

Навчальне видання

КУЧЕРЕНКО МИКОЛА ЄЛИСЕЙОВИЧ
ЩЕРБА АНАТОЛІЙ АНДРІЙОВИЧ

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ ТА ЕЛЕКТРОНІЦІ

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

ІВЦ "Видавництво «Політехніка»" – редакційно-видавничий відділ

Редактор *Р. М. Шульженко*
Комп'ютерна верстка
і виготовлення оригінал-
макета (авторські) *Н. В. Білюк*
Рисунки подано в авторській редакції

Темплан 2003 р., поз. 1-3/11

Підп. до друку 20.11.2003. Ум. друк. арк. 3,02. Обл.-вид. арк. 5,03.

Інформаційно-видавничий центр "Видавництво «Політехніка»" НТУУ «КПІ»
Свідоцтво про держреєстрацію ДК № 211 від 09.10.2000
03056, Київ-56, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
тел./факс (044) 241-68-78, 441-16-59, e-mail: izdatelstvo@ntu-kpi.kiev.ua

НТУУ "КПІ" ФЕА 03056 Київ – 56, пр. Перемоги 37
Розмножено на різнографі. Друк. арк. 3,02. Тираж 150. Зам. 193 2003р

ПЕРЕДМОВА

Комп'ютерні технології в навчанні розвиваються бурхливими темпами, особливо в зв'язку зі збільшенням вимог до самостійної роботи студентів та широким упровадженням дистанційних форм здобуття знань. Для вивчення дисциплін „Теоретичні основи електротехніки” та „Електротехніка і основи електроніки” серед можливих варіантів програм вибрано, на погляд авторів, найпростішу у використанні і досконалу, а саме *Electronics Workbench (EWB)*, яка відкриває широкі можливості вдосконалення навчального процесу, а також розвитку нових методів експериментальних досліджень. Наявність у програмі віртуальних контрольно-вимірjuвальних приладів дозволяє планувати та проводити широкий спектр експериментів: від навчальних дослідів до дослідження реальних пристроїв. Такий підхід – ідеальний засіб для навчання, оскільки дає змогу зняти майже всі обмеження щодо елементної бази та контрольно-вимірjuвальних приладів, а також проблеми, пов'язані з можливістю некоректних дій експериментатора. Усе це зумовило розповсюдження програми за кордоном і використання її в навчальних курсах технічних університетів. Програма постійно удосконалюється і на тепер функціонує багатьма мовами. З'являються підручники з курсу електричних кіл та електроніки, які ґрунтуються на використанні програми для проведення експериментальних досліджень [1, 2].

У першому розділі посібника наведено програму *EWB* (версія 5.12) як основний інструмент, що легко засвоюється та потребує незначної ємності (близько 19 Мбайт) дискової пам'яті, у другому – розглянуто блок моделювання програми *EWB* (версія 6.02) *MultiSim*, який потребує близько 90 Мбайт дискової пам'яті, та його основні відмінності від програми *EWB* (версія 5.12), у третьому – подано рекомендації щодо виконання та оформлення лабораторно-практичних робіт і як приклад наведено завдання до лабораторно-практичної роботи на тему "Дослідження складного електричного кола постійного струму" та виконання його експериментальної частини.

Програма *EWB* як навчальна розвиває творчий почин у навчанні, і студент може виконувати не тільки завдання викладача, а пропонувати й апробувати свої технічні рішення.

Оскільки програми *Electronics Workbench (EWB)* надто потужні системи схемотехнічного моделювання, автори припускають, що опис їх використання для вивчення дисциплін "Теоретичні основи електротехніки" та "Електротехніка і основи електроніки" не позбавлений від недоліків та методичних прорахунків.

1. ПРОГРАМА СХЕМОТЕХНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ *ELECTRONICS WORKBENCH* (ВЕРСІЯ 5.12)

Програму *Electronics Workbench (EWB)* розробила фірма *Interactive Image Technologies*. Її особливість — наявність бібліотек, що містять моделі поширених електричних та електронних пристроїв, параметри яких можна змінювати у широкому діапазоні, а також контрольно-вимірювальних приладів, які за зовнішнім виглядом і характеристиками наближаються до найкращих промислових зразків. У програмі використано стандартний інтерфейс операційної системи *Windows*, що спрощує її і робить доступною для всіх, хто ознайомлений з його основами.

Робоче вікно програми *EWB* (версії 5.12) показано на рис. 1.1.

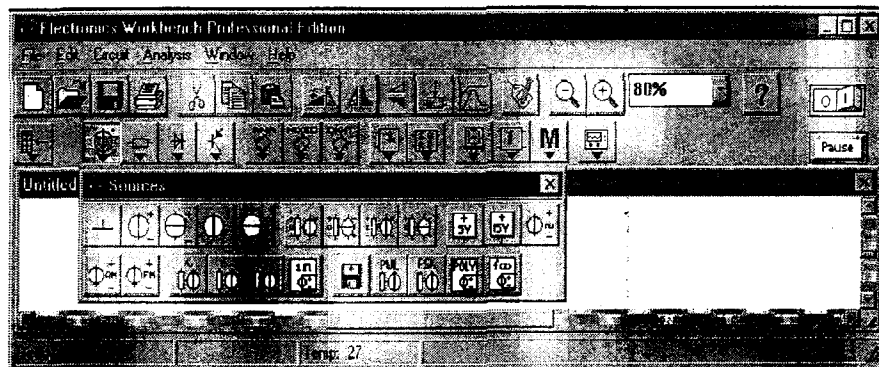



Рис. 1.1


1.1. КОМПОНЕНТИ ПРОГРАМИ *EWB*

Компонентами програми вважають моделі елементів електричних кіл та електронних пристроїв. Для операцій з ними виділено панель піктограм компонент (рис. 1.1). Якщо затримати курсор “мишки” на одній із чотирнадцяти піктограм, з’являється назва з найменуванням поля компонент, а клацання “мишки” на її зображенні відкриває поле компонент. Поле компонент *Sources* (джерела) також зображено на рис.1.1.



Опис компонент зробимо з посиланням на відповідне поле компонент у послідовності розміщення їх піктограм і лише тих, які потрібні для дослідження електричних кіл та електронних пристроїв



відповідно до дисциплін “Теоретичні основи електротехніки” та “Електротехніка і основи електроніки”.

Sources  – поле компонент, у якому зібрано такі компоненти, як “заземлення” та джерела живлення (рис. 1.1).

 – компонента “заземлення” має нульовий потенціал, щодо якого забезпечується вихідна точка для визначення потенціалів в експериментальних моделях дослідних схем. Не всі схеми потребують заземлення під час моделювання, однак будь-яка схема, що містить трансформатор і осцилограф, мусить бути обов’язково заземлена.

Усі джерела програми *EWB* ідеальні. Внутрішній опір ідеального джерела напруги дорівнює нулю, тому його вихідна напруга не залежить від навантаження. Ідеальне джерело струму має нескінченно великий внутрішній опір, тому його струм не залежить від опору навантаження.

  – відповідно джерела постійної та синусоїдної напруг, що вимірюють у вольтах і задають довільними значеннями в діапазоні від мікровольтів (мкВ) до кіловольтів (кВ). Джерело синусоїдної напруги задають діючими значеннями напруги, частотою і початковою фазою.

  – джерела постійного та синусоїдного струмів, що вимірюють в амперах і задають довільними значеннями в діапазоні від мікроамперів (мкА) до кілоамперів (кА). Джерело синусоїдного струму задають діючим значенням струму, частотою і початковою фазою.





Basic  – поле компонент, у якому зібрано такі компоненти, як “з’єднувальний вузол”, пасивні елементи електричних кіл та комутаційне обладнання (рис. 1.2).





Рис. 1.2


 – вузол, що застосовують для з’єднання елементів схеми. До кожного вузла можна приєднувати не більше чотирьох провідників.


 – резистор та змінний резистор. Опір резисторів вимірюють в омах і задають довільними значеннями від частки омів (Ом) до мегомів (МОм).

 – конденсатор та змінний конденсатор. Ємність конденсаторів вимірюють у фарадах і задають довільними значеннями від пікофарад (пФ) до фарад (Ф).

 – котушка індуктивності та котушка змінної індуктивності. Індуктивність котушок вимірюють у генрі і задають довільними значеннями від мікрогенрі (мкГн) до генрі (Гн).

 – трансформатори. Трансформатори використовують для перетворення напруги одного значення в інше. Перший трансформатор виконано з виведенням від середньої точки.

 – електромагнітне реле. Реле може мати нормально замкнені чи нормально розімкнені контакти. Воно спрацьовує, коли струм у керувальній обмотці перевищує струм спрацювання. Відбувається перемикання, наприклад, пари нормально замкнених контактів на пари нормально розімкнених.

 – ключ, керований клавішею. Має два стани: розімкнений і замкнений. У розімкненому стані ключ має нескінченно великий опір, у замкненому стані його опір дорівнює нулю.



Diodes  – поле компонент, в якому зібрано напівпровідникові прилади: діоди, тиристри, диністри, триністри, а також мостовий випрямляч (рис. 1.3).



Рис. 1.3

Transistor  – поле компонент, в якому зібрано транзистори різних типів (рис. 1.4).

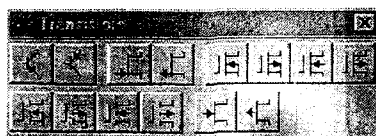



Рис. 1.4

 – відповідно транзистори *n-p-n* і *p-n-p* типів.

Складніші напівпровідникові компоненти зібрано на таких полях компонент: *Analog Ics* (аналогові мікросхеми), *Mixed Ics* (мікросхеми змішаних типів), *Logic Gates* (логічні цифрові мікросхеми), *DIGITAL* та *Digital Ics* (цифрові мікросхеми).




Indicators  – поле компонент, у якому зібрано вимірювальні та індикаторні прилади, зокрема вольтметр, амперметр та лампа розжарювання (рис. 1.5).



Рис. 1.5

 – вольтметр та амперметр, використовувани відповідно для вимірювання постійної та змінної напруг і струму. Виділена товстою лінією сторона прямокутника, що зображує прилад, відповідає негативному полюсу. Прилади в колах змінного струму показують діючі значення.

 – електрична лампа розжарювання. Це елемент резистивного типу, який характеризується двома параметрами: максимальною потужністю і максимальною напругою. Потужність може мати значення від міліватів (мВт) до кіловатів (кВт), напруга – від мілівольтів (мВ) до кіловольтів (кВ). Надалі максимальні значення потужності та напруги вважатимемо за номінальні.

Примітка. Лампа світить, якщо струм $I > 0,5I_{\max}$; якщо струм $I < 0,5I_{\max}$ лампа не світить і якщо струм $I > I_{\max}$; лампа перегорає, де I_{\max} – максимальний струм лампи.

Controls  – поле компонент керованих пристроїв (рис. 1.6).



Рис. 1.6



– аналоговий перемножувач. Вихідну напругу перемножувача визначають виразом

$$U_0 = K[YK(U_Y + YOFF) + XK(U_X + XOFF)] + OFF,$$

де K – загальний коефіцієнт передачі; (YK, XK) , $(YOFF, XOFF)$ – коефіцієнти передачі та постійні складові відповідно за входами Y і X ; OFF – постійна складова за виходом.

Цю компоненту можна використати для вимірювання потужності.



Miscellaneous  – поле компонент змішаного типу, зокрема запобіжник (рис. 1.7).



Рис. 1.7

 – запобіжник. Запобіжник спрацьовує за заданого значення струму в електричному колі і запобігає його руйнуванню.



Instruments  – поле контрольно-вимірювальних приладів (рис. 1.8).





Рис. 1.8

Для дослідження електричних кіл та електронних пристроїв треба опанувати роботу таких вимірювальних приладів: амперметра, вольтметра, мультиметра, осцилографа, функціонального генератора та графопобудовника (*Bode Plotter*).

1.2. ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Побудова експериментальних моделей починається з розміщення компонент на робочому полі програми *EWB*. Для цього клацанням лівою кнопкою “мишки” на потрібній піктограмі панелі компонент розгортається її зображення. Зображення компоненти на робоче поле переміщують пересуванням “мишки”, натиснувши ліву кнопку на її зображенні. Відпустивши кнопку “мишки” в потрібному місці робочого поля, компонента залишається виділеною, тобто забарвленою в червоний колір, і за потреби її можна повертати на кут, кратний 90° , натисканням кнопок  *ROTATE*, розміщених на панелі інструментів. Клацанням лівої кнопки “мишки” на вільному місці робочого поля компонента фіксується на ньому і її забарвлення стає чорним.

Для з'єднання компонент провідниками потрібно підвести курсор “мишки” до полюса компоненти. Зображення курсору  зміниться на , а на полюсі компоненти з'явиться велика чорна точка (рис. 1.9). З її появою натискають ліву кнопку “мишки”, з посуванням якої з'являється з'єднувальний провідник, який підводять до місця з'єднання. З появою великої чорної точки на місці з'єднання кнопку “мишки” відпускають.

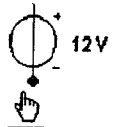


Рис. 1.9

До полюсів компонент можна приєднати тільки один провідник. Для приєднання інших провідників можна скористатись компонентою вузла $[\bullet]$, що знаходиться в полі компонент *Basic* (див. рис.1.1). Вузол за допомогою “мишки” переміщують до місця з'єднання. Якщо вузол з'єднується з провідником, він повністю забарвлюється в червоний колір, а потім (після фіксації) – в чорний. Якщо є видимі сліди від провідника, то електричного з'єднання вузла й провідника не сталося і потрібно все повторити. Після вдалого встановлення вузла до нього можна приєднати ще два провідники.

Якщо з'єднання треба розірвати, курсор “мишки” потрібно підвести до одного з полюсів з'єднаних компонент і з появою великої чорної точки натисканням лівої кнопки “мишки” відвести провідник на вільне місце робочого поля і відпустити кнопку.

Усі провідники за замовчуванням чорного кольору, але колір провідника можна змінити. Для цього потрібно подвійним клацанням на зображенні провідника відкрити вікно (рис.1.10) і вибрати потріб-

ний колір. Це особливо важливо, наприклад, якщо використовувати осцилограф. Колір осцилограм буде відповідати кольору з'єднувальних провідників.

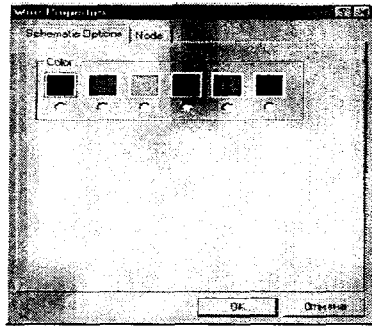


Рис. 1.10

Для переміщення компоненти в побудованій моделі схеми її попередньо треба виділити, клацнувши лівою кнопкою “мишки” на її зображенні. Компонента змінює свій колір на червоний і натисканням лівої кнопки “мишки” на її зображенні її можна перемістити в потрібне місце. Якщо потрібно перемістити групу компонент, їх також слід виділити. Для цього потрібно встановити курсор “мишки” в один з кутів уявної прямокутної ділянки, що містить групу, і натиснувши ліву кнопку “мишки”, розтягнути рамку до потрібних розмірів, після чого її відпустити. Група компонент змінить свій колір на червоний. Натиснувши ліву кнопку “мишки” на зображенні будь-якої компоненти групи, перемістити її у потрібне місце. Щоб зняти виділення, потрібно клацнути лівою кнопкою “мишки” в будь-якому вільному місці робочого поля.

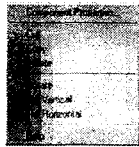



Рис. 1.11

Компоненти або групи компонент з робочого поля вилучаються командами *Cut* і *Delete*. Відмінність полягає в тому, що у разі виконання команди *Cut* компонента віддаляється в буфер і її можна потім установити знову в робоче поле, а в разі виконання команди *Delete* – вилучається зовсім. Перед вилученням компоненту треба виділити. Команду *Cut* виконують клацанням лівою кнопкою “мишки” по піктограмі *Cut*, що на панелі інструментів. Для виконання команди *Delete* та *Cut* зручно скористатись динамічним меню (рис. 1.11), яке викликають клацанням правої кнопки “мишки” зі знаходженням курсору на зображенні компоненти, яку треба вилучити.

Для підключення вимірювальних приладів до схеми потрібно розкрити поле компонент *Indicators* чи *Instruments*, перемістити потрібні прилади на робоче поле та з'єднати їх з досліджуваними точками експериментальної моделі.

Для переміщення компоненти в побудованій моделі схеми її попередньо треба виділити, клацнувши лівою кнопкою “мишки” на її зображенні. Компонента змінює свій колір на червоний і натисканням лівої кнопки “мишки” на її зображенні її можна перемістити в потрібне місце. Якщо потрібно перемістити групу компонент, їх також слід виділити. Для цього потрібно встановити курсор “мишки” в один з кутів уявної прямокутної ділянки, що містить групу, і натиснувши ліву

У побудовану схему можна вставити інші компоненти. Для цього потрібно “мишкою” перемістити компоненту в потрібне місце схеми і, помістивши її над провідником, відпустити кнопку “мишки”. Компонента автоматично вставиться в коло.

Програма *EWB* дає змогу об'єднувати елементи електричного кола в субблоки. Наприклад, для кола однопівперіодного випрямляча (рис. 1.12) *LC*-фільтр замінимо субблоком. Для цього треба виділити ділянку кола з ним і набрати пункт *Subcircuit* меню *Circuit*, або клацнути лівою кнопкою “мишки” по піктограмі *Create Subcircuit* .

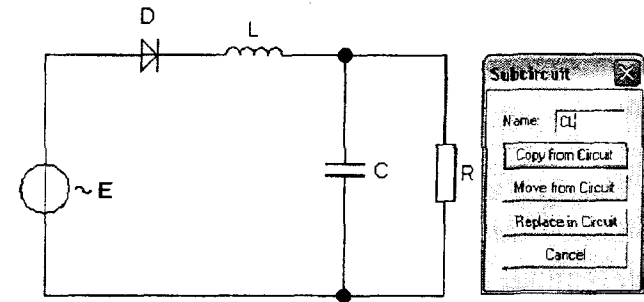


Рис. 1.12

З'явиться вікно. У рядку *Name* потрібно ввести ім'я субблоку, наприклад *CL*, а потім натиснути одну з чотирьох кнопок: *Copy from Circuit* (скопювати зі схеми), *Move from Circuit* (вилучити зі схеми), *Replace in Circuit* (замінити в схемі), *Cancel* (відмінити). Якщо натиснути на кнопку *Copy from Circuit*, схема залишиться без змін, а в полі компонент *Favorites* з'явиться субблок з привласненим йому ім'ям. Якщо натиснути на кнопку *Move from Circuit*, виділена ділянка кола відокремиться від схеми і розміститься у вікні з іменем, присвоєним субблоку. В полі компонент *Favorites* з'являється субблок з присвоєним йому ім'ям. Якщо натиснути кнопку *Replace in Circuit*, то виділена ділянка кола заміниться субблоком (рис. 1.13).

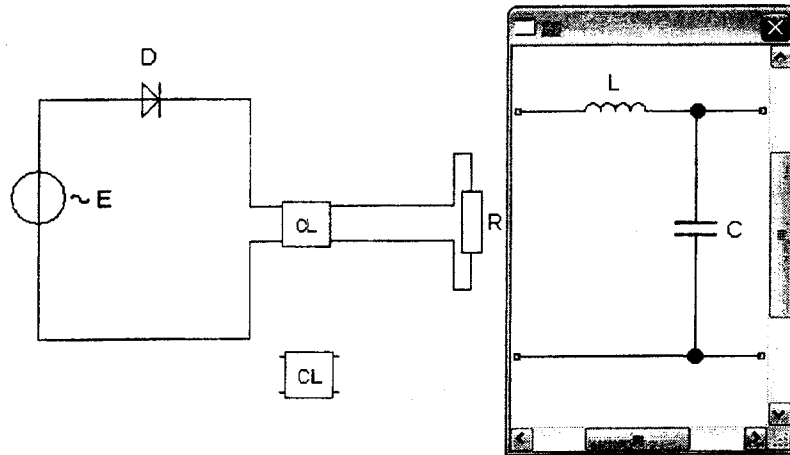


Рис. 1.13


1.3. УСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТ

Усі компоненти програми *EWB*, крім заземлення, мають певні параметри. Прості компоненти (різні джерела, резистори, конденсатори і т. ін.) мають один чи кілька параметрів. Складні компоненти, такі як трансформатор чи транзистор, мають кілька параметрів, що разом формують модель компоненти. У програмі всі параметри компонент установлені за замовчуванням. Параметри деяких компонент, визначених за замовчуванням, робота з якими як зразком допоможе усвідомити технологію установлення потрібних параметрів інших компонент, наведено в табл. 1.1.

Для установлення параметрів компонент в меню *Circuit* служить команда *Component Properties* (властивості компоненти).

Таблиця 1.1

Найменування компонент	Параметр компонент	Значення
Джерело синусоїдної напруги (AC)	Напруга	220 В
	Частота	50 Гц
	Фаза	0°
Резистор	Опір	1 кОм

Для виконання цієї команди потрібно підвести курсор на зображення компоненти і подвійним клацанням лівою кнопкою "мишки", або клацанням лівою кнопкою "мишки" по кнопці *Component Properties* , що на панелі інструментів, відкрити діалогове вікно (рис. 1.14). У вікні, яке з'явиться, за допомогою визначених у ньому закладок установити потрібні параметри.

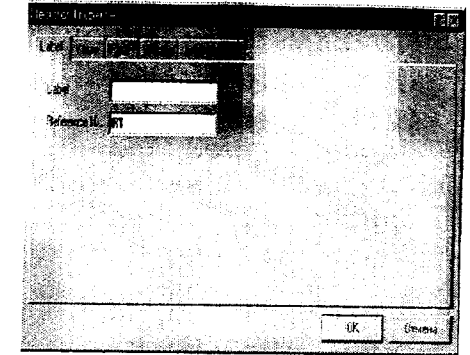



Рис. 1.14

Параметри компонент, які не будуть використовуватися в лабораторних та практичних роботах, вважатимемо встановленими за замовчуванням. Через це і надалі описуватимемо тільки ті команди та закладки, якими установлюються потрібні для виконання робіт параметри компонент.

Діалогове вікно резистора відповідно до закладки *Label* (позначення) показано на рис.1.14. У рядку *Label* подається позначення компоненти, наприклад, R_1 – для резистора, L_1 – для індуктивності і т. ін. Якщо потрібно зсунути позначення праворуч від зображення компоненти до 14 символів, слід скористатись клавішею "Пробіл". У рядку *Reference ID* подається позиційне позначення компоненти, надане йому програмою.

Діалогове вікно відповідно до закладки *Value* (номінальне значення) показано на рис. 1.15. У діалоговому вікні за допомогою клавіатури та "мишки" потрібно внести значення опору резистора, а одиниці виміру встановити за допомогою кнопок .

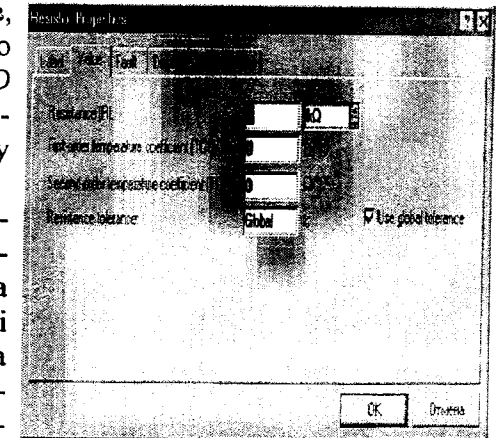


Рис. 1.15

Параметри компонент відповідно до закладок *Fault* (імітація неполадок), *Display* (характер виведення позначень компонент на

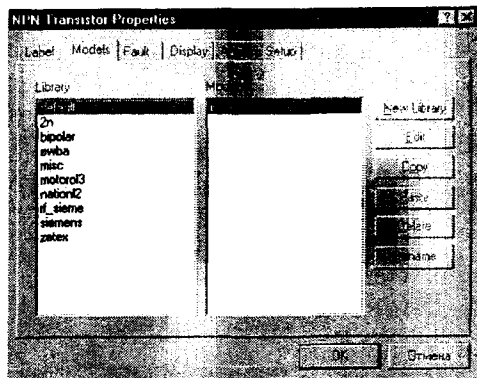


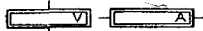
Рис. 1.16

лей компонент вибраної бібліотеки; *New Library* – створення нової бібліотеки.


Після виконання команди *Edit* з'являється діалогове вікно з параметрами вибраної моделі, поданими відповідними списками, які за потреби змінюють.

1.4. КОНТРОЛЬНІ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Опис контрольних та вимірювальних приладів програми *EWB* наведемо одночасно з поясненням установлення їх параметрів.

Амперметр та вольтметр . Найпростіші прилади програми *EWB* — амперметр і вольтметр, які розміщені в полі компонент *Indicators*. Їх використовують для вимірювання відповідно струму та напруги в колах постійного та змінного струмів. Прилади з автоматичним змінюванням діапазону вимірювання не потребують настроювання. В одній схемі можна застосовувати кілька таких приладів одночасно з вимірюванням струмів і напруг різних елементів електричного кола. Виділена жирною лінією сторона прямокутника, що зображує ці прилади, відповідає негативному зажиму приладу.

Подвійним клацанням лівою кнопкою “мишки” на зображенні приладів відкривають діалогове вікно, наприклад амперметра (рис. 1.17).





Режим роботи приладу залежно від типу вимірювальних величин, тобто *DC* (*direct current* – постійний струм) чи *AC* (*alternating* – змінний струм) (за замовчуванням установлено режим *DC*) установлюють натисканням кнопки .

Змінювати внутрішні опори приладів (рядок *Resistance*) і установлені за замовчуванням значення 1 МОм та 1 МОМ відповідно для амперметра і вольтметра недоцільно, оскільки в більшості випадків такі їх значення не впливають на результати вимірювань. Під час вимірювання струму і напруги в колах змінного струму прилади будуть показувати діючі значення.

Для набуття перших навиків експериментального дослідження електричних кіл треба побудувати модель електричного кола постійного струму зі змішаним з'єднанням резистора й електричних ламп розжарювання (рис. 1.18).

Потім, усвідомивши технології побудови експериментальної моделі, установлення параметрів елементів і настроювання вимірювальних приладів, треба переконатись за їх показаннями в справедливості закону Ома, першого та другого законів Кірхгофа.

Крім амперметра і вольтметра, інші прилади програми *EWB* розміщено в полі компонент *Instruments*.

Мультиметр . Мультиметр використовують для вимірювання струму (постійного і змінного), напруги (постійної і змінної), опору та рівня напруги. Для настроювання мультиметра потрібно подвійним клацанням лівої кнопки “мишки” на його зменшеному зображенні відкрити збільшене зображення, а натисканням лівої кнопки “мишки” відповідно до одиниць виміру установити режим його роботи (амперметра *A* чи вольтметра *V*), а також режим роботи приладу залежно від типу електричного кола (постійного  або змінного ). За замовчуванням встановлено режим кола постійного струму .

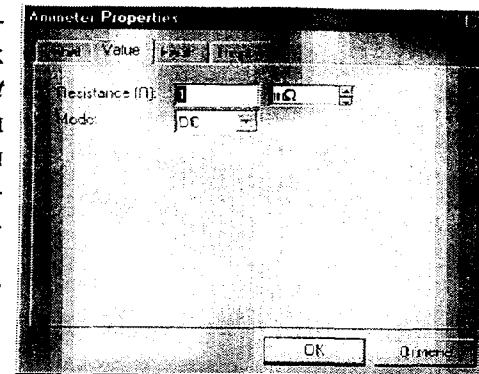


Рис. 1.17

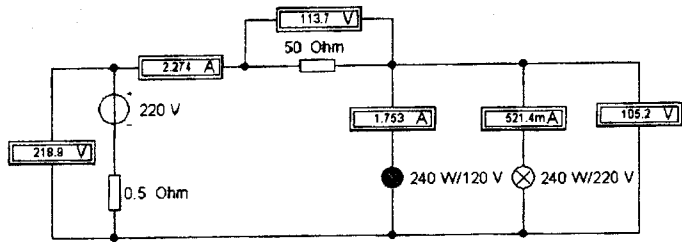


Рис. 1.18

Вимірювання струму та напруги при цьому нічим не відрізняється від використання амперметра або вольтметра, за винятком того, що скористатись в експериментальній моделі можна тільки одним мультиметром.

В експериментальній моделі (рис. 1.18) вольтметр і амперметр для вимірювання напруги на затискачах джерела і струму джерела замінено мультиметром відповідно до режимів вольтметра й амперметра (рис. 1.19, а і б).

Під час вимірювання струму і напруги в колах змінного струму прилад показує діючі значення тільки змінної складової. Постійну складову не враховують.

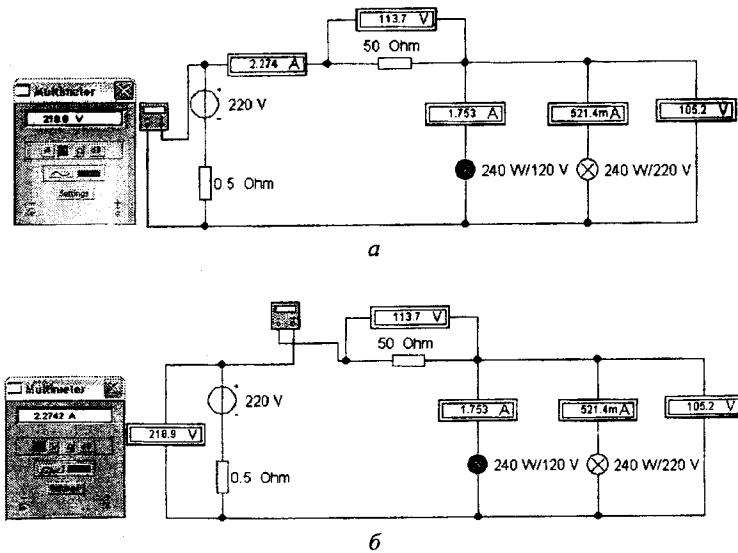


Рис. 1.19

Мультиметр — єдиний прилад, призначений для вимірювання опору. Щоб установити режим омметра, необхідно натиснути кнопки та , приєднати прилад паралельно ділянці кола, опір якої потрібно виміряти, і ввікнути модель схеми. На табло мультиметра з'явиться вимірне значення опору.

Щоб уникнути помилкових показань у режимі омметра, мультиметр не повинен контактувати з джерелами живлення. Джерела живлення мають бути вилучені зі схеми.

Використання мультиметра в режимі омметра для вимірювання еквівалентного опору змішаного з'єднання резистора й електричних ламп розжарювання (див. рис. 1.18) показано на рис. 1.20, а показання амперметра в експериментальній моделі (рис. 1.21) — це підтвердження результату вимірювання еквівалентного опору.

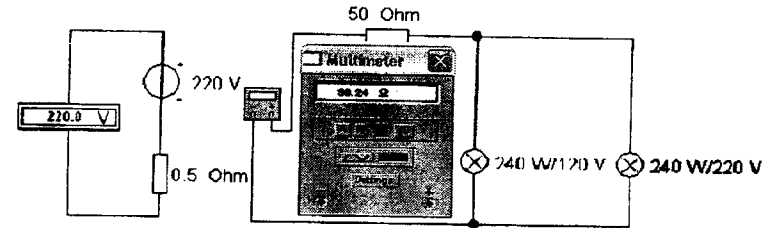


Рис. 1.20

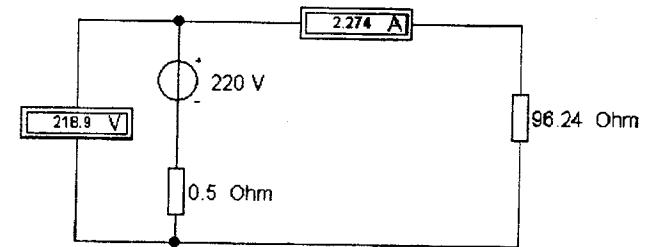


Рис. 1.21

Для вимірювання рівня напруги треба натиснути кнопку , установити опорну напругу (за замовчуванням 1В) та приєднати мультиметр до потрібної ділянки електричного кола. На табло мультиметра з'явиться значення коефіцієнта передачі в децибелах (рис. 1.22).

З натисканням кнопки *SETTINGS* відкривається вікно для установлення параметрів мультиметра.

Визначені за замовчуванням значення опору мультиметра в режимі амперметра, вхідного опору в режимі вольтметра, вимірювального струму в режимі омметра та опорної напруги в режимі вимірювання рівня напруги змінювати недоцільно.

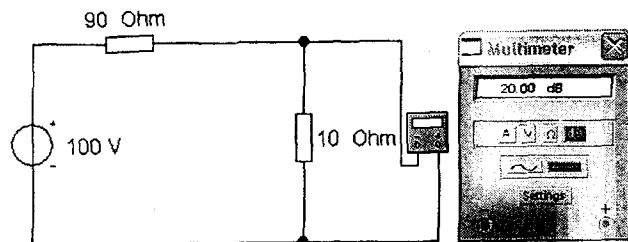




Рис. 1.22

Функціональний генератор . Генератор – це ідеальне джерело напруги, що виробляє сигнали синусоїдної, прямокутної та трикутної форми. Середній затискач генератора *Common* у разі підключення до схеми забезпечує спільну точку для відліку амплітуди сигналів. Для відліку напруги відносно нуля його потрібно заземлити. Крайні правий і лівий затискачі служать для подачі сигналів на схему. Напряга сигналів на правому затискачі змінюється в позитивному напрямі відносно загального виводу, напруга на лівому – у негативному.

Схему підсилювача, у якій функціональний генератор служить джерелом вхідних синусоїдних сигналів, показано на рис. 1.23.

Для настроювання генератора треба подвійним клацанням лівою кнопкою “мишки” на його зменшеному зображенні відкрити його збільшене зображення.

Потрібна форма вихідного сигналу генератора досягається натисканням на кнопку з відповідним зображенням сигналу. Форму трикутного і прямокутного сигналів можна змінити за допомогою параметра *DUTY CYCLE*. Цей параметр визначають для сигналів трикутної і прямокутної форми. Для трикутної форми сигналу він задає тривалість (у відсотках від періоду сигналу) між інтервалом наростання напруги та інтервалом її спаду, для прямокутної форми – співвідношення між позитивною і негативною частинами періоду. Значення цього параметра установлюють за допомогою кнопок .

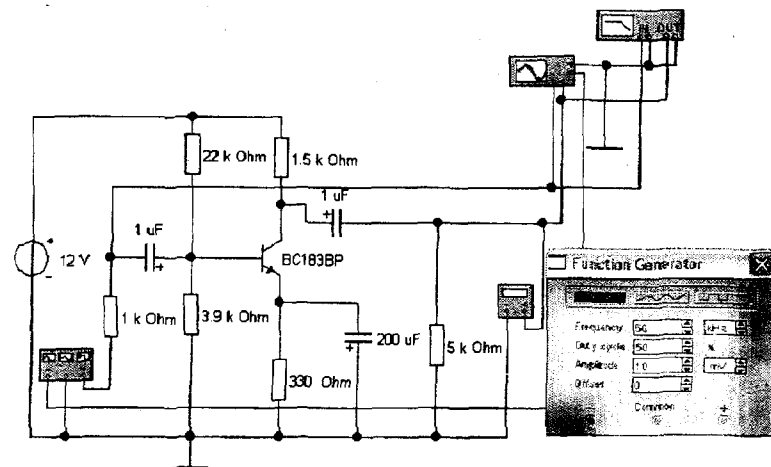




Рис. 1.23

Частоту генератора можна регулювати в діапазоні 1 Гц...999 МГц. Значення частоти встановлюють у рядку *FREQUENCY* за допомогою клавіатури і кнопок .

Амплітуду вихідної напруги можна змінювати в діапазоні 0 мВ...999 кВ. Значення її встановлюють параметром *AMPLITUDE* за допомогою клавіатури і відповідних кнопок.

Постійну складову змінного сигналу встановлюють у рядку *OFFSET*. Вона може мати як додатне, так і від’ємне значення. Це дає змогу одержати, наприклад, послідовність однополярних імпульсів.

Осцилограф . Осцилограф, змодельований програмою *EWB* – (аналог двопроменевого запам’ятовувального осцилографа), має дві модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до найкращих цифрових запам’ятовувальних осцилографів. Оскільки розширена модель займає багато місця на робочому полі, потрібно починати дослідження з простою моделлю, а розширену модель використовувати для більш докладного дослідження.

Експериментальну модель для дослідження електричного кола промислової частоти з послідовним з’єднанням *R*, *L* та *C* елементів показано на рис. 1.24. У ній осцилограф служить для спостереження часових діаграм напруги на затискачах джерела і струму в колі.

Примітка. Спад напруги на активному опорі $R = 1$ Ом за формою і значенням відповідає струму в колі.

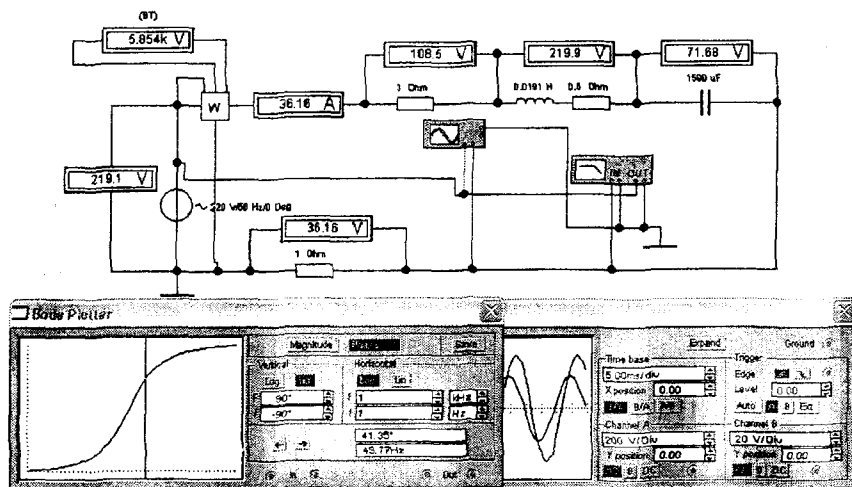


Рис. 1.24

Подвійним клацанням лівою кнопкою мишки по зменшеному зображенню відкривають зображення передньої панелі простої моделі осцилографа. Просте зображення осцилографа спільне для обох його модифікацій. Він має чотири виводи. Верхній правий – загальний (*GROUND*) – його заземляють; верхній правий на полі *Trigger* – вхід синхронізації (його призначення буде розглянуто нижче). Лівий і правий нижні виводи – це відповідно вхід каналу *A* (*Channel A*) і вхід каналу *B* (*Channel B*). До цих виводів приєднують потрібні точки кола для дослідження в них форми та значення сигналів. Три нижні кнопки кожного каналу визначають різні режими роботи осцилографа за вхідним сигналом. Режим роботи осцилографа із закритим входом встановлюють натисканням кнопки *AC*. У цьому режимі на вхід не пропускається постійна складова сигналу. Натисканням кнопки *DC* осцилограф переводять у режим з відкритим входом. У цьому режимі на вхід осцилографа пропускається як постійна, так і змінна складові сигналу. З натисканням кнопки *0* вхід осцилографа з'єднується зі спільною шиною, що дає змогу визначити положення нульової точки на осі *Y*. Тут же знаходяться кнопки керування масштабами сигналів по вертикальній осі відповідно ка-

налів *A* і *B*. Ціна поділок встановлюється в діапазоні 10 мВ...5 кВ окремо в кожному каналі.

Щоб отримати зручне для роботи зображення на екрані осцилографа перед початком експерименту, потрібно встановити масштаби по осі *Y* відповідно до очікуваної напруги сигналу, а масштаб часу – таким чином, щоб ціна двох поділок на горизонтальній осі приблизно дорівнювала значенню періоду досліджуваного сигналу. Для встановлення осі *X* вгору чи вниз від середнього рівня екрана та для розмежування зображень каналів *A* і *B* служить зміщення *Y POS*.

Керування горизонтальним розгортанням осцилограм залежно від часу виконують за допомогою поля *TIME BASE*. Значення ціни однієї поділки по осі *X* можна встановити від 0,1 нс до 1 с з можливістю зміщення в таких самих одиницях початку розгортки по горизонталі *X POS*. При цьому треба натиснути кнопку *Y/T*.

З натисканням на кнопку *A/B* по вертикальній осі відкладається сигнал входу *A*, по горизонтальній – сигнал входу *B*, а з натисканням кнопки *B/A* – навпаки. При цьому масштаб кожної осі визначають масштабами відповідних каналів. У режимах роботи осцилографа *A/B* і *B/A* можна спостерігати, наприклад, вольт-амперні характеристики елементів, фігури Лісажу та ін.

Керування синхронізацією (поле *TRIGGER*) визначає момент початку розгортання осцилограм на екрані осцилографа. Кнопки в рядку *EDGE* задають момент запуску розгортання за фронтом чи спадом імпульсу.


Поле *LEVEL* дозволяє задавати рівень напруги, у разі перевищення якого запускається розгортання. Значення рівня можна змінити відповідними кнопками.

Осцилограф має такі режими синхронізації:

- автоматичний режим *AUTO* – розгортка осцилограм запускається автоматично з підключенням осцилографа до схеми;
- запуск за входом *A* або *B* – тут сигнал, що запускає розгортку, – це сигнал, що надходить на відповідний вхід;
- зовнішній запуск (*EXT*) – у цьому разі сигнал запуску – це сигнал, поданий на вхід синхронізації.

У ході експерименту нерідко виникає потреба у сповільненні процесу моделювання, щоб на екрані осцилографа було зручно візуа-

льно сприймати інформацію. Це потрібно, наприклад, для дослідження перехідних процесів. Для цього треба в пункті *Analysis Options* (меню *Circuit*) в рядку *Time domain points per cycle* збільшити кількість (зазвичай досить 5000) розрахункових точок. За замовчуванням їх кількість дорівнює 100.

Полегшити аналіз осцилограм можна ввімкненням режиму *Pause after each screen* (пауза після кожного екрана) в пункті *Instruments* (настроювання приладів) меню *Analysis*. У цьому режимі розрахунок схеми зупиняється після того, як промінь осцилографа проходить весь екран. Це буває потрібним у разі утруднень із синхронізацією зображення на екрані осцилографа. Щоб продовжити розрахунок схеми, треба натиснути на кнопку .

З натисканням кнопки *Expand* на панелі простої моделі осцилографа відкривається вікно його розширеної моделі (рис. 1.25). Панель розширеної моделі доповнено трьома інформаційними таблицями, на які виводяться результати вимірювань. Безпосередньо під екраном знаходиться лінійка прокручування, що дозволяє спостерігати будь-який відрізок часу від моменту ввімкнення до моменту вимикання схеми. На екрані осцилографа розміщено дві візирні лінії, позначені цифрами 1 і 2, за допомогою яких визначають миттєві значення змінних у певний момент часу. Для цього треба перемістити їх "мишкою" за трикутники в їх верхній частині в потрібне місце. Координати точок перетину першого курсору з осцилограмми відображаються на лівому табло, координати другого курсору – на середньому. На правому табло відображаються значення різниць між відповідними координатами першого і другого курсорів.

За різницею часових координат можна визначити кут зсуву фаз між напругою і струмом джерела:

$$\varphi = 360f(T_2 - T_1), \text{ де } f - \text{ частота.}$$

Для цього випадку $\varphi = 360 \cdot 50 \cdot 2,3359 \cdot 10^{-3} = 42,04^\circ$.

Результати вимірювання, отримані за допомогою розширеної моделі осцилографа, можна записати у файл. Для цього треба натиснути кнопку *SAVE* і в діалогове вікно, що з'явиться, ввести ім'я файлу.

Щоб повернутися до простої моделі осцилографа, потрібно натиснути кнопку *REDUCE*, розміщену в правому нижньому куті зображення розширеної моделі.

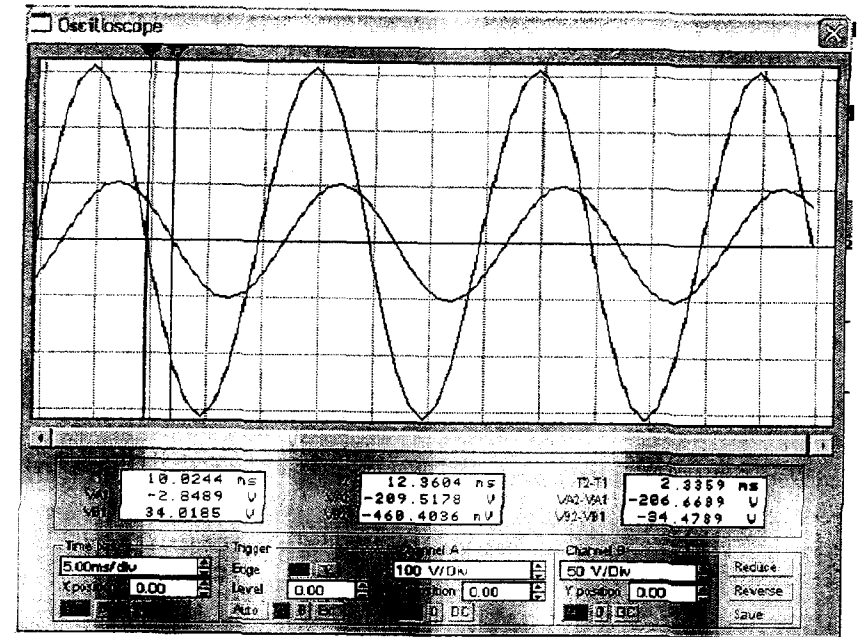



Рис. 1.25

Графобудовник (Bode Plotter) . Графобудовник використовують для отримання амплітудно-частотних (АЧХ) та фазочастотних (ФЧХ) характеристик схем. Він вимірює відношення амплітуд сигналів у двох точках схеми і фазовий зсув між ними. Прилад генерує власний спектр частот, діапазон яких можна задавати під час настроювання приладу. Частота будь-якого змінного джерела в досліджуваній схемі ігнорується, однак схема має містити функціональний генератор або джерело змінного струму.

Для настроювання приладу слід подвійним клацанням лівої кнопки "мишки" на його зменшеному зображенні відкрити його збільшене зображення.

Щоб отримати АЧХ, треба натиснути кнопку *MAGNITUDE* (натиснута за замовчуванням), а ФЧХ – кнопку *PHASE*. При цьому слід вибрати логарифмічну *LOG* або лінійну *LIN* шкали по осі *Y* (*VERTICAL*) і по осі *X* (*HORIZONTAL*) та натиснути відповідні кнопки.

Налаштування приладу полягає у визначенні границь вимірювання коефіцієнтів передачі для АЧХ, кута зсуву фаз для ФЧХ та діапазону частот за допомогою кнопок F (максимальне значення) і I (мінімальне значення).

Значення частоти і відповідні їй значення коефіцієнта передачі або кута зсуву фаз відображаються на табло в правому нижньому куті приладу. Значення цих величин в окремих точках АЧХ або ФЧХ можна отримати за допомогою візирної лінії, яка знаходиться в початку координат і переміщується по графіку за допомогою "мишки" або кнопками (\leftarrow) і (\rightarrow).

Амплітудно-частотні характеристики електричного кола – залежність повного опору кола від частоти (див. рис. 1.24) і підсилювача електричних сигналів – залежність коефіцієнта підсилення за напругою від частоти (див. рис.1.22) відповідно зображено на рис. 1.26 і 1.27.

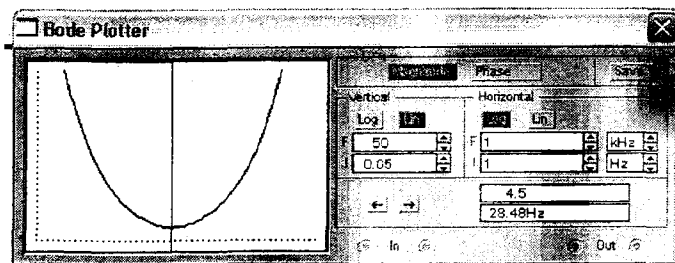


Рис. 1.26

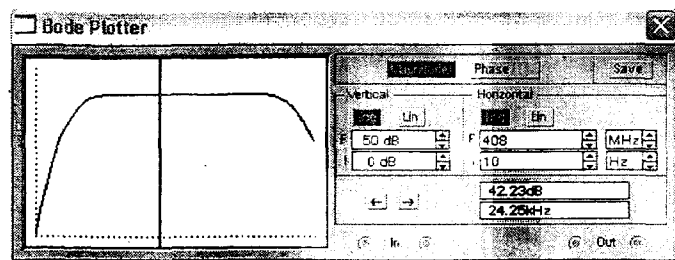


Рис. 1.27

Першу характеристику показано в лінійному масштабі по осі Y , другу – в логарифмічному. Фазочастотну характеристику електричного кола в лінійному масштабі по осі Y і в логарифмічному масштабі по осі X показано на рис. 1.24.

Результати вимірювань можна записати у файл. Для цього слід натиснути кнопку $SAVE$ і в діалогове вікно, що з'явиться, ввести ім'я файлу.

Прилад до експериментальної моделі схеми підключають за допомогою затискачів "Вхід" (IN) і "Вихід" (OUT). Їх ліві затискачі з'єднують з відповідними точками моделі, а праві заземлюють.



Ватметр. У бібліотеці компонент вимірювальних приладів програми EWB (версія 5.12) ватметр відсутній, але є можливість побудувати його модель з таких міркувань. Нехай навантаження споживача (двополюсника) має активно-індуктивний характер. Напруга і струм на вході такого двополюсника зсувені за фазою на кут ϕ (рис.1.28).

Миттєві значення напруги, струму та миттєвої потужності визначають за співвідношеннями:

$$u = U_m \sin(\omega t), \quad i = I_m \sin(\omega t - \phi),$$

$$p = ui = U_m \sin(\omega t) I_m \sin(\omega t - \phi) =$$

$$= UI \cos \phi - UI \cos(2\omega t - \phi) = P - S \cos(2\omega t - \phi).$$

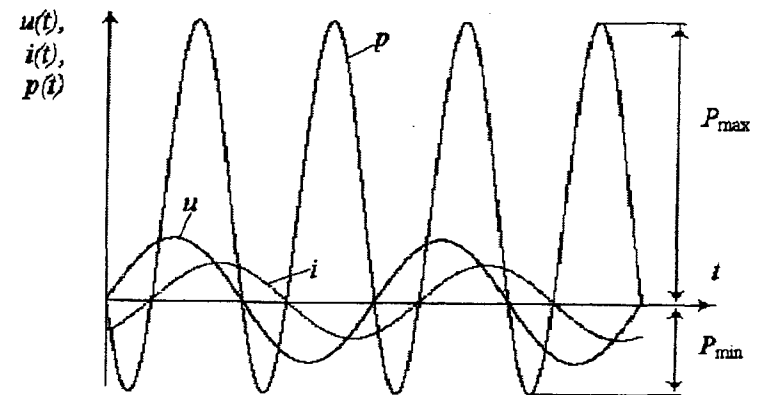


Рис. 1.28

Миттєва потужність має постійну складову, що дорівнює активній потужності P , та змінну складову, частота якої в два рази більша від частоти напруги і струму, а її амплітуда дорівнює повній потужності S . Максимальне та мінімальне значення миттєвої потужності з'єднані з P і S співвідношеннями:

$$P_{\max} = P + S;$$

$$P_{\min} = P - S.$$

Визначивши максимальне та мінімальне значення миттєвої потужності, можна визначити активну, повну, а потім і реактивну потужності:

$$P = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2}, \quad S = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}, \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

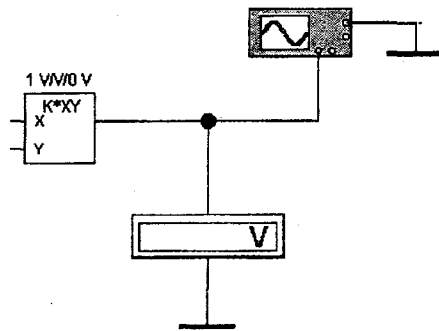


Рис. 1.29

Експериментально осцилограми миттєвої потужності легко одержати за допомогою такої компоненти програми *EWB*, як перемножувач, якщо подати на її входи X і Y напруги, пропорційні струму та напрузі, а до виходу підключити осцилограф (рис. 1.29).

Активну потужність як постійну складову миттєвої потужності можна виміряти вольтметром в режимі постійного струму, підключивши його до виходу перемножувача.

Використовуючи перемножувач та вольтметр в режимі постійного струму, можна побудувати ватметр у вигляді субблока. Щоб розв'язати входи ватметра, струм і напругу, на перемножувач подають через залежні джерела: джерело напруги, кероване напругою, та джерело напруги, кероване струмом (рис. 1.30).

Такий ватметр показано в дії під час дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням R , L та C елементів (див. рис. 1.24).

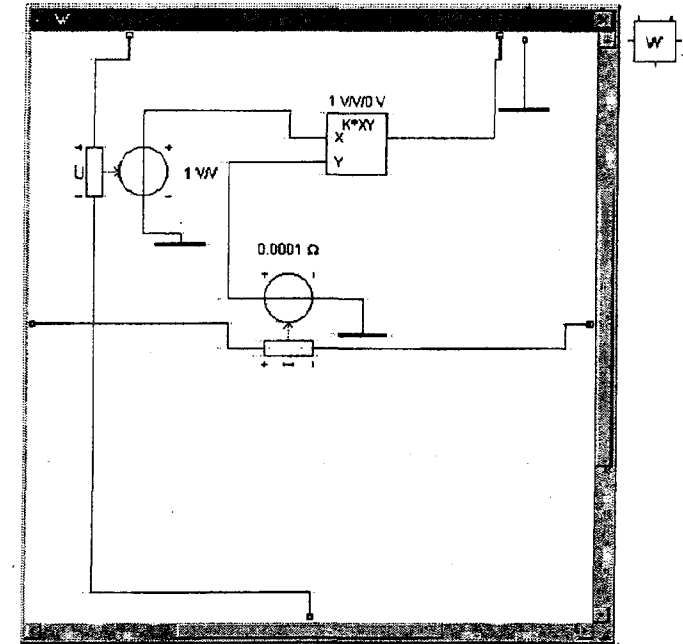


Рис. 1.30

1.5. МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМА МЕНЮ

Після побудови експериментальної моделі, підключення вимірювальних приладів та установлення параметрів компонент потрібно задати програмі *EWB* завдання до моделювання. Це визначає меню *Analysis*, опис якого зробимо разом з описом усіх меню програми *EWB*.

Виконаємо це у послідовності їх розміщення на полі меню (див. рис. 1.1) і тих, які не типові для операційної системи *Windows*, не описані вище та які потрібно використовувати для виконання лабораторно-практичних робіт.

Меню *File* призначено для завантаження і запису файлів, одержання копії вибраних до друку складових частин схеми і т. ін.

Перші чотири команди цього меню – *New*, *Open...*, *Save*, *Save As...* – типові для *Windows* і тому пояснень не потребують. Для пер-

ших трьох існують кнопки на полі інструментів зі стандартним зображенням.

Revert to Saved... – стирання всіх змін, внесених у поточний сеанс редагування, і відновлення схеми в початковому вигляді.

Print... – вибір даних для виведення на принтер: *Schematic* – схеми, *Description* – опису до схеми, *Part list* – переліку виведених на принтер документів, *Label list* – списку позначень елементів схеми, *Model list* – списку наявних у схемі компонент, *Subcircuits* – підсхем (частин схеми, що є закінченими функціональними вузлами), *Analysis options* – переліків режимів моделювання, *Instruments* – списку приладів.

У цьому самому меню можна вибрати команду друку і направити матеріал на принтер (кнопка *Print*). Передбачено також можливість зміни масштабу виведених на принтер даних у межах 20 ... 500 %.

Print Setup... – налаштування принтера.

Exit – вихід із програми.

Install... – установлення додаткових програм із гнучких дисків.

Команди *Import* та *Export* рідко застосовують для аналізу електричних кіл і тому їх не розглядаємо.

Меню *Edit* дозволяє редагувати та копіювати схеми експериментальних моделей або їх частин, зображених на робочому полі. Розглянемо стисло призначення деяких команд:

Cut – вилучення виділеної частини схеми в буфер обміну;

Copy – копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну;

Paste – встановлення вмісту в буфер обміну на робоче поле;

Delete – вилучення виділеної частини схеми;

Select All – виділення всієї схеми.

Copy as Bitmap – команда перетворює курсор на хрестик; натисканням лівої кнопки “мишки” за допомогою уявного прямокутника виділяють потрібну частину екрана. Після того, як кнопку “мишки” відпускають, вміст виділеного надходить в буфер обміну.



Chow Clipboard – показує вміст буфера обміну.

Меню *Circuit* використовують для підготовки експериментальних моделей. Закладку *Schematic Options* цього меню і її доповнення використовують для оформлення схеми (наприклад, показувати чи не показувати сітку на робочому полі для зручності побудови експери-

ментальних моделей), а також позиційні позначення та номінали компонент, нумерацію вузлів кола і т. ін.

Важливо засвоїти меню *Analysis*.

Перші три команди – *Activate* (запуск моделювання), *Stop* (зупинка моделювання) та *Pause* (припинення моделювання) – виконують натисканням на відповідні кнопки, розміщені в правому куті екрана.

Перші дві команди виконують натисканням кнопки , а третю – натисканням кнопки .

Четверта команда *Analysis Options...* (установлення параметрів моделювання) має такі закладки:

Global (параметри моделювання загального характеру);

DC (параметри моделювання режиму постійного струму);

Transient (параметри моделювання перехідних процесів) вважає такими, що встановлено за замовчуванням.

Instruments (налаштування параметрів контрольно-вимірювальних приладів (рис. 1.31) має такі рядки: *Pause after each screen* – пауза після заповнення екрана осцилографа по горизонталі, *Generate time steps automatically* – автоматичне установлення часового кроку (інтервалу) виходу інформації на екран, *Minimum number of time points* – мінімальна кількість точок за час спостереження, *TMAX* – проміжок часу від початку до сінця моделювання, *Set to Zero* – установлення в нульовий (вихідний) стан контрольно-вимірювальних приладів перед початком моделювання, *User defined* – керування процесом моделювання (ручний пуск і зупинка), *Calculate DC operating point* – виконання розрахунку режиму за постійним струмом, *Points per cycle* – кількість точок при виведенні АЧХ і ФЧХ, *Use engineering notation* – використання інженерної системи позначень одиниць виміру.

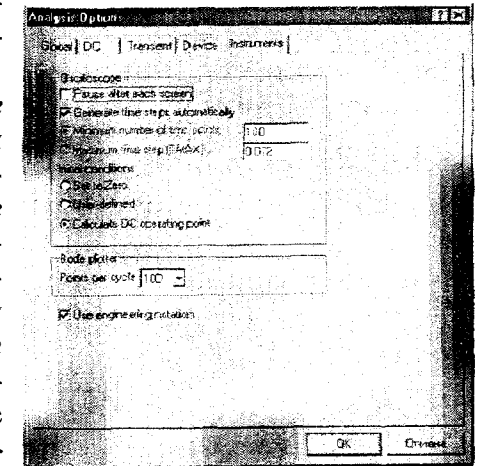


Рис. 1.31.

Команду *DC Sweep...* (варіацію параметрів джерел для розрахунку режиму за постійним струмом) тут не розглядаємо.

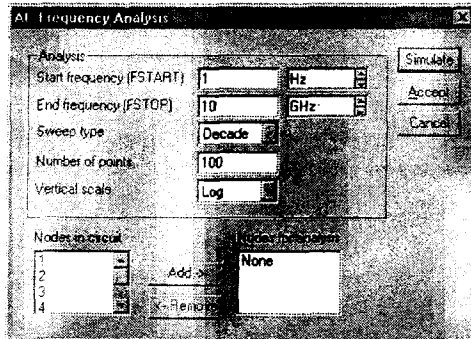


Рис. 1.32

points – кількість відображуваних точок частотних характеристик; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі: лінійний (*Linear*), логарифмічний (*Log*) чи в децибелах (*Decibel*); *Nodes in circuit* – список вузлів схеми; *Nodes for analysis* – номери вузлів, для яких розраховують характеристики схеми.

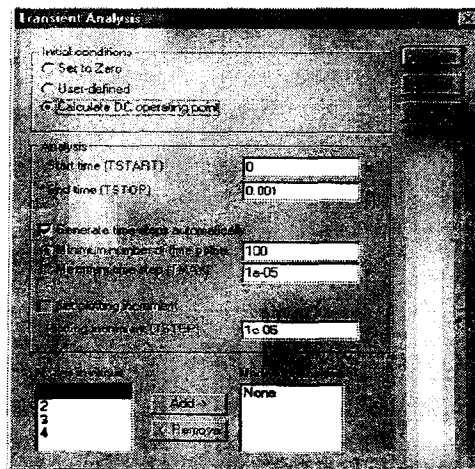


Рис. 1.33

змінним кроком, *TSTEP* – часовий крок виведення результатів моделювання на екран монітора.

Команда *AC Frequency Analysis* (розрахунок частотних характеристик). Виконання команди починають із задання в діалоговому вікні (рис. 1.32) таких параметрів: *FSTART*, *FSTOP* – границі частотного діапазону (мінімальне і максимальне значення частоти); *Sweep type* – масштаб по горизонталі: декадний (*Decade*), лінійний (*Linear*) і октавний (*Octave*); *Number of*

points – кількість відображуваних точок частотних характеристик; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі: лінійний (*Linear*), логарифмічний (*Log*) чи в децибелах (*Decibel*); *Nodes in circuit* – список вузлів схеми; *Nodes for analysis* – номери вузлів, для яких розраховують характеристики схеми. Перелік таких вузлів установлюють натисканням кнопок *Add* → (додати) і ← *Remove* (вилучити).

Команда *Transient Analysis* (розрахунок перехідних процесів). Діалогове вікно команди (рис. 1.33) містить такі закладки: *Initial conditions* – установлення початкових умов моделювання: *TSTART* – момент початку аналізу перехідних процесів, *TSTOP* – момент закінчення аналізу, *Generate time steps automatically* – розрахунок перехідних процесів зі

Команди *Fourier...* (проведення спектрального аналізу), *Noise...* (аналіз спектра внутрішніх шумів), *Distortion...* (аналіз нелінійних спотворень), *Parameter sweep...* (варіація температурного режиму), *Pole-Zero...* (розрахунок карти нулів і полюсів), *Transfer Function...* (розрахунок передатних функцій), *Sensitivity...* (розрахунок відносної чутливості схеми до змін її параметрів), *Worst Case...* (розрахунок значень параметрів компонентів схеми при граничних відхиленнях характеристик) та *Monte Carlo...* (статичний аналіз за методом Монте-Карло), а також команди Меню *Window* не будуть використовуватись у лабораторно-практичних роботах.

2. ПРОГРАМА СХЕМОТЕХНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ELECTRONICS WORKBENCH (ВЕРСІЯ 6.02)

Програма схемотехнічного моделювання *Electronics Workbench* (версія 6.02) за задумом авторів має виконувати всі етапи проектування – від створення схеми електротехнічного чи електронного обладнання до передачі відповідної документації у виробництво.

З позиції використання цієї версії програми в курсах „Теоретичні основи електротехніки” та „Електротехніка і основи електроніки” приваблює блок моделювання *MultiSim*, за допомогою якого розширюються можливості експериментальних досліджень.

2.1. КОМПОНЕНТИ ПРОГРАМИ, УСТАНОВЛЕННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОБУДОВА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Розглянемо основні відмінності програми *EWB* (версія 6.02) і тільки ті, які потрібні для виконання лабораторно-практичних робіт. Усі зміни або доповнення в програмі відносно програми *EWB* (версія 5.12) залишимо поза увагою, якщо вони дещо ускладнюють або не розширюють можливості експериментальних досліджень.

Робоче вікно програми *EWB* (версія 6.02) з панеллю компонент і відкритим полем компонент *Basic*, де резистори, конденсатори та індуктивності подано ідеальними (*Virtual*) і реальними моделями (у версії *EWB* 5.12 тільки ідеальними), показано на рис.2.1.

Після вибору компоненти курсором “мишки” та клацанням по її лівій кнопці (відміна вибору – клацання по правій кнопці) можна отримати два варіанти: 1) курсор “мишки” у вигляді стрілки з фрагментом друкованої плати переноситься на відповідне місце робочого поля і компонента фіксується натисканням лівої кнопки “мишки”; 2) вибір компоненти (наприклад, реального конденсатора) супроводжується викликом вікна (рис. 2.2) і тільки після натискання на кнопку *OK* в цьому вікні курсор “мишки” набуває зазначеного вигляду.

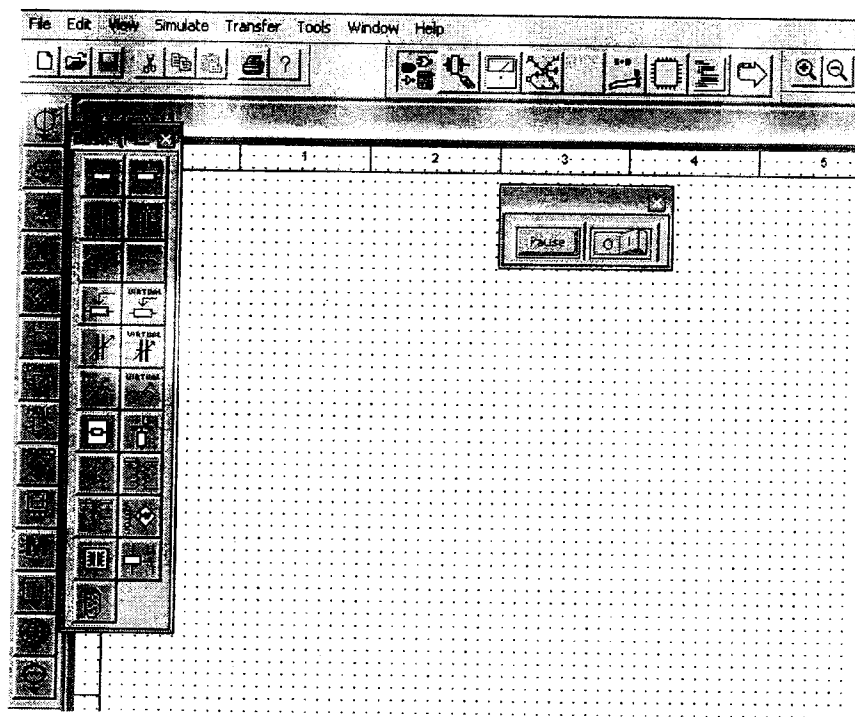


Рис. 2.1

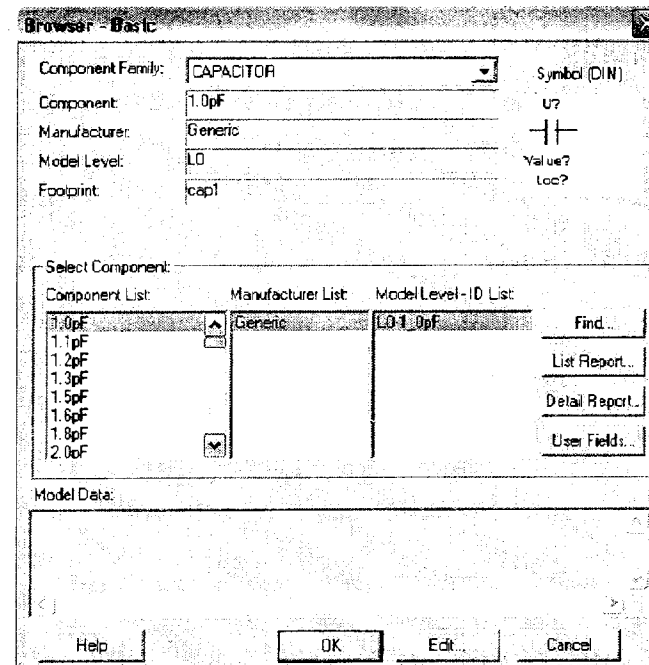


Рис. 2.2

Вікно реального конденсатора передє виклику редактора компонент і пов'язано з вибором інформації з бази даних реальної компоненти, починаючи від значень її параметра зі стандартного ряду до інформації виробника.

Як приклад на рис. 2.3 показано вікно ідеального конденсатора, яке подібне і до інших компонент. Воно відрізняється від звичного *EWB* (версія 5.12) можливістю задавати початкову напругу конденсатора (*Initial Condition*) та указувати його “виробничі” допуски (*Tolerance*). Кнопкою *Replace* можна викликати зазначене вікно реального конденсатора (рис. 2.2).

Щоб змінити параметри компоненти, потрібно подвійним клацанням “мишки” на її зображенні відкрити діалогове вікно ідеальної компоненти (рис. 2.3) і внести потрібні зміни.

Усі зміни чи доповнення до інших панелей компонент розглядати не будемо, оскільки розміщення компонент на робочому полі та установлення їх параметрів в середовищі *EWB* (версія 6.02) подібні *EWB* (версія 5.12).

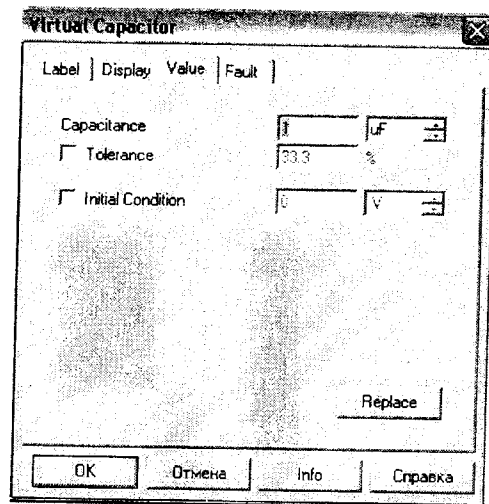


Рис. 2.3

Примітки. 1. На відміну від *EWB* (версія 5.12) напруги та струми джерел змінного струму подаються амплітудними значеннями (не діючими). Щоб установити значення початкової фази, треба активізувати опції *Time Delay* → *Damping Factor* → *Phase*.

2. За замовчуванням значення параметрів ідеальних R , L та C компонент відповідає програмі *EWB* (версія 5.12), а реальних – за умови безпосереднього натискання на кнопку *OK* у вікні реальної компоненти, – початковим значенням відповідно до їх стандартного ряду.

3. Параметри ламп розжарювання подаються тільки у вікні реальної моделі відповідним списком.


Для з'єднання компонент провідниками потрібно підвести курсор “мишки” до полюса компоненти і коли курсор набуває хрестоподібної форми, – клацнути по лівій кнопці “мишки”. Провідник у вигляді пунктирної лінії простягається до полюса другої компоненти і фіксується повторним клацанням лівою кнопкою “мишки”.

Якщо треба вставити, вилучити або копіювати компоненту, доцільно скористатись динамічним меню, яке викликають установленням курсору мишки на компоненті та клацанням правою кнопкою мишки, тобто подібно до середовища *EWB* (версія 5.12). Немає від-

мінностей і у разі переміщення чи виділення компонент. Слід зазначити, що у разі використання команд повороту компоненти положення її позиційного позначення та позначення її параметра несинхронне зі зміною положення значка компоненти. Для надання цим атрибутам потрібного положення, їх виділяють і переміщують пересуванням курсору “мишки”.

Треба звернути увагу на те, що з установленням параметрів джерел напруги та струму не потрібно користуватись закладкою *Analysis Setup* і змінювати в ній параметри, установлені за замовчуванням.

2.2. КОНТРОЛЬНІ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИБАДИ

Панель контрольно-вимірювальних приладів викликають натисканням кнопки , яка має такі основні відмінності та доповнення:

- змінені зображення іконок приладів;
- осцилограф працює тільки в режимі *ZOOM (Expand)*, тобто з вікном розширеної моделі та зменшених розмірів його зображення;
- для виклику кнопок установлення чутливості та тривалості розгортання осцилограм і аналогічних кнопок інших приладів потрібно курсор “мишки” підвести до поля відповідного таблю (курсор “мишки” набуває форму руки) і натиснути ліву кнопку “мишки”;
- осцилограф доповнений кнопкою *Pause*, яка виконує функцію *Pause after each screen* (тимчасова зупинка моделювання) після заповнення екрана осцилографа по горизонталі;
- функціональний генератор наділений кнопкою *Set Rise/Fall Time*, яка дозволяє в режимі прямокутних імпульсів установлювати тривалість їх фронтів;
- з'явився ватметр, якого немає в *EWB* (версія 5.12), за своїми можливостями аналогічний описаному в підрозд. 1.4;
- дозволяється використовувати в одній експериментальній моделі два осцилографи і два ватметри.

Результати дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням R , L та C елементів в середовищі *EWB* (версія 6.02) показано на рис. 2.4.

Раніше це коло було досліджено в середовищі *EWB* (версія 5.12), рис. 1.23.

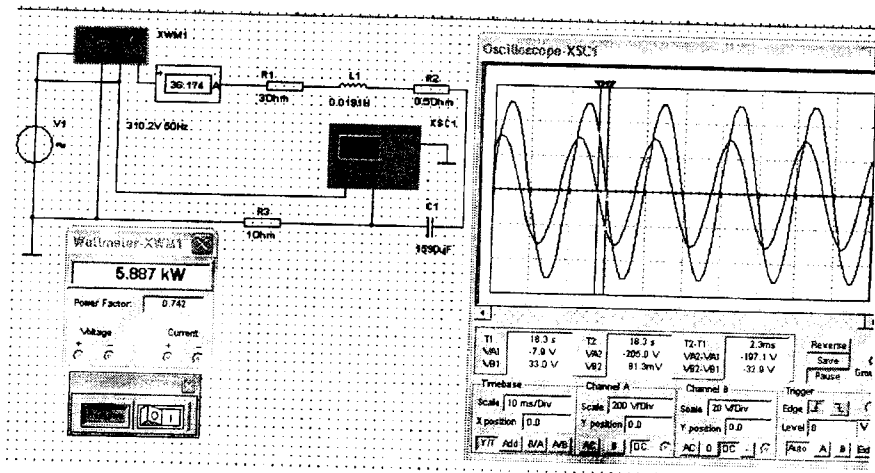


Рис. 2.4

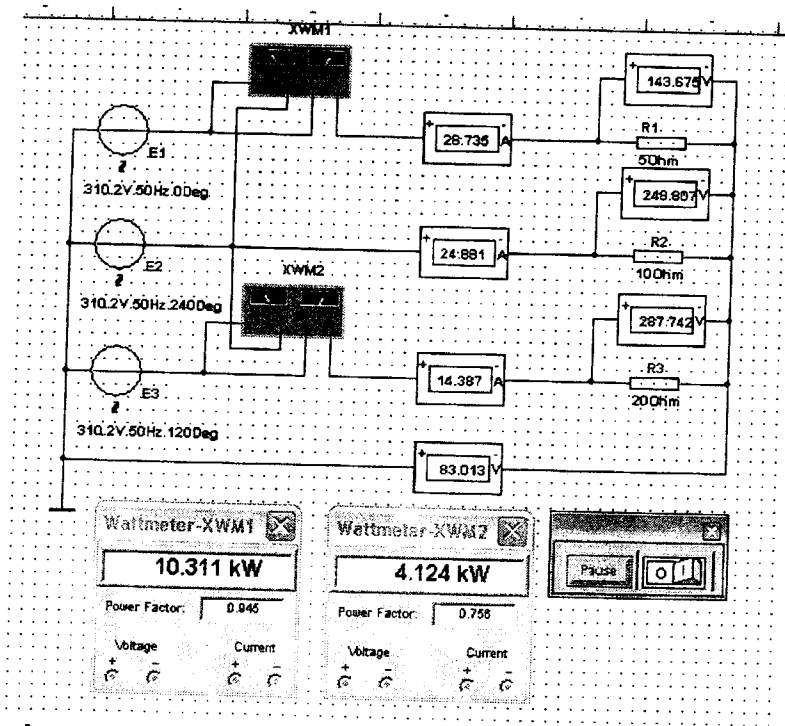


Рис.2.5

Очевидно, немає потреби коментувати деякі відмінності в показаннях вимірювальних приладів в експериментальних моделях різних середовищ *EWB*.

Використання двох ватметрів показано на експериментальній моделі дослідження несиметричного трифазного електричного кола без нульового проводу (рис. 2.5).

2.3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМА МЕНЮ

Відзначимо основні відмінності в системі меню середовища *EWB* (версія 6.02). У меню *File* недоступні команди збереження файлів *Save* і *Save As*. У меню *Edit* з'явилась команда розміщення тексту на робочому полі (*Place Text*) та команди зміщення компоненти (*Flip Horizontal*, *Flip Vertical*, *90 Clockwise*, *90 Counter*). У діалоговому вікні команди оформлення моделі (*User Preferences*), якщо вибрано закладку *Circuit* (рис. 2.6), можна установлювати опції для режиму виведення на екран елементів моделі (блоки *Show* та *Color*) з їх кольоровим оформленням: *Black Background* (чорним), *White Background* (білим), *Black/White* (чорно-білим) або навпаки.

У режимі *Custom* можна вибрати потрібний колір для фону робочого поля (*Background*), з'єднувальних провідників (*Wire*), активних, пасивних та віртуальних (ідеальних) компонент (відповідно кнопок *Active component*, *Passive component*, *Virtual component*). Після натискання кожної кнопки викликається стандартне для *Windows* вікно "Колір".

Вибір закладки *Workspace* дозволяє оформити робоче поле: установити сітку, розміри моделі схеми та її масштаб, а вибір закладки *Preference* – потрібний стандарт графічного позначення компонент: американський (*ANSI*) чи європейський (*DIN*).

Вибір закладки *Print page setup* дозволяє установити режим виведення інформації на друк.

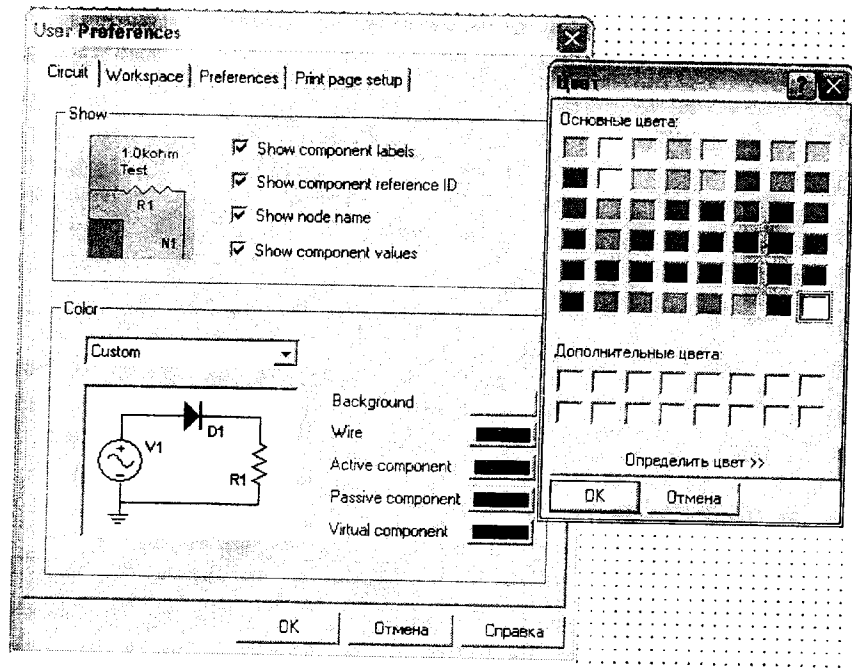
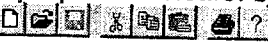








Рис. 2.6

Меню *View* містить команди ввімкнення (вимкнення) обслуговуючих функцій програми *Toolbars: System* – кнопок загальносистемного характеру , *Zoom* – зміни масштабу моделей , *Design* – кнопок команд часто використання, *Components* – панелі компонент , *Instruments* – знайомої панелі вимірювальних приладів , кнопки запуску (зупинки) моделювання  (дублюється також панеллю з кнопкою *Pause* і ключем *I/O*  який викликається командою *Show Simulate Switch*), кнопкою списку команд моделювання *Analyses* 

Відзначимо також команду *Grid Visible*, що дозволяє виводити на робоче поле видиму сітку для зручності розміщення на ньому компонент.

Потрібні команди з меню *Simulate* дубльовані в зазначених меню, а всі інші, зокрема команди меню *Transfer* і *Tools*, виходять за

межі їх використання. Це стосується також не розглянутих кнопок часто використання *Design* та деяких відмінностей панелей компонент.

На завершення відзначимо таку особливість програм *EWB*, як можливість в лабораторних роботах аналізувати пошкодження в досліджуваних схемах з використанням команди *Fault* у вікнах майже кожної компоненти із закладками: *Leakage* (витік), *Short* (замикання), *Open* (обрив).

3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Виконання лабораторно-практичних робіт, обсяги завдань яких залежать від кількості годин в навчальних програмах відповідних спеціальностей і які подаються індивідуально кожному студенту, потребує дотримання такої послідовності дій: ознайомлення з умовою завдання, виконання потрібних теоретичних розрахунків та експериментального підтвердження їх результатів. Завдання теоретичних розрахунків – це підготовка теоретично передбачити результати експерименту.

У завданні до виконання відповідних робіт наведено схеми електричних кіл або електронних пристроїв, порядок виконання теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень, а також контрольні запитання та завдання.

Як приклад подамо завдання до лабораторно-практичної роботи на тему “Дослідження складного електричного кола постійного струму”.

ЗАВДАННЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідження та освоєння методів розрахунку складних електричних кіл постійного струму.

Для електричного кола, зображеного на рис. 3.1, відповідно до варіанта завдання (табл. 3.1) виконати такі дії:

Таблиця 3.1

ЕРС, В		Номер гілки до методу еквівалентного генератора	Опір R, Ом					
E_3	E_6		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
100	50	4	15	20	35	5	25	10

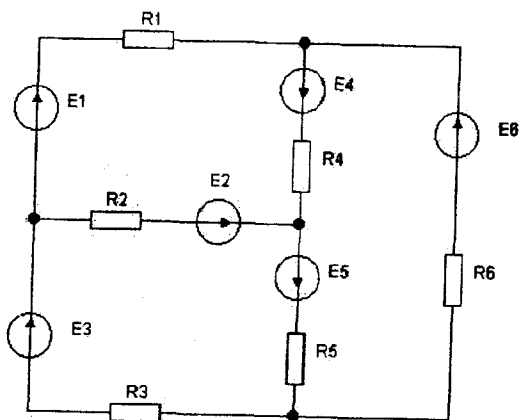


Рис 3.1

1. Розрахувати струми у всіх гілках заданого електричного кола методом контурних струмів. Результати розрахунків занести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахункові методи	Струми в гілках I, А					
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
Контурних струмів						
Моделювання	0,5937	0,6875	1,281	0,9687	1,656	0,375

2. Спростити електричне коло до двох контурів еквівалентними перетвореннями, зокрема використати перетворення з'єднання трикутника в еквівалентну зірку.

3. Розрахувати струми в гілках спрощеного електричного кола методами рівнянь Кірхгофа, вузлової напруги та накладання. Резуль-

тати розрахунків відповідно до розрахункового методу занести в табл. 3.3.

4. Побудувати моделі заданого та спрощеного електричних кіл з потрібними вимірювальними приладами. Результати моделювання заданого і спрощеного електричних кіл занести відповідно в табл. 3.2 та 3.3.

5. Визначити струм в заданій гілці вихідного електричного кола методом еквівалентного генератора (методом активного двополісника), визначивши експериментально його ЕРС та внутрішній опір.

6. У звіті навести експериментальні моделі відповідно до пп. 4 та 5.

Таблиця 3.3

Розрахункові методи	Струми в гілках I, А		
	I_3	I_5	I_6
Рівнянь Кірхгофа			
Вузлової напруги			
Накладання			
Моделювання	1,281	1,656	0,375
Еквівалентного генератора	$E_{екв}=21,68$ В	$R_{вн}=17,38$ Ом	$I_4=0,9687$ А

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Виконайте експериментальні дослідження схеми електричного кола (рис. 3.2 – показання ватметрів подано в узгодженому режимі роботи джерела, $R = R^*$). Дослідіть та усвідомте залежності потужності P_1 і коефіцієнта корисної дії η джерела (E , R^* – відповідно ЕРС та внутрішній опір джерела), а також залежність споживаної потужності P_2 від опору споживача R : $P_1 = f(R)$, $\eta = f(R)$ та $P_2 = f(R)$.

2. Переконайтесь за допомогою експерименту в справедливості еквівалентного перетворення з'єднання “трикутник” в еквівалентну “зірку” (за результатами п. 2).

3. Виконайте порівняльну оцінку методів розрахунку складних електричних кіл.

4. Дайте визначення теорему про активний двополосник (еквівалентний генератор) та основних режимів його роботи.

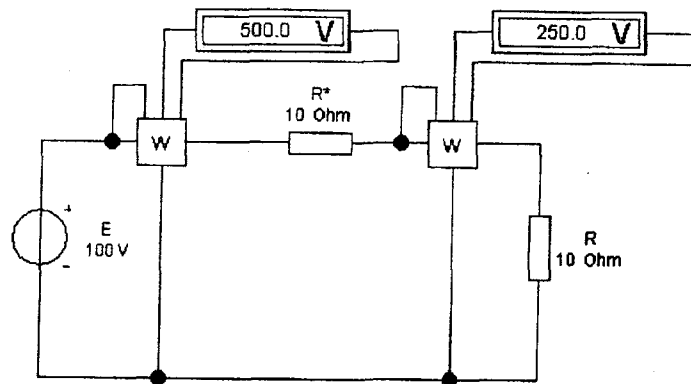



Рис. 3.2

Звіт про лабораторно-практичні роботи в частині теоретичних розрахунків має містити пояснювальний та ілюстративний матеріали відповідно до завдання, охайно оформлені чорнилами. Запис формул чи загальних виразів має супроводжуватись відповідними поясненнями. У формули підставляють числові значення параметрів і змінних, а потім записують результати розрахунків. Якщо розрахунки складні, подають проміжні результати.

Наводити порядок опису звіту з розрахункової частини роботи немає потреби – він традиційний. Тому його подамо лише в експериментальній частині відповідно до середовища EWB (версія 5.12).

Звіт про експериментальну частину роботи подають з надрукованими експериментальними моделями з показаннями вимірювальних приладів, а також у вигляді осцилограм, які можна отримати на робочому полі екрана за допомогою команди *Display Graph* меню *Analysis*, або клацанням лівою кнопкою “мишки” по піктограмі , що знаходиться на полі інструментів. Цією командою викликається на екран вікно з результатами виконання однієї з команд моделювання (рис.3.3).

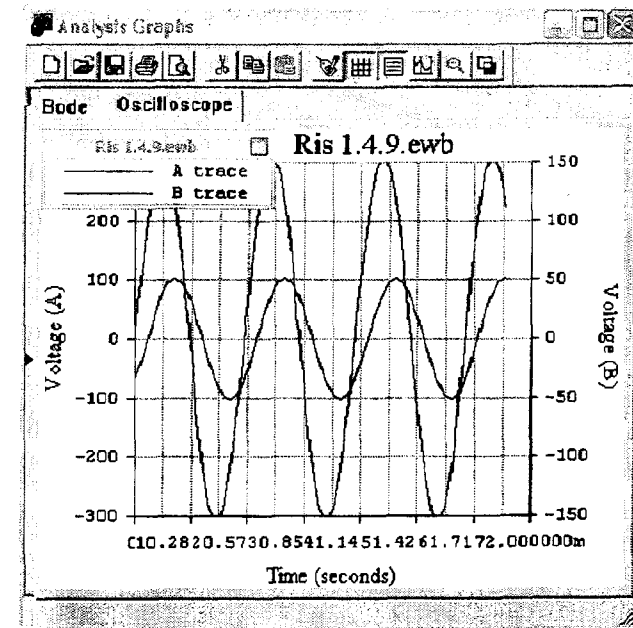



Рис. 3.3

Якщо в схемі використовують осцилограф, то у вікні з’являється закладка *Oscilloscope* і зображення осцилограми, якщо використовують графопобудовник (*Bode Plotter*), то з’являється зображення АЧХ та ФЧХ (рис. 3.4).

Додаткові маніпуляції з результатами моделювання виконують за допомогою трьох груп командних кнопок, розміщених у верхній частині вікна. Перші дві групи стандартні і пояснень не потребують.

Примітка. На рис. 3.3 та 3.4 подано результати дослідження електричного кола синусоїдного струму з послідовним з’єднанням *R*, *L* та *C* елементів (див. рис. 1.24).

Розглянемо призначення третьої групи кнопок.

 (*Properties*) – параметри графічного зображення – така назва першої кнопки. З її натисканням відкривається діалогове вікно із закладками: *General*, *Left* – відображення на екрані сигналу в контрольних точках схеми; *Cursors* – виведення на екран характеристик АЧХ і ФЧХ у табличному вигляді.

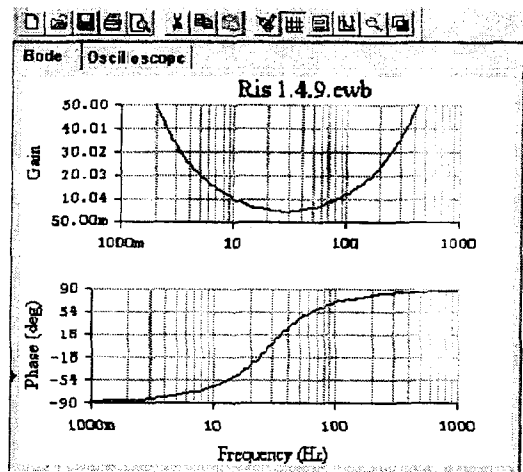



Рис. 3.4

З вибором заставки *Left Axis* відкривається діалогове вікно оформлення результатів моделювання. Воно складається з таких закладок: *Label* – редагування позначення осі *Y* з можливістю зміни шрифту і його атрибутів (наприклад, можна замінити символ позначення напруги *V* на *U*), *Axis* – зміна товщини лінії осі *Y* і її кольору, *Division* – кількість розбиттів сітки, *Range* – діапазон значень по осі *Y*, *Scale* – установлення масштабу по осі *Y*. Для заставок *Bottom Axis*, *Right Axis* і *Top Axis* вікна настроювань мають аналогічний вигляд.

Вікно для заставки *Traces* складається з таких закладок: *Trace* – вибір номера контрольної точки, для якої редагується зображення характеристики, *Label* – позначення (тут може бути розміщена й інша інформація у вигляді коментарів); *Pen Size* – вибір ширини лінії для зображення характеристики; *Color* – вибір кольору лінії, *Sample* – зразок лінії, *X Range* – вибір оформлення для осі *X*, *Y Range* – вибір оформлення для осі *Y*, *Offsets* – установлення зсуву координат по осях *X* і *Y*.

Кнопки  мають назви: *Toggle Grip* (ввести сітку), *Toggle Legend* (ввести позначення контрольної точки), *Toggle Cursor* (вивести числові значення змінних залежно від положення курсорів),

Restore Graph – відновити графічне позначення, тобто проігнорувати введені зміни.

Експериментальні моделі з показаннями осцилограм та вимірковальних приладів зручно отримати також за допомогою програми *Paint* за такою процедурою: *Shift, Print Screen* → *Paint* → (правка) → (вставка) → (виділення) → (копіювання) → (вставка в документ *Word*).

ЗВІТ ПРО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНУ ЧАСТИНУ РОБОТИ

До завдання п. 4. Результати експериментального дослідження вихідного електричного кола показано на рис. 3.5.

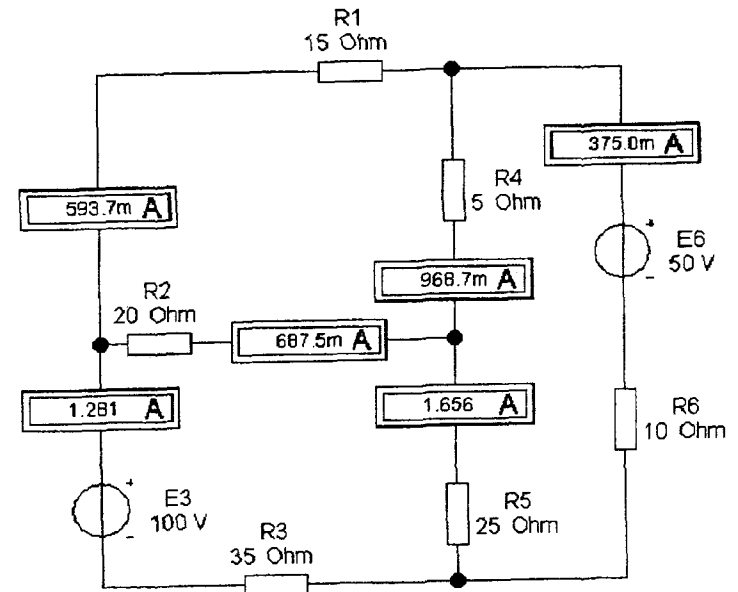


Рис. 3.5

Результати експериментального дослідження спрощеного електричного кола показано на рис. 3.6.

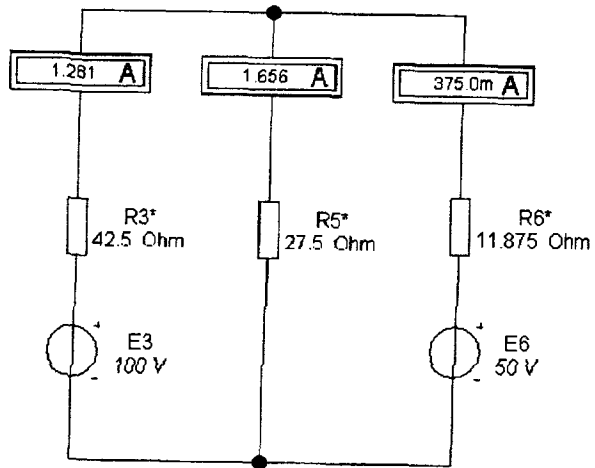


Рис. 3.6

До завдання п.5. Визначення ЕРС та внутрішнього опору еквівалентного генератора ілюструє рис. 3.7. Експериментальну модель схеми еквівалентного генератора показано на рис. 3.8.

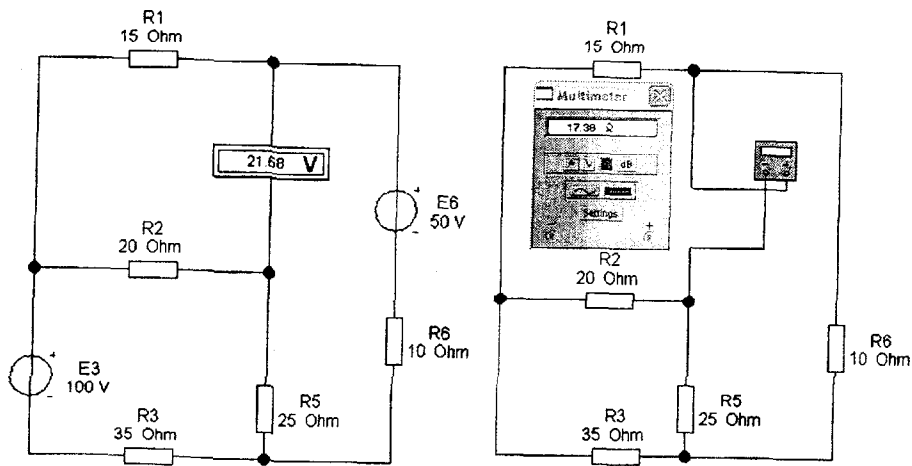


Рис. 3.7

До контрольних запитань та завдань п.1. Залежності потужності і коефіцієнта корисної дії джерела, а також залежність споживаної потужності від опору споживача у відносних одиницях: $P_1 = f(R)$, $\eta = f(R)$ та $P_2 = f(R)$ ($P_1 = P_1/P_k$, $P_2 = P_2/P_k$, $R = R/R^*$, де P_k – потужність режиму короткого замикання, $R=0$) показані на рис. 3.9.

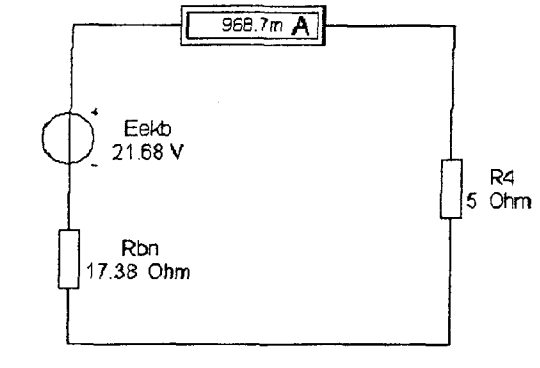


Рис. 3.8

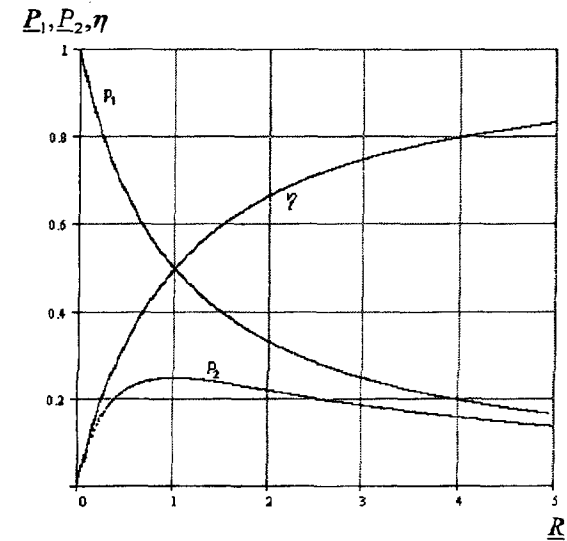


Рис. 3.9

До контрольних запитань та завдань п.2. Визначення опорів між вузлами *A* і *B* еквівалентних зєднань “трикутник” і “зірка” показано відповідно на рис. 3.10 та 3.11.

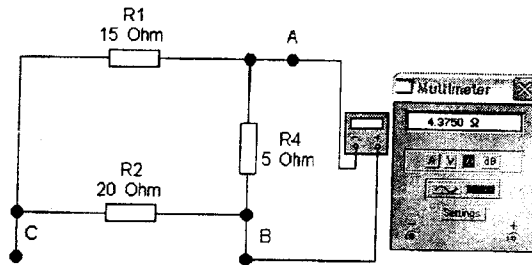


Рис. 3.10

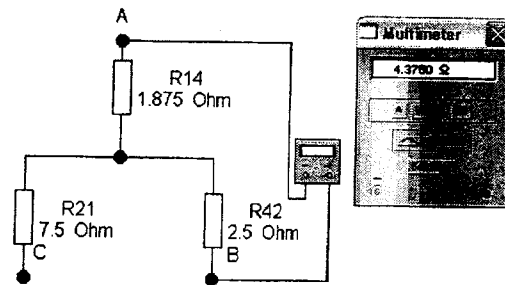


Рис. 3.11

Примітка: відповіді на запитання та завдання в звіті наводити не обов’язково.

Під час захисту роботи перевіряються теоретичні знання відповідно до контрольних запитань та завдань, обсяг та якість звіту, а також набуті навички роботи з програмою моделювання *EWB*.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум по Electronics Workbench: В 2 т. Под общ. ред. Д. И. Панфилова – Т. 1: Электротехника. – М.: Додека, 1999. – 304с.*

2. *Карлацук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение. М: Солон-Р, 2003. – 726 с.*