ярлик *OrCAD Capture CIS Lite* на робочому столі). Відкрити файл проекту **LR_306_OP.opj** (рис. 2.1).

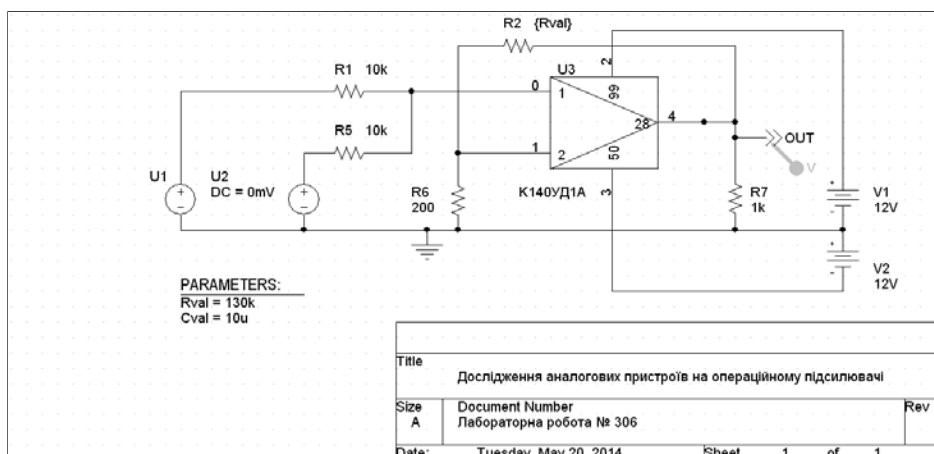


Рис. 2.1. Схема імітаційного моделювання пристроїв на ОП

2.1.2. Обчислити значення опору R_2 (параметр Rval) за результатами табл. 1.1 за формулою $R_2 = |K_U|R_1$ для обох значень коефіцієнта підсилення. Результати обчислень занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Значення опору R_2

Коефіцієнт підсилення K_U		
Опір R_2 , кОм		


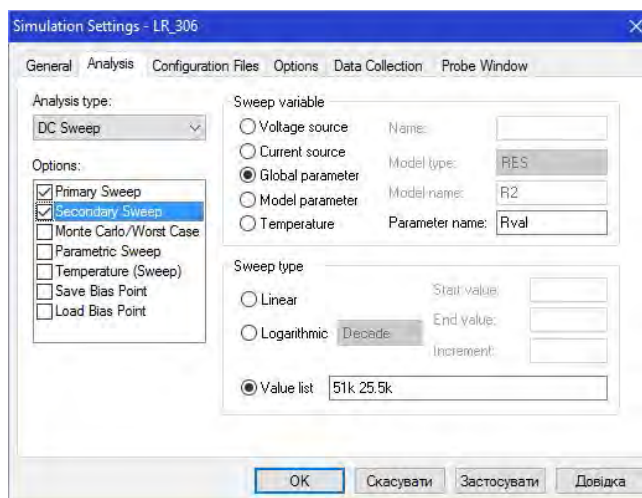

2.1.3. Установити режим моделювання перехідних процесів *DC Sweep* у вікні *Simulation Settings* (меню *PSpice / Edit Simulation Profile* чи піктограма ). Почергово через пропуск встановити значення опору R_2 у полі Value List параметра Rval (рис. 2.2).

Рис. 2.2. Вікно встановлення значень параметра Rval



2.1.4. Натиснувши піктограму , дослідити зміну вихідної напруги ОП U_{out} від зміни напруги U_1 для заданої напруги U_2 (для масштабного підсилювача, що дорівнює нулеві, для суматора – значенню $U_{вх2}$ з табл. 2). Отримані характеристики зберегти в графічному файлі.

2.2. Оброблення експериментальних даних

Порівняти побудовані амплітудні характеристики, отримані за результатами фізичного експерименту та за допомогою програмного комплексу OrCAD PSpice.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвати аналогові пристрої на операційних підсилювачах.
2. Яке призначення ланки зворотного зв'язку операційного підсилювача?
3. Які основні параметри операційних підсилювачів?
4. Як здійснюється масштабування вхідного сигналу за допомогою операційного підсилювача?
5. Пояснити принцип роботи суматора вхідних сигналів, виконаного на операційному підсилювачі.
6. Як реалізувати інтегратор та диференціатор за допомогою RC -ланок зворотного зв'язку в операційному підсилювачі?

Список літератури

1. Бобало Ю. Я. Основи теорії електронних кіл : підруч. для студентів вищ. навч. закл. / Ю. Я. Бобало, Б. А. Мандзій, П. Г. Стахів та ін. ; за ред. проф. Ю. І. Якименка. – 2-ге вид., доопрац. і доп. – К. : НТУУ “КПІ”, 2013. – 416 с.
2. Маляр В. С. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола : навч. посіб. / В. С. Маляр. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 312 с.
3. Гамола О. Є. Електротехнічний практикум : навч. посіб. / О. Є. Гамола, В. І. Коруд, В. С. Мадай, Н. П. Мусихіна. – Львів : Магнолія-2006, 2013. – 194 с.
4. Стахів П. Г. Основи електроніки з елементами мікроелектроніки : навч. посіб. / П. Г. Стахів, В. І. Коруд, О. Є. Гамола, В. Я. Чернівчан, Н. П. Мусихіна. – Львів : Магнолія-2006, 2013. – 225 с.

Книги для навчання і роботи!



За ред. проф. Ю. Я. Бобала, проф. Б. А. Мандзяк

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

Навчальний посібник. – 2013. 320 с.

ISBN 978-617-607-355-0

Розглянуто основні поняття теорії та математичні моделі радіоелектронних кіл, математичні моделі зовнішньої дії на електронне коло, лінійні кола з постійними параметрами, нелінійні кола та лінійні кола з розподіленими параметрами.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються на базових напрямках, пов'язаних з обробленням та пересиланням інформації, поданої у вигляді електричних сигналів.

Рекомендувало Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів базових напрямків “Радіотехніка”, “Електронні апарати”, “Телекомунікації”, “Електроніка”, “Комп’ютерні науки”, “Лазерна та оптоелектронна техніка”.



Бобало Ю. Я. та ін.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Монографія. – 2013. – 300 с.

ISBN 978-617-607-468-7

Висвітлено питання, які стосуються оцінки показників надійності складних радіоелектронних та електротехнічних систем, а також надійності програмного забезпечення, що є складовою сучасних програмно-апаратних систем. Основну увагу звернуто на початковий етап життєвого циклу технічних систем, на якому розробник визначає концепцію забезпечення їх надійності.

Монографія становить інтерес для розробників відповідних технічних систем, наукових працівників, аспірантів, які займаються питаннями забезпечення та прогнозування надійності, а також для студентів, які готуються до майбутньої професійної діяльності у сфері надійнісного проектування.

Бобало Ю.Я.

ОСЦИЛОГРАФИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Навчальний посібник. – 2014. – 88 с.

ISBN 978-617-607-550-9

Описано основні напрями розвитку осцилографії – однієї з найважливіших ділянок сучасної метрології. Наведено параметри осцилографів, структурні схеми, пояснення принципу дії. Звернуто увагу на питання вибору осцилографів для дослідження конкретних фізичних величин та на методи їх вимірювання. Також розглянуто питання практичного застосування цифрового осцилографа.

Для студентів напрямів підготовки “Радіотехніка”, “Телекомунікації” та “Радіоелектронні апарати”, а також для студентів інших технічних напрямів.



За ред. проф. Ю. Я. Бобала

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

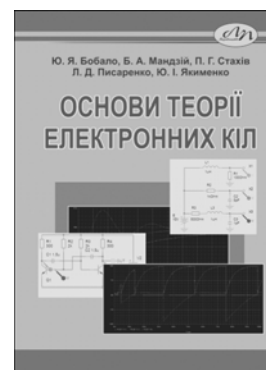
Підручник. – 2008. – 332 с.

ISBN 978-966-553-815-8

Висвітлено основні поняття теорії сигналів, розкрито базові положення теорії електричних кіл, описано їхні компоненти. Значну увагу приділено аналізу електронних кіл, а також перетворенням сигналів в електронних колах. Видання охоплює всі три види занять з теорії електронних кіл. Кожний розділ закінчується питаннями для самоконтролю, прикладами розв’язання типових задач та задачами для самостійного розв’язування. Додано електронний підручник, який ґрунтується на двох попередніх виданнях. Він містить три частини, перша з яких значною мірою повторює попередні видання, а дві інші – дають студентіві змогу здійснити комп’ютерну самооцінку отриманих знань, а також підготуватись до виконання лабораторних робіт.

Для студентів ВНЗ III–IV рівнів акредитації, які навчаються на базових напрямах “Комп’ютерні науки”, “Мікро- та наноелектроніка”, “Електронні пристрої та системи”, “Оптоелектроніка” тощо і вивчають курс “Основи теорії електронних кіл” або подібні курси.

Затвердило Міністерство освіти і науки України.



Видавництво Львівської політехніки

вул. Ф. Колесси, 4, корп. 23А, м. Львів, 79013

тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136, <http://vlp.com.ua>, vmr@vlp.com.ua



НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Бобало Юрій Ярославович
Стахів Петро Григорович
Рендзіняк Сергій Йосипович
Коруд Василь Іванович
Гамола Орест Євгенович
Горячко Всеволод Іванович
Мадай Володимир Степанович
Рижий Тарас Іванович

**КОМБІНОВАНИЙ
(ГІБРИДНИЙ)
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ТА ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ,
СИГНАЛІВ І ВИМІРЮВАНЬ
У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ
ЛАБОРАТОРІЇ**

Навчальний посібник

За загальною редакцією Ю. Я. Бобала

Редактор *Анна Весній*
Коректор *Олеся Пастуцак*
Технічний редактор *Лілія Саламін*
Комп'ютерне верстання *Марти Гарасимів*
Художник-дизайнер *Маріанна Рубель-Кадирова*

Здано у видавництво 03.12.2015. Підписано до друку 26.02.2016.
Формат 70×100¹/₁₆. Папір офсетний. Друк офсетний.
Умовн. друк. арк. 4,19. Обл.-вид. арк. 8,7.
Наклад 300 прим. Зам. 154352.

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79013
тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136
vlp.com.ua, ел. пошта: vnr@vlp.com.ua