

ДОДАТОК

ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА ДОПОМОГОЮ EWB

Д.1. Інтерфейс програми схемотехнічного моделювання Electronics Workbench (версія 5.12)

Програма Electronics Workbench призначена для проектування електричних кіл та аналогових і цифрових електронних схем. Особливістю програми є наявність контрольно-вимірювальних приладів, які за зовнішнім виглядом і характеристиками наближені до промислових аналогів.

Програма має достатньо простий інтерфейс, що складається з таких опцій:

Меню File

1. Перші чотири команди цього меню: *New, Open..., Save, Save as...* – типові для Windows команди роботи з файлами.
2. *Revert to Saved...* – відновлення схеми до виду, що вона мала в момент останнього збереження..
3. *Import...* – перетворення нестандартних файлів схем (розширення .net або .cir) до стандартного виду Electronics Workbench.
4. *Export...* – зберігає файл схеми з одним з наступних розширень: .net, .scr, .cmp, .cir, .plc.
5. *Print...* – вибір даних для виведення на принтер.
6. *Print Setup...* – установка параметрів принтера.
7. *Install...* – установка додаткових компонентів Electronics Workbench із гнучких дисків.

Меню Edit

1. *Cut* – стирання виділеної частини схеми зі збереженням її в буфері обміну.
2. *Copy* – копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну.
3. *Paste* – вставка вмісту буфера обміну на робоче поле програми.
4. *Delete* – стирання виділеної частини схеми.
5. *Select All* – виділення всієї схеми.
6. *Copy as Bitmap* – копіювання растрового зображення елементів в буфер обміну і використання його в текстових процесорах.
7. *Show Clipboard* – показати вміст буфера обміну.

Меню Circuit

1. *Rotate* – поворот елемента схеми на 90° (проти годинної стрілки).
2. *Flip Horizontal* – дзеркальне відображення елемента схеми по горизонталі.
3. *Flip Vertical* – дзеркальне відображення елемента схеми по вертикалі.
4. *Component Properties...* – властивості компонента.
5. *Create Subcircuit* – створення субсхем.
6. *Zoom In* – збільшення рисунка.
7. *Zoom Out* – зменшення рисунка.

8. *Schematic Options* – опції особливостей побудови схеми.

Після вибору цієї опції на екрані з'являється вікно, вигляд якого приводиться на рис. д.1.

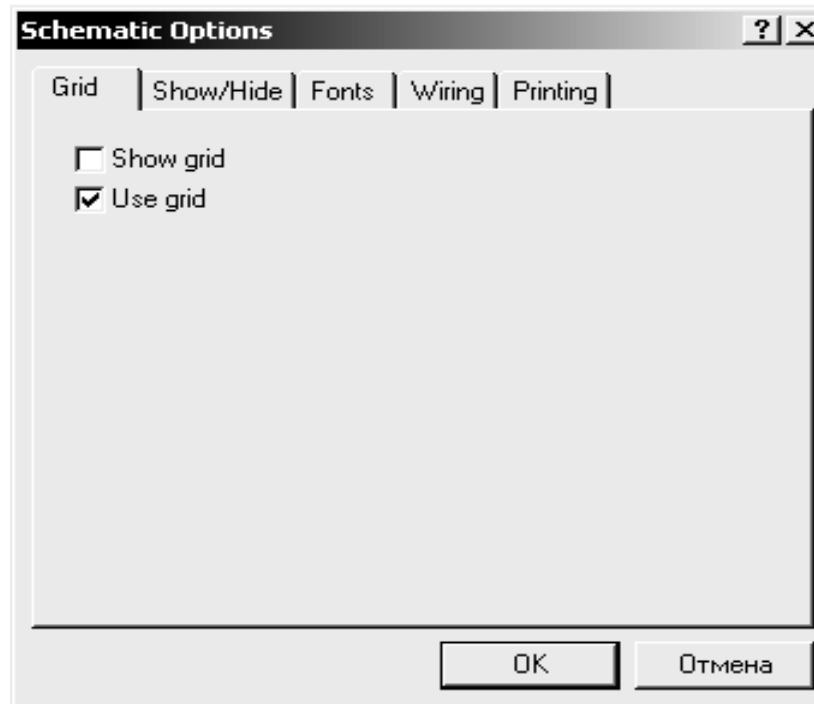


Рис. д.1

Перша опція – *Grid* – дозволяє виводити на екран сітку і використовувати її при підготовці схеми.

Друга – *Show/Hide* – дозволяє відображати на екрані, або ховати одні чи інші складові зображення принципової схеми (назви вузлів, елементів схеми та інше).

Третя – *Fonts* – дозволяє вибирати розміри й тип шрифтів.

Четверта – *Wiring* – призначена для вибору ручної або автоматичної трасировки з'єднуючих провідників.

Остання, п'ята опція – *Printing* – завдає масштаб виводу схеми на принтер.

Меню Analysis

1. *Activate* – активізувати роботу схеми.
2. *Pause* – пауза.
3. *Stop* – припинення роботи схеми.
4. *Analysis Option* – набір команд для установки параметрів моделювання. Відповідно до рис. д.2, вікно має 5 опцій, кожна з яких дозволяє задавати необхідні параметри для різних задач моделювання.

Перша опція – *Global* – дає можливість задавати установки загального типу. Параметри установок мають наступні значення:

Absolute current tolerance (ABSTOL) – задає абсолютну помилку розрахунку струмів.

Gmin minimum conductance (GMIN) – мінімальна провідність гілки електричного кола (приймаємо, що менша величина провідності сприймається рівною нулю).

Pivot relative ratio (PIVREL) – відносна величина елемента строчки матриці вузлових провідностей.

Pivot absolute tolerance (PIVTOL) – мінімальна абсолютна величина елемента схеми, яка не сприймається як нуль.

Relative error tolerance (RELTOL) – допустима відносна помилка розрахунку напруг і струмів.

Simulation temperature (TEMP) – температура елементів схеми, при якій виконується моделювання.

Absolute voltage tolerance (VNTOL) – допустима помилка розрахунку напруг у режимі аналізу перехідних процесів (Transient).

Charge tolerance (CHGTOL) – допустима помилка розрахунку зарядів.

Ramp Time (RAMPTIME) – початкова точка підрахунку часу при аналізі перехідних процесів.

Relative convergence step size limit (CONVSTEP) – відносний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму.

Absolute convergence step size limit (CONVABSSTEP) – абсолютний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму.

Convergence limit (CONVLIMIT) – підключення або відключення допоміжних засобів для забезпечення збігання ітераційного процесу (наприклад, за рахунок використання методу варіації напруг джерел

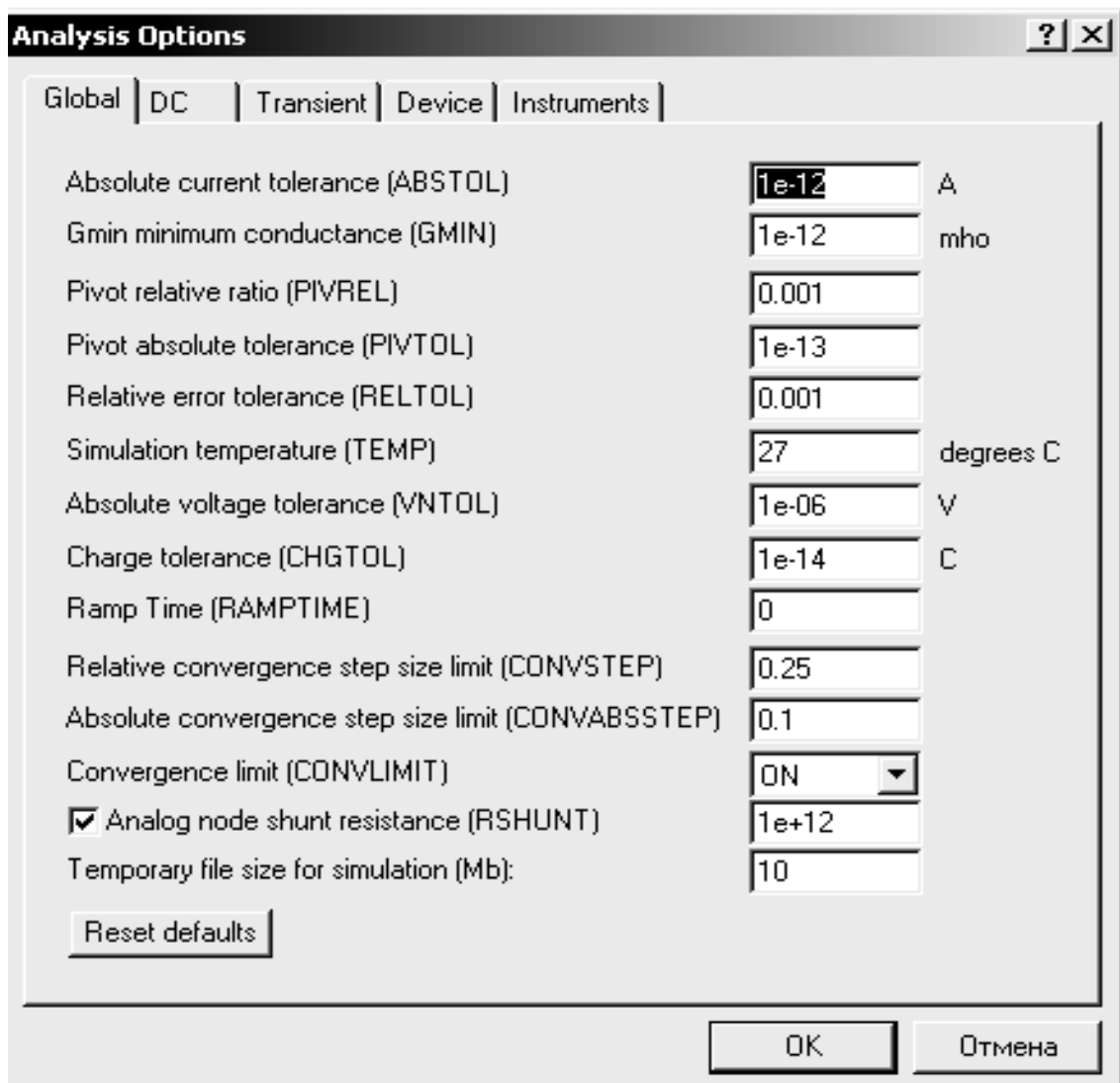


Рис. д.2

живлення).

Analog node shunt resistance (RSHUNT) – допустиме значення електричних втрат для всіх вузлів електричної схеми відносно загальної шини (заземлення).

Temporary file size for simulation (Mb) – розмір тимчасового файлу для моделювання.

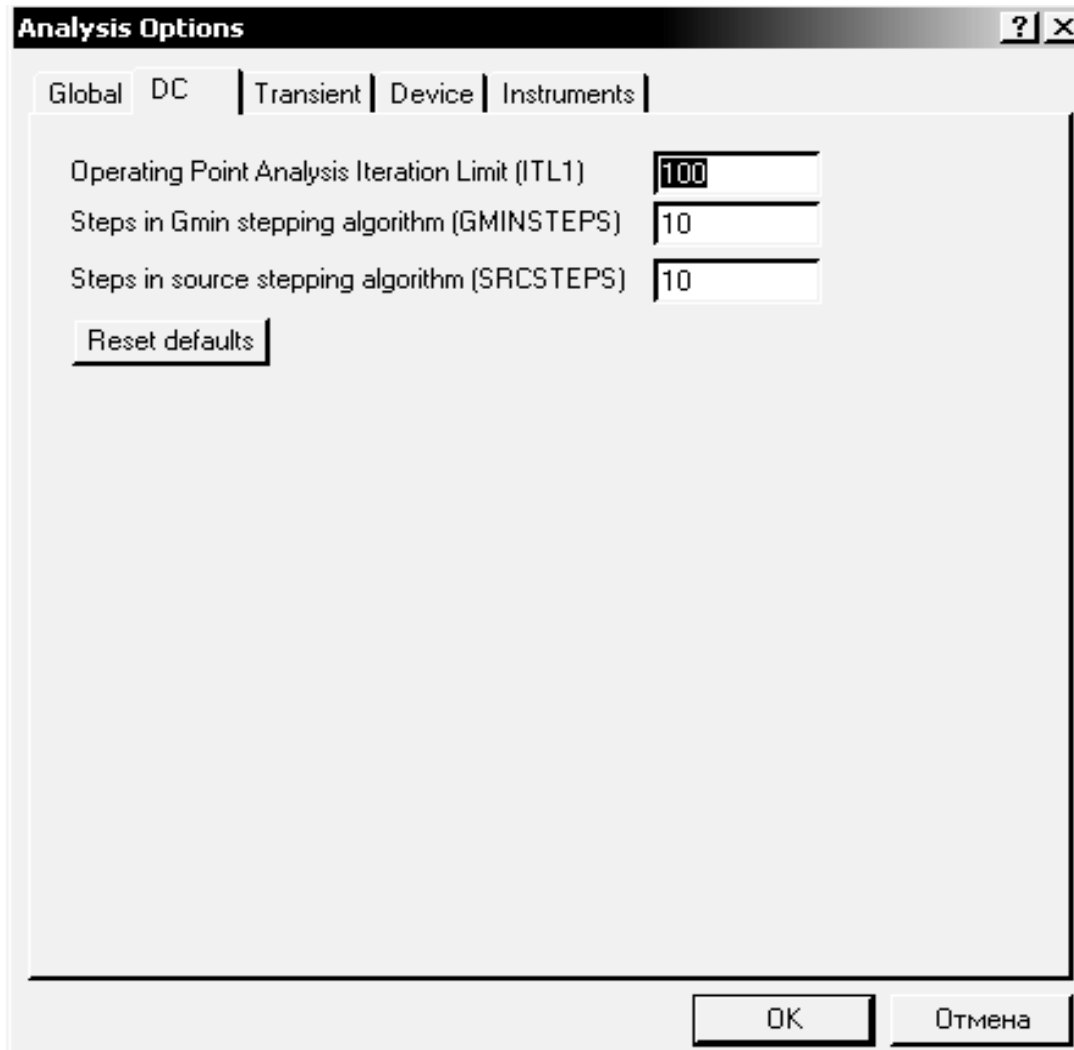


Рис. д.3

Опція *DC* призначена для установки параметрів електричного кола постійного струму. Вигляд опції приводиться на рис. д.3.

Operating Point Analysis Iteration Limit (ITL1) – максимальна кількість ітерацій наближених розрахунків.

Steps in Gmin stepping algorithm (GMINSTEPS) – розмір приросту провідності у відсотках від *Gmin* (використовується при слабкому збіганні ітераційного процесу).

Steps in source stepping algorithm (SRCSTEPS) – розмір приросту напруги у відсотках від його номінального значення при варіації напруги живлення (використовується при слабкому збіганні ітераційного процесу).

Опція *Transient* призначена для установки параметрів під час аналізу перехідних процесів. Її вікно зображене на рис. д.4.

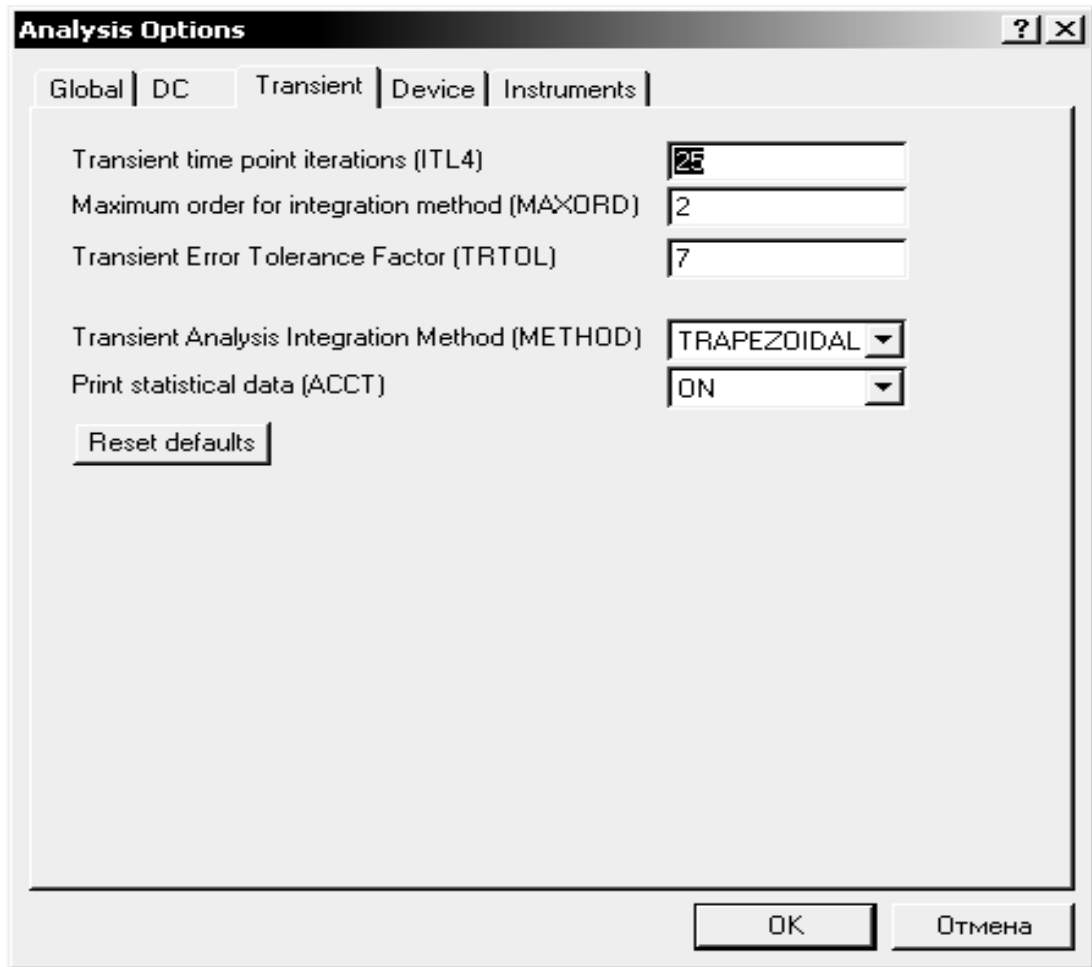


Рис.д.4

Transient time point iterations (ITL4) – максимальна кількість ітерацій за час аналізу перехідних процесів.

Maximum order for iteration method (MAXORD) – максимальний порядок (від 2-х до 6-х) методу інтегрування диференційного рівняння.

Transient Error Tolerance Factor (TRTOL) – допуск на помилку обчислення змінної.

Transient Analysis Integration Method (METHOD) – метод наближеного інтегрування диференційного рівняння. (Використовується два методи: TRAPEZOIDAL – метод трапецій та GEAR – метод Гіра).

Print statistical data (ACCT) – дозвіл на друк статистичних даних.

Кнопка *Reset defaults* – призначена для повернення до попередніх значень установок, які встановлюються по замовчуванню. Вона використовується в тих випадках, коли з'являється необхідність повернутись до початкових установок.

Опція *Device* призначена для вибору параметрів МОН-транзисторів.

Опція *Instruments* – призначена для установки параметрів вимірювальних приладів. Вигляд вікна опції приводиться на рис. д.5.

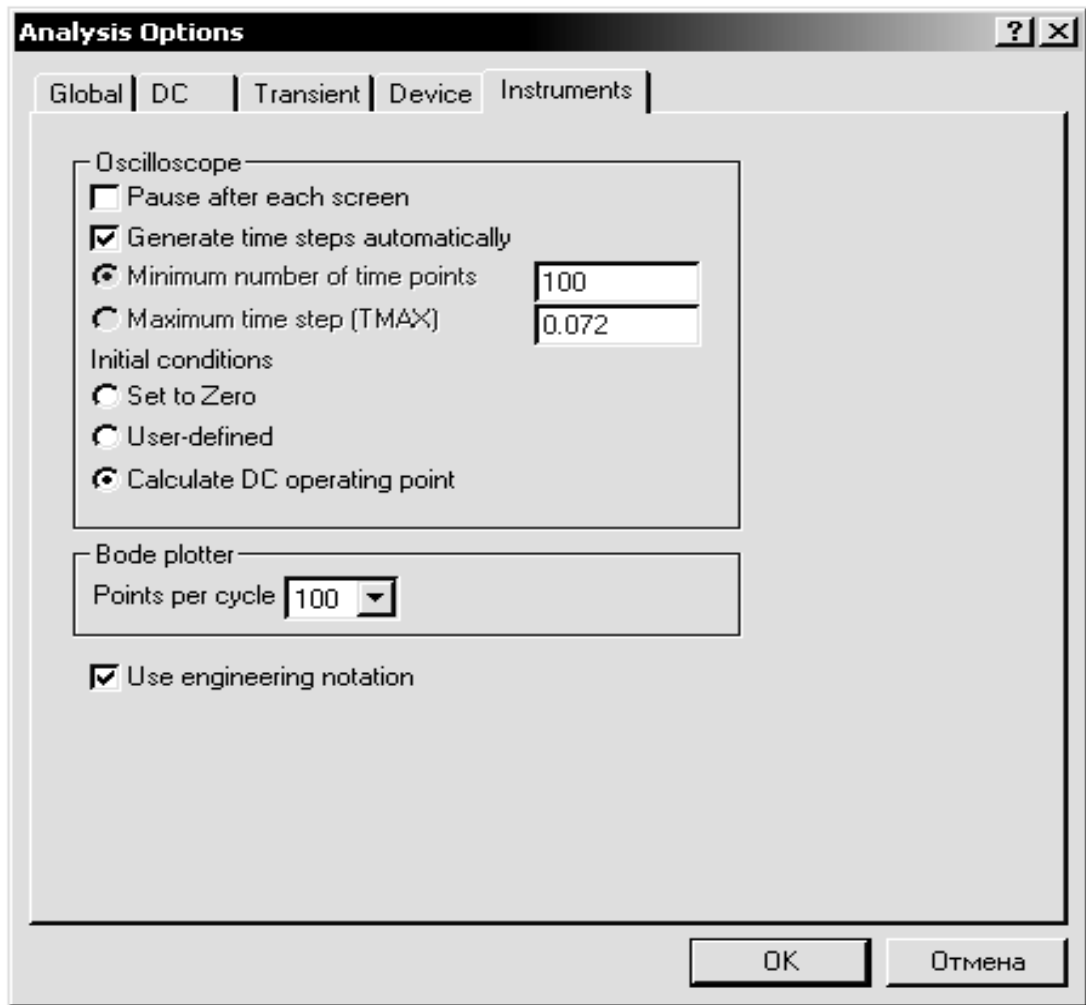


Рис. д.5

Pause after each screen – пауза (тимчасова зупинка моделювання) після заповнення екрану осцилографа по горизонталі.

Generate time steps automatically – автоматична установка часового кроку (інтервалу) виводу інформації на екран.

Minimum number of time points – мінімальна кількість крапок, які відображаються, за період реєстрації.

Maximum time step (TMAX) – інтервал часу від початку до кінця моделювання.

Set to Zero – установка в нульовий стан контрольно-вимірювальних приладів перед початком моделювання.

User-defined – керування процесом моделювання користувачем (пуск і зупинка).

Calculate DC operating point – виконання розрахунку режиму по постійному струму.

Points per cycle – кількість крапок, які відображаються при виводі амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик (Bode plotter).

Use engineering notation – використання інженерної системи позначень одиниць вимірювань (наприклад, напруги будуть виводитись в мілівольтах і т.п.).

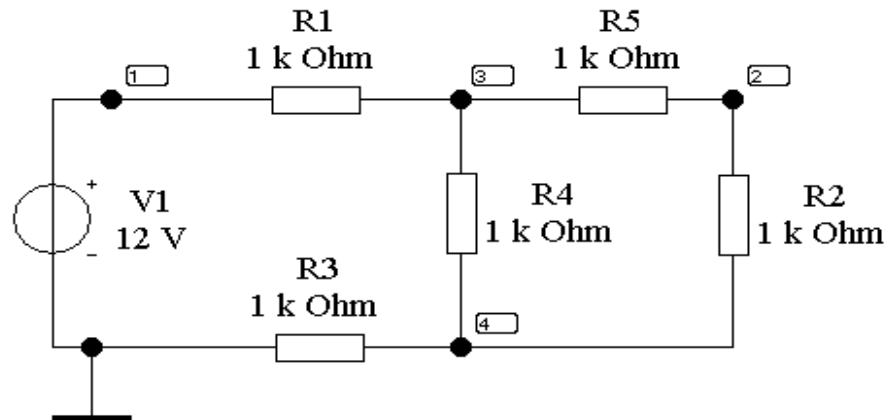


Рис. д.6

5. *DC Operating Point* – виконання розрахунків по постійному струму. При роботі програми EWB у такому режимі витікає, що із схеми, яку моделюють, виключаються всі конденсатори і закорочуються індуктивності. Для використання такого режиму необхідно позначити всі вузли схеми. Це забезпечується тим, що при використанні команд меню *Analysis* доцільно в меню *Circuit > Schematic option > Show/Hide* включити опції *Show Reference ID* і *Show nodes*. Прикладом схеми для аналізу по постійному струму є рис. д.6.

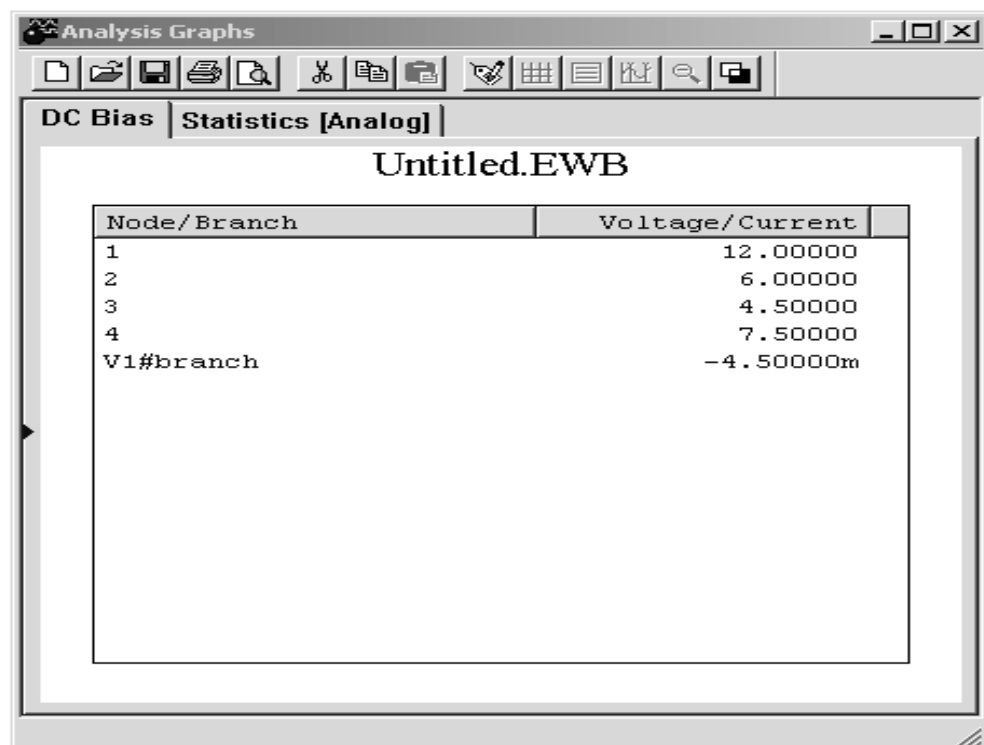


Рис. д.7

Після вибору опції, яку будемо розглядати, з'являється вікно *Analysis Graphs*, вигляд якого приводиться на рис. д.7 в режимі *DC Bias* і з назвою файлу (в даному випадку – *Untitled.EWB*).

В ньому наводяться номери вузлів та гілок схеми і відповідні значення напруг і струмів. Пункт V1#branch – позначає який струм схема одержує від джерела живлення.

В режимі *Statistics [Analog]* – приводиться ряд показників (параметрів) моделювання, які не є обов'язковими для проведення досліджень в галузі схемотехніки.

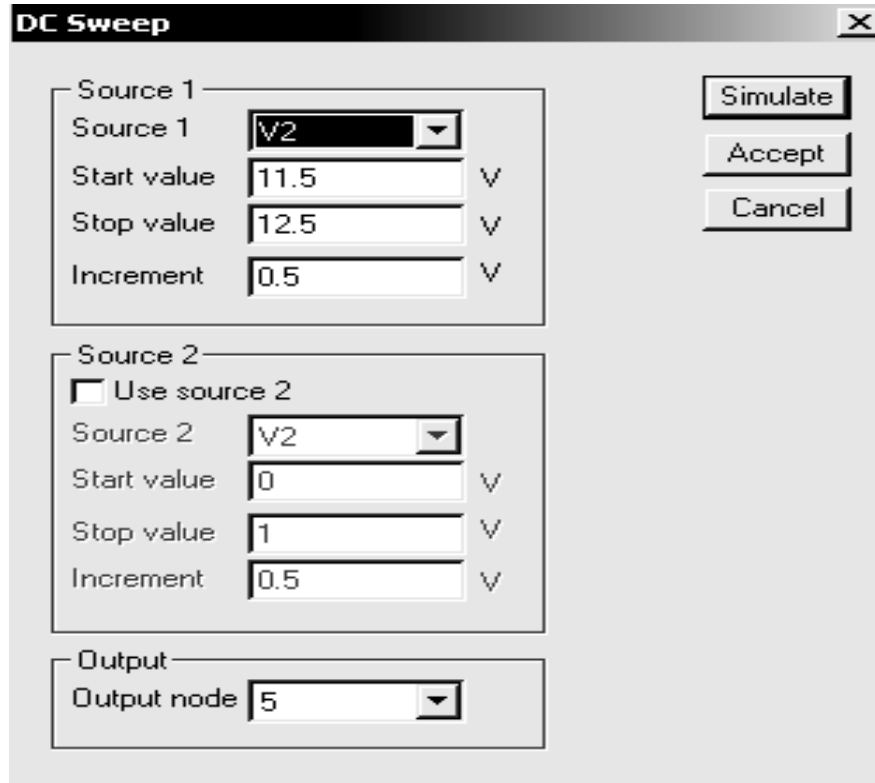


Рис. д.8

6. *DC Sweep...* – варіація параметрів джерел при розрахунку режиму по постійному струму. В задачах електротехніки використання опції, що описується, дозволяє прискорити оцінку диференційного опору нелінійних елементів електричних кіл. Вікно установок планованих коливань напруги зображено на рис. д.8. Для будь-якого з двох джерел встановлюються початкові й кінцеві значення напруги, або діапазон коливань. Після установки необхідних параметрів запускається режим аналізу (кнопкою *Simulate*) і на екрані монітора з'являється вікно *Analysis Graph* із графіком залежності абсолютних коливань напруги джерела й коливань напруги від часу в точці схеми, що аналізується. Більш детально використання опції розглянемо в наступних розділах.
7. *AC Frequency...* – розрахунок частотних характеристик. Виконання аналізу починається з установок у діалоговому вікні *AC Frequency Analysis* (рис. д.9). Перед початком проведення досліду встановлюються діапазон частот, якій досліджується, тип вертикальної шкали, а також указуються ті вузли, для яких необхідно виконати обчислення частотних характеристик. Більш детально особливості установок будуть пояснені при проведенні досліджень.

8. *Transient...* – установка параметрів перехідного процесу і його моделювання.
9. *Fourier* – забезпечує проведення гармонічного аналізу напруги в заданих точках.
10. *Noise...* – забезпечує проведення дослідів по оцінці рівня і спектру шумів у відповідних вузлах електронних кіл.
11. *Distortion...* – забезпечує аналіз нелінійних та інтермодуляційних спотворень сигналів в електричних і електронних колах.
12. *Parameter Sweep...* – забезпечує проведення дослідів при варіації параметрів електричних і електронних кіл. Широко використовується при оцінці “грубості” схеми по відношенню до параметрів, що змінюються. Детально буде описано при вивченні роботи електронних схем.

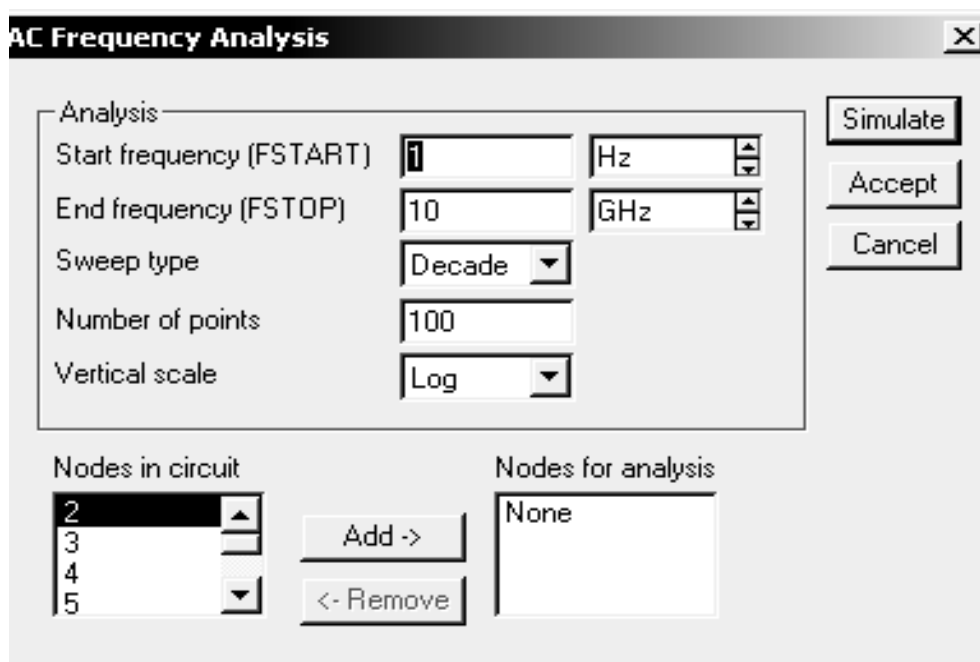


Рис. д.9

13. *Temperature Sweep...* – використовується при оцінці впливу температури на роботу електричних та електронних кіл.
14. *Pole-Zero...* – забезпечує розрахунок карти нулів і полюсів передаточної характеристики схеми, що моделюється.
15. *Transfer Function...* – розрахунок передаточної функції.
16. *Sensitivity...* – розрахунок відносної чутливості характеристик схеми до зміни параметрів вибраного компонента при частотному аналізі або при розрахунках по постійному струму.
17. *Worst Case...* – забезпечує виконання розрахунків в режимах постійного або змінного струмів при граничних відхиленнях характеристик схеми.
18. *Monte Carlo...* – забезпечує проведення статистичного аналізу схеми по методу Монте-Карло.
19. *Display Graphs* – дозволяє дивитись, регулювати і зберігати графіки та діаграми. Використовується для показу результатів всіх досліджень під час роботи з графіками та діаграмами.

Меню Window

1. *Arrange* – акуратне розташування всіх відкритих вікон.
2. *Circuit* – вивід зображення схеми на передній план;
3. *Description* – відкриття вікна опису схеми. Якщо вікно опису вже відкрито, переносить його на передній план. У вікні опису можна надрукувати коментарі до схеми.

Меню Help

Меню Help містить стислу інформацію про всі розглянуті вище команди, електричні та електронні компоненти, вимірювальні прилади, а також інформацію про саму програму.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми зображено на рис. д.10.

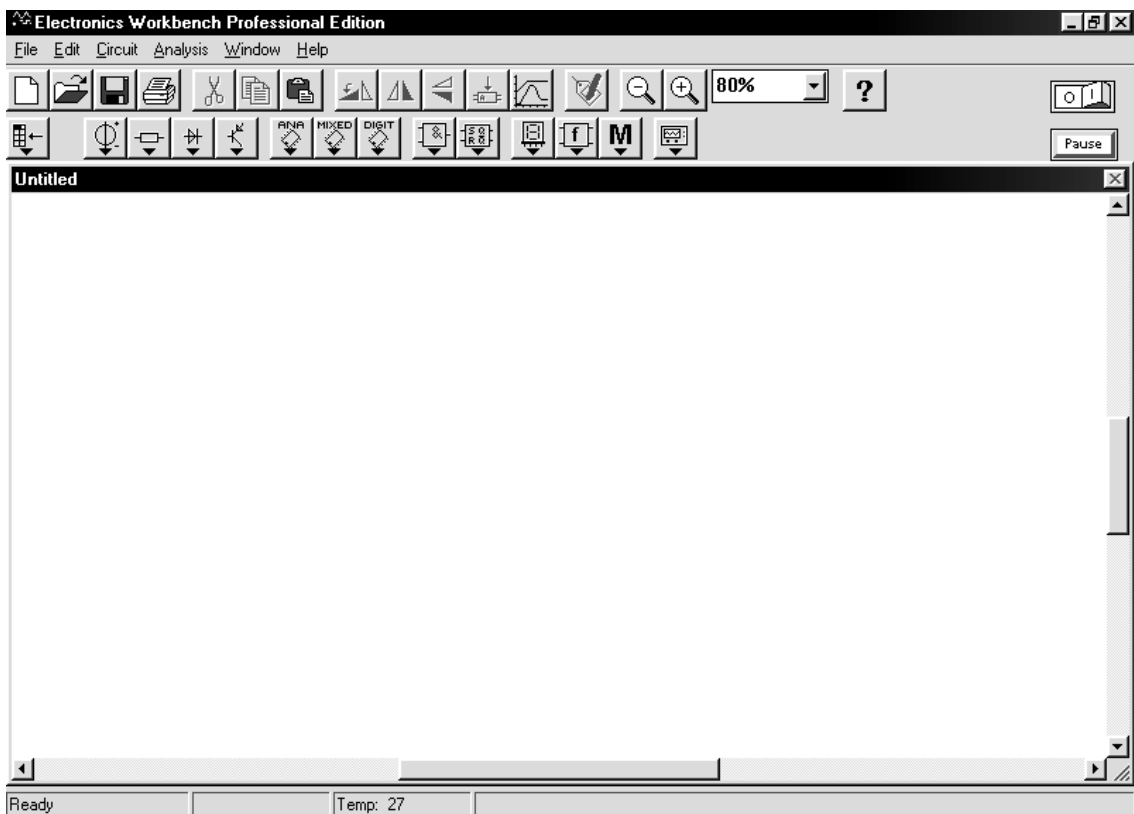


Рис. д.10

Особливість моделювання електричних схем за допомогою програмного пакета Electronics Workbench полягає в тому, що для кожного елемента електричної схеми створена відповідна математична модель. Кожна модель активізується шляхом виведення її умовного електричного позначення на екран монітора. З'єднання умовних позначень електричних елементів активізує рівняння відповідності струмів у гілках створеної схеми і напруг між вузлами. Таким шляхом створюється математична модель електричної схеми, яку досліджують.

Пакет Electronics Workbench має розвинену бібліотеку електричних і електронних компонентів, але в цьому посібнику подані лише ті, котрі потрібні для дослідження електричних схем відповідно до дисципліни „Електротехніка”.

Д.2. Електричні компоненти віртуальної лабораторії

Електричні компоненти віртуальної лабораторії вибираються з відповідних бібліотек, які знаходяться в меню компонентів.

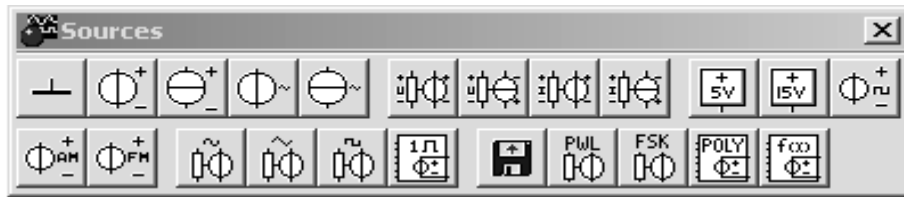


Рис. д.11

Джерела живлення знаходяться в меню *Sources* (рис. д.11), з якого можна вибрати 23 типи джерел. Для курсу, що вивчається, використовується лише частина з них. Це джерела постійної й змінної напруги (рис. д.12,а),

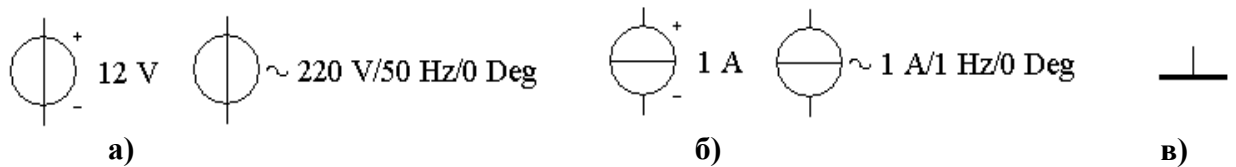


Рис. д.12

джерела постійного і змінного струму (рис. д.12,б), а також заземлення (рис. д.12,в), яке є обов'язковим елементом будь-якої електричної схеми, що досліджується у віртуальній лабораторії.

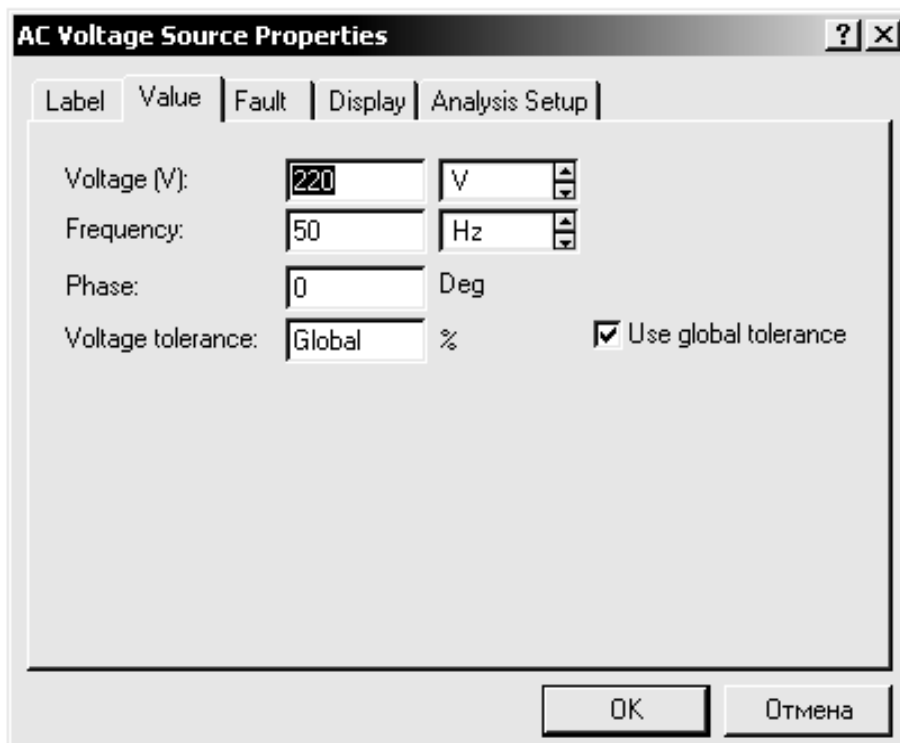


Рис. д.13

Джерела напруги й струму є ідеальними. 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. Встановлення параметрів джерел живлення забезпечується за допомогою опції властивостей того чи іншого елемента.

На рис. д.13, як приклад, приводиться вікно властивостей джерела змінного струму, яке викликається подвійним натисненням лівої кнопки „миші” і має наступні опції:

Label – умовні позначення елемента схеми, наприклад; E1; E2; U1; U2 і т.д.

Value – електричні параметри (рис. д.13). Опції цієї вкладки дозволяють встановити величини напруги (*Voltage*), частоти (*Frequency*), фази (*Phase*). Опція *Voltage tolerance* по замовчуванню встановлена в режим глобальних параметрів допустимих відхилень. Параметри цього режиму можна встановити у вікні *Monte Carlo Analysis* (меню *Analysis*, опція *Monte Carlo*). Для встановлення величини відхилення, що необхідна для досліду, скидається прапорець опції *Use global tolerance* і вводиться потрібна величина у віконці опції *Voltage tolerance*.

Fault – аварійні параметри. По замовчуванню перемикач встановлено у режим *None*. В тих випадках, коли проводяться досліди по усуненню недоліків в електричних схемах, встановлюється один із режимів: *Short* – коротке замикання або *Open* – обрив. Джерело напруги при виборі *Short* буде працювати без змін, оскільки його внутрішній опір близький до нуля. Аналогічно, джерело струму буде нормально працювати при виборі *Open*, оскільки його внутрішній опір достатньо високий.

Display – відображення тих або інших позначень і параметрів джерела. При наявності прапорця при опції *Use Schematic Options global setting* вибір відображення параметрів та умовних позначень забезпечується на глобальних установках. Якщо прапорець скинутий, то його позначення можуть встановлюватись по вибору розробника: *Show labels* (показувати ім'я елемента схеми, що задається розробником у вкладці *Label*), *Show values* (показувати номінальні параметри елемента схеми), *Show reference ID* (показувати ім'я елемента схеми, що задається програмою у вкладці *Label*).

Analysis Setup – установки при використанні джерела в задачах спектрального аналізу.

Діапазон параметрів електричних компонент достатній для проведення будь-яких досліджень у курсі електротехніки.

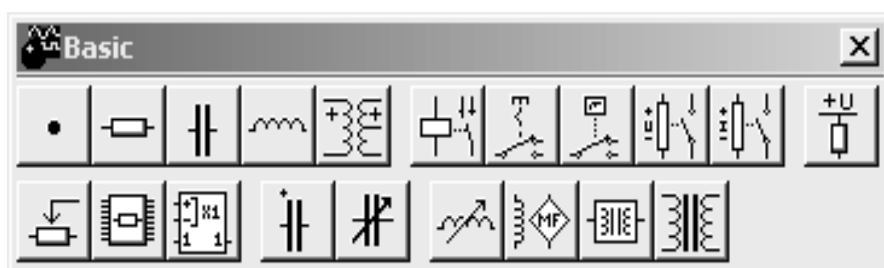


Рис. д.14

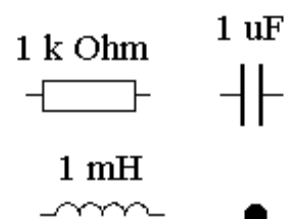


Рис. д.15

Пасивні компоненти електричних кіл вибираються з меню *Basic* (рис. д.14). З цього меню (в даному курсі) використовуються такі компоненти, як резистори, конденсатори, індуктивності, а також з'єднуючий вузол (символ з'єднання) (рис. д.15). Інші елементи електричних схем будуть пояснюватись у ході використання. Встановлення параметрів пасивних елементів виконується аналогічно, що і параметрів джерел живлення.

Реальні джерела напруги подаються послідовним з'єднанням ідеального джерела і внутрішнього опору джерела, а джерела струму паралельним з'єднанням ідеального джерела струму і внутрішнього опору.

Вимірювальні прилади вибираються з меню *Indicators* (рис. д.16,а). З бібліотеки індикаторів у даному практичному курсі будуть використовуватись лише вольтметр і амперметр, які встановлюються для вимірювання постійних або змінних напруг і струмів та електрична лампа розжарювання (рис. д.16,б).

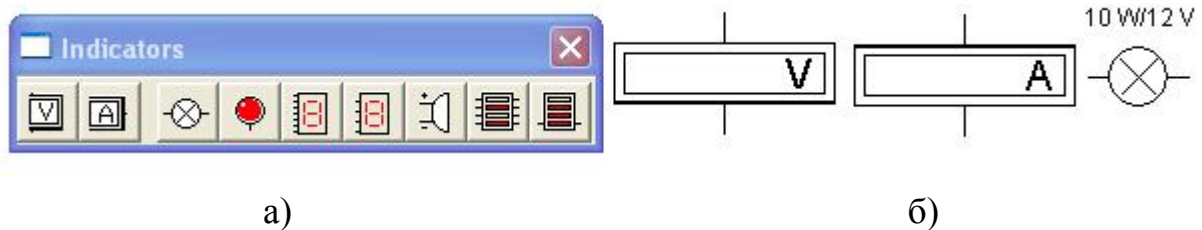


Рис. д.16

Діапазон величин, що вимірюються, перекидає всі необхідні значення, які можуть використовуватись у реальній електротехніці. Властивості вимірювальних приладів дають можливість, поряд із параметрами струмів і напруг, встановлювати величини внутрішнього опору, задавати аварійні режими, робити відповідні супроводжуючі надписи. При використанні приладів у режимі постійного струму слід звертати увагу, що один бік зображення приладів подано товстою лінією. Цією стороною прилад слід приєднувати до заземлення або до меншого з потенціалів, між якими виконується вимірювання.

Амперметр та вольтметр – прилади з автоматичним змінюванням діапазону і не потребують налагодження. В одній схемі можна застосовувати кілька таких приладів одночасно для вимірювання струмів і напруг різних елементів електричного кола.

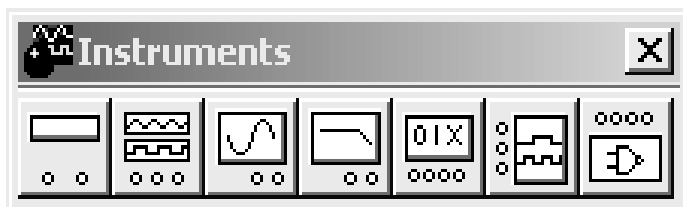


Рис.д.17

В меню *Instruments* (Рис. д.17) можна знайти універсальний вимірювальний прилад – мультиметр, який можна використовувати для вимірювання напруг і струмів (постійних і змінних) та опору. За допомогою мультиметра

можна також заміряти величину затухання сигналу між двома точками електричного кола. Схематичний вигляд мультиметра приведено на рис. д.18,а, а збільшений – на рис. д.18,б. Цей прилад також з автоматичним

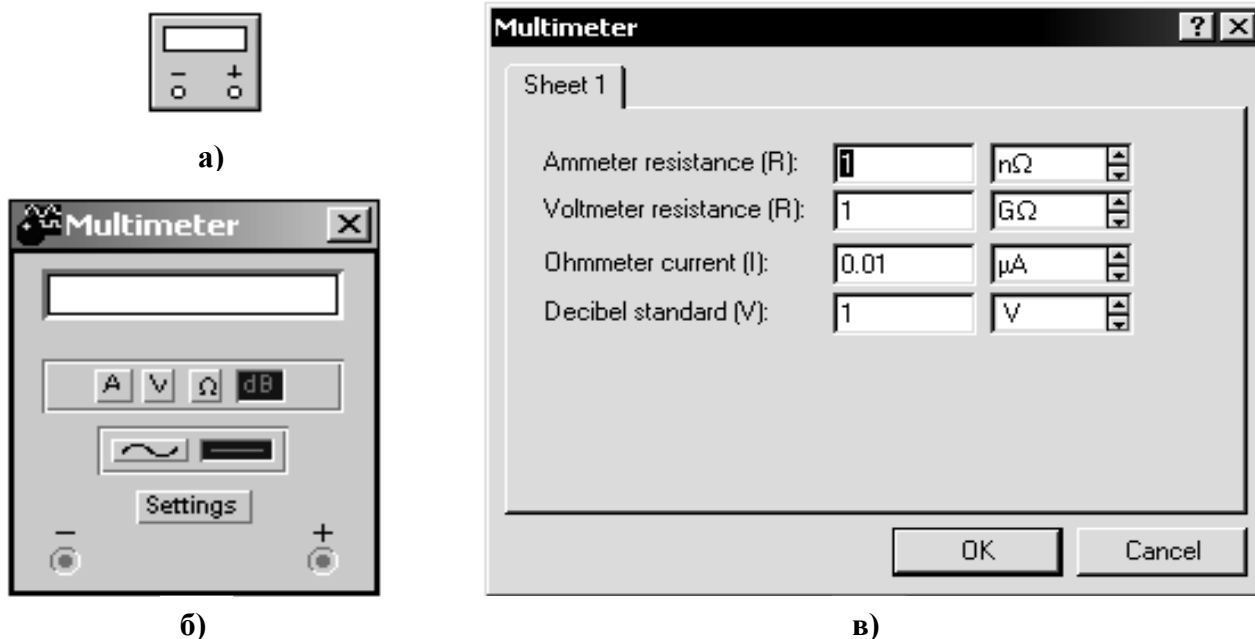


Рис. д.18

дзмінюванням діапазону вимірювання і не потребує налагодження. При натисненні лівою кнопкою „миші” на відповідних кнопках вибирається параметр, який необхідно заміряти. Кнопка *Settings* відкриває вікно установок мультиметра (рис. д.18,в), які можна задавати при проведенні дослідів.

Для дослідження електричних кіл змінного струму програма EWB пропонує використовувати осцилограф. Це зручно для проведення вимірювань напруг, струмів і фазових співвідношень між ними. Осцилограф, як і ряд інших складних електронних приладів, знаходиться в меню *Instruments* (рис. д.17).

Використання осцилографа можливо як для вимірювання напруг постійного струму по відношенню до загальної шини, так і для вимірювання параметрів напруг змінного струму. Схематичний вигляд осцилографа й схема підключення приводиться на рис. д.19, а його загальний вигляд – на рис. д.20. Показання осцилографа відповідають схемі, що на рис. д.19.



Рис. д.19

Двоканальний осцилограф дозволяє виконувати широкий ряд вимірювань, які встановлюються часовими параметрами (*Time base*), порогом і рівнем визначення сигналу, який вимірюється (*Trigger*), а також рівнем амплітуди вхідного сигналу, що може подаватись на два канали одночасно (канал А і канал В). Масштаб рівня сигналів встановлюється у вольтах на ділення (*V/Div*) у вікнах *Channel A* та *Channel B*. Масштаб горизонтальної розгортки осцилограми встановлюється в секундах на ділення (*s/div*) у вікні *Time base*. У нижній частині вікна *Time base* осцилографа розміщені три

кнопки, які відображають інформацію в часі Y/T , або у вигляді фігури Лісажа (B/A , A/B).

Якщо необхідно уточнити параметри сигналів, що досліджуються, осцилограф можна переключити кнопкою *Expand* у збільшений розмір, який приводиться на рис. д.21.

Вертикальні лінії курсору ліворуч і праворуч екрану, які переміщуються

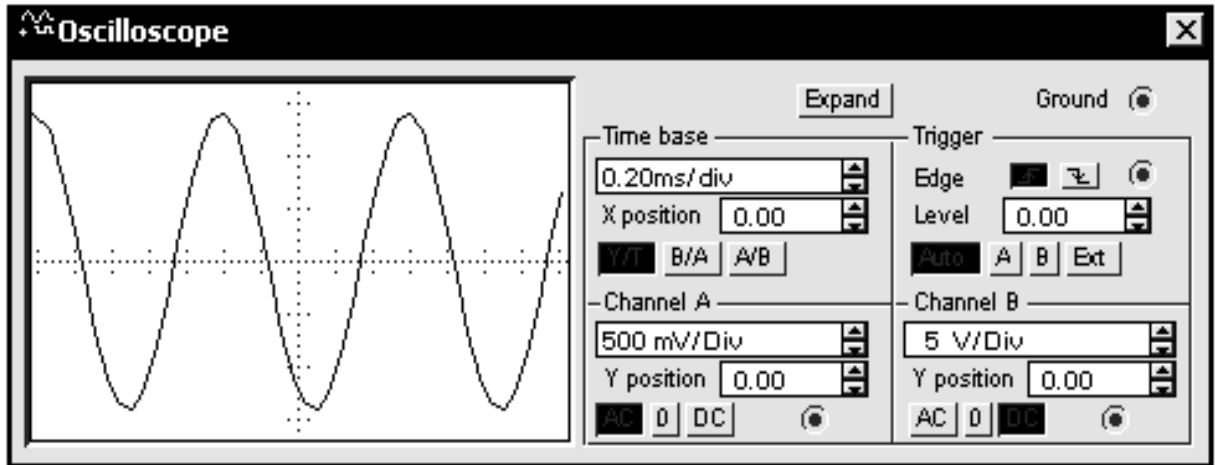


Рис. д.20

за допомогою "миші", дають можливість більш точно визначити амплітуди сигналів і часові співвідношення.

Для того, щоб виміряти, наприклад, амплітуду та період синусоїдального сигналу, потрібно встановити курсори (за допомогою

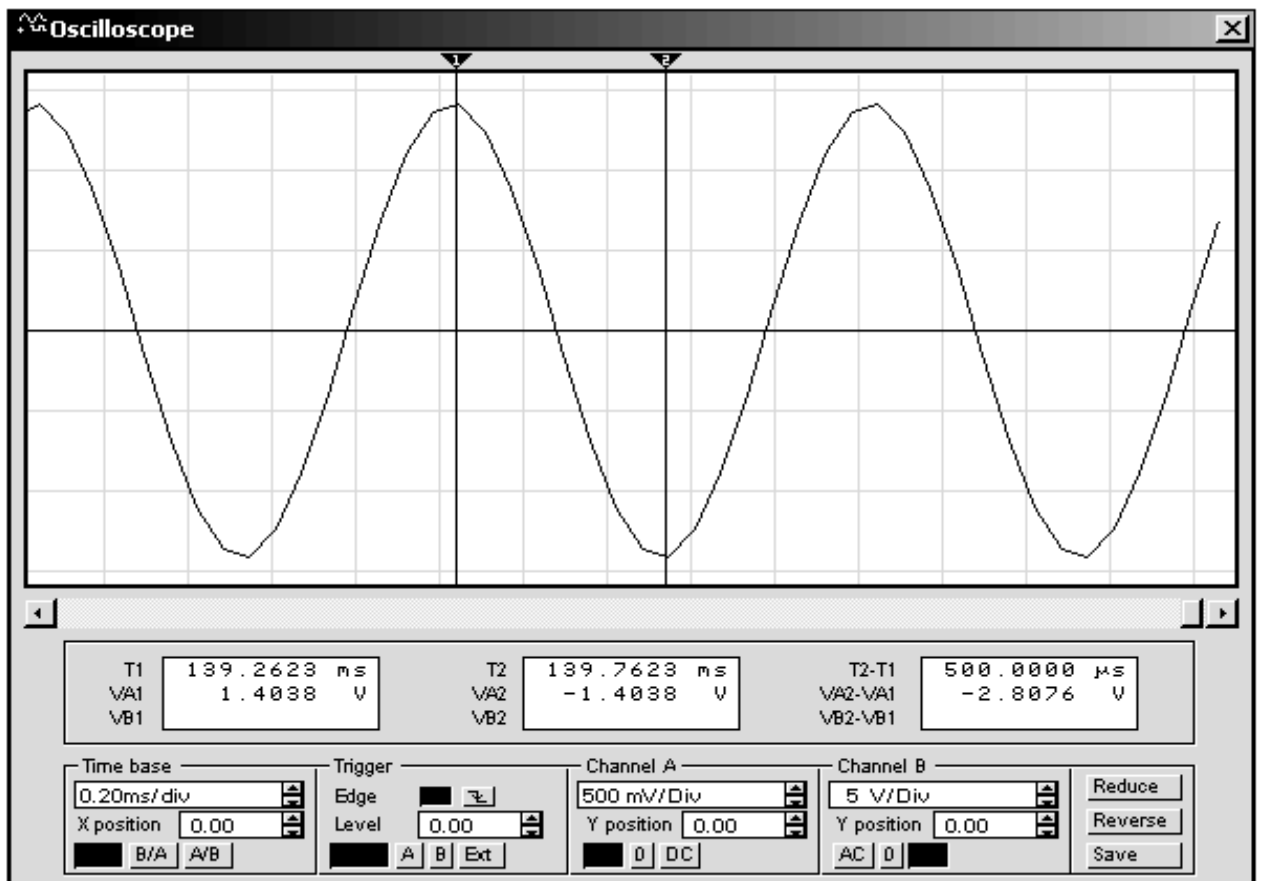


Рис. д.21

трикутників із позначками 1 і 2) відповідно в позиції максимального і мінімального значення синусоїди. На першому з трьох табло, що розташовані під екраном осцилографа, відображається миттєве значення вхідного сигналу каналу А (1.4038 V), на другому табло миттєве значення вхідного сигналу каналу В (-1.4038 V). На останньому табло – різниця (по модулю) двох замірювань (-2.8076 V). На цих табло відображаються також і часові характеристики синусоїди. Так різниця в часі між позитивною максимальною точкою синусоїди (139.2623) і негативною максимальною (139.7623) дорівнює 500 мкс (третє табло осцилографа) – це половина періоду синусоїди.

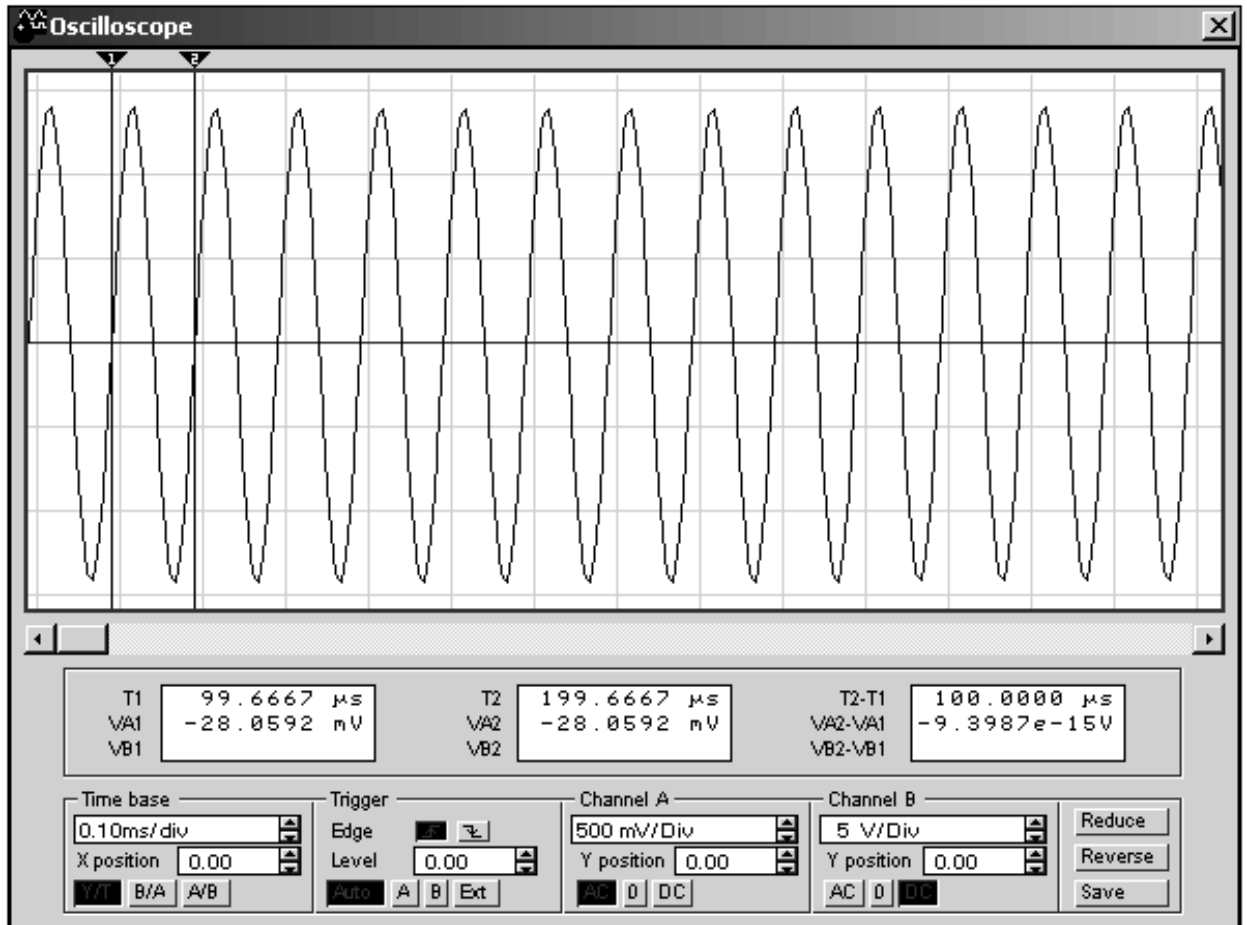


Рис. 1.22

Звідси можна зробити висновок, що період синусоїди дорівнює 1 мс. Якщо повернутись до джерела сигналу (рис. 1.19), то можна побачити, що напруга джерела – 1 В. Враховуючи, що це діюче значення, а осцилограф вимірює амплітудне значення, яке більше діючого в $\sqrt{2}$, напруга виміряна вірно. Період синусоїди (T), по осцилографу – 1 мс, а з цього виходить, що частота сигналу (f) дорівнює 1 кГц що відповідає рис. 1.19, оскільки $T = 1 / f$.

Такі вимірювання в EWB виконуються в режимі паузи, яка встановлюється у правому верхньому куті екрану монітора.

При проведенні дослідів канали осцилографа можна перемикаєти з однієї точки електричного кола до іншої, аналізуючи різні сигнали. При цьому процес моделювання не зупиняється. Не впливають на процес моделювання

також зміна установок осцилографа – масштабу часу чи шкали амплітуд по будь-якому з входів.

Установка кнопки Y/T дає можливість керувати масштабом горизонтальної осі в часі. Максимальний масштаб – 1 с/под (1.00 s/div) відповідає частоті 1 Гц. Якщо, наприклад, потрібно один період сигналу з частотою 1 кГц вмістити в одну поділку горизонтальної осі, то встановлюється масштаб часу 1 мс/под, а для сигналу частоти 10 кГц масштаб часу повинен бути 0.1 мс/под (рис. д.22).

Вертикальна вісь має по три поділки в позитивній і негативній частинах. Тому, якщо встановлений масштаб, наприклад, 0.5 В/под, то на екрані осцилографа можна спостерігати зображення сигналу з амплітудним значенням до 1,5 В. Якщо ж амплітудне значення перевищуватиме 1,5 В, то верхня і нижня половини синусоїди будуть виглядати зрізаними і в цьому випадку треба збільшити масштаб. Приблизне обчислення миттєвого значення сигналу виконується шляхом перемноження кількості поділок, яких він досягає, на числове значення масштабу.

Осцилограф та схема, що досліджується, повинні бути заземленими.

Д.3. Побудова електричних схем в середовищі EWB

Перед тим як побудувати електричну схему для дослідження в середовищі EWB, потрібно на аркуші паперу підготувати її ескіз із зразковим розташуванням компонентів.

Процес побудови схеми починається з розміщення на робочому полі екрану компонентів із бібліотек програми, відповідно до підготовленого ескізу. Необхідний для побудови схеми символ (умовне позначення) компонента переноситься з каталога на робоче поле програми посунанням “миші” за натиснутої лівої кнопки, після чого кнопка відпускається для

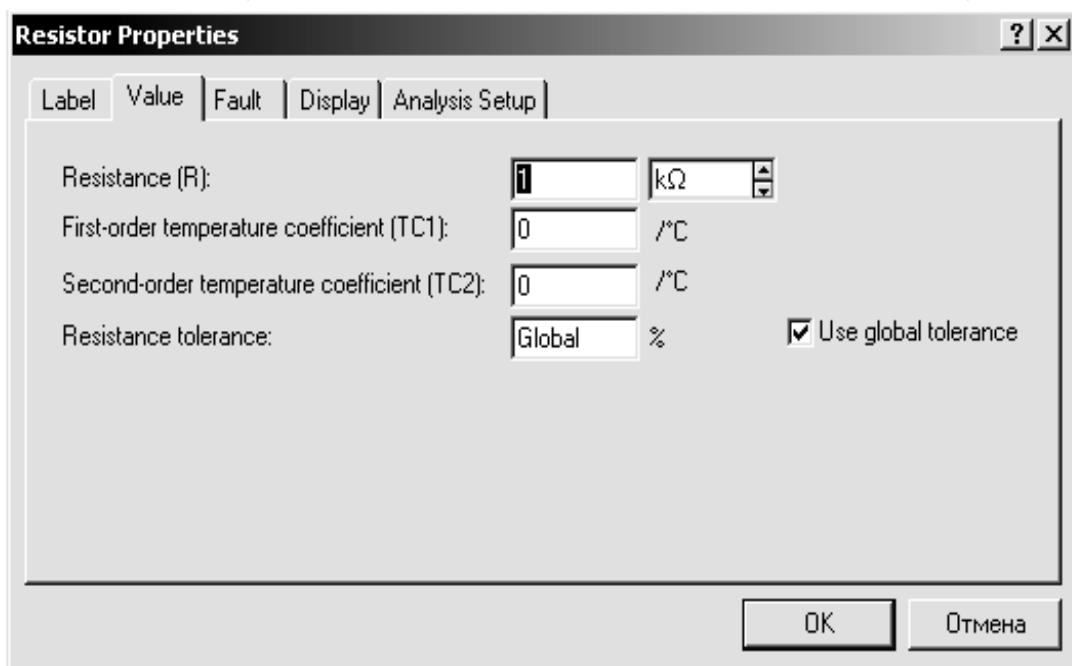
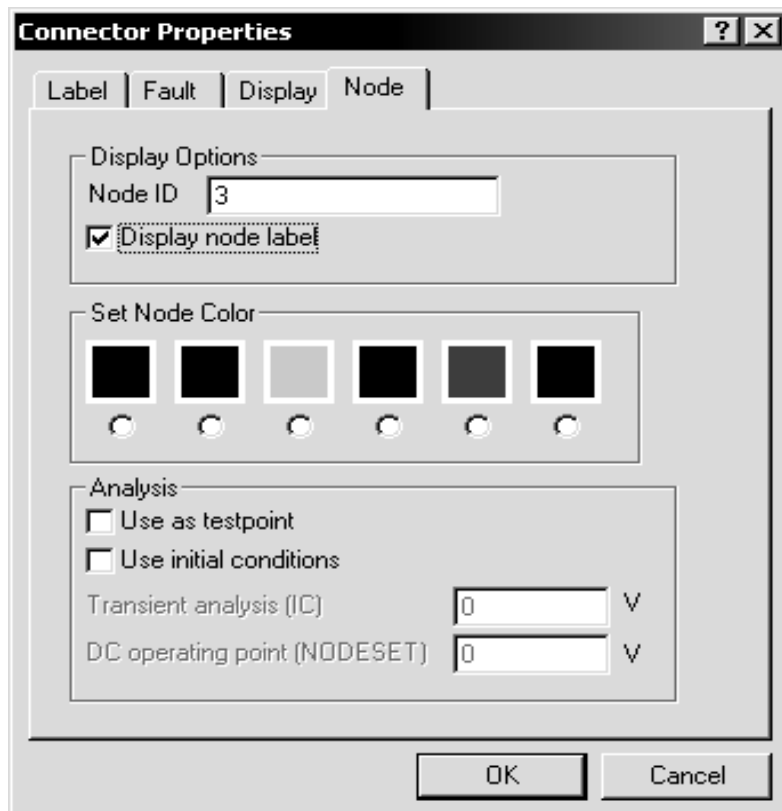


Рис. д.24

фіксації символу. Вибраний компонент освітлюється червоним кольором. Кнопками *Rotate*, *Flip horizontal*, *Flip vertical* встановлюється розташування елементів у схемі. Подвійне натиснення кнопки “миші” на умовному зображенні елемента забезпечує виклик вікна для встановлення необхідних параметрів: опору резистора, індуктивності дроселя, ємності конденсатора і т.ін. (Рис. д.24). Вибір підтверджується натисканням кнопки *Accept (OK)* або клавіші *Enter*. У ході створення схем використовуються лише два перших вікна *Label* і *Value*: перше дозволяє встановлювати літерні й цифрові надписи біля вибраних компонентів, а друге – їхні величини.

Після розміщення компонентів проводиться з'єднання виводів провідниками. Необхідно враховувати, що до кожного виводу компонента можна приєднати тільки один провідник. З'єднання в електричних схемах виконується в такій послідовності. Підводиться курсор “миші” до виводу компонента до моменту появи чорної точки (з'єднуючого символу). Після цього натискається ліва кнопка “миші” і курсор підводиться до виводу другого компонента, або до раніше встановленого провідника електричної схеми. Коли з'являється аналогічна з'єднуюча точка кнопка “миші” відпускається. При цьому з'являється з'єднуючий провідник, колір якого можна змінити. Для цього стрілка “миші” підводиться до провідника і подвійним натисненням лівої кнопки викликається вікно *Wire Properties*, в якому вибирається бажаний колір провідника. Якщо до кольорового провідника приєднується вхід осцилографа, то відповідний промінь буде мати такий самий колір.

Приєднати до побудованої електричної схеми інші компоненти можна за допомогою символу з'єднання (рис. д.15), який переноситься на раніше



встановлений провідник. До цієї точки з'єднання можна приєднати ще два провідники. Спочатку символ з'єднання буде позначений червоним кольором. За умови переведення його в пасивний стан, на ньому може бути видимою лінія з'єднання. Це говорить про відсутність з'єднання в схемі. В такому випадку необхідно повторити установку символу. Символ з'єднання може мати умовні позначення (номери), так само, як і інші компоненти електричної схеми.

Рис. д.25

Відповідні номери, а також назви вузлів (символів з'єднання) встановлюють у вікні *Connector Properties*, яке з'являється на екрані монітора якщо двічі натиснути ліву кнопку „миші” (Рис. д.25). За умови використання вкладки *Label* назва вузла встановлюється самим розробником схеми, а якщо використовується вкладка *Node*, номер вузла встановлюється програмою (при наявності прапорця у віконці *Display node label*). Останній спосіб завдання використовується, якщо номер вузла потрібний для проведення аналізу схеми за допомогою меню *Analysis*.

За необхідності розірвати встановлене з'єднання використовуються два способи. За першим з них до провідника підводиться курсор “миші” і натиском лівою кнопкою провідник виділяється (виділена лінія буде мати подвійну ширину). Після цього правою кнопкою “миші” викликається вікно, в якому необхідно натиснути опцію *Delete*. Другий спосіб полягає в тому, що виконується процедура, зворотна процедурі з'єднання. Підводиться курсор “миші” до одного з виводів електричних компонентів і після появи чорної (з'єднуючої) точки натискається ліва кнопка й курсор відсувається від компонента.

Спосіб забезпечення з'єднань та роз'єднань електричної схеми задається

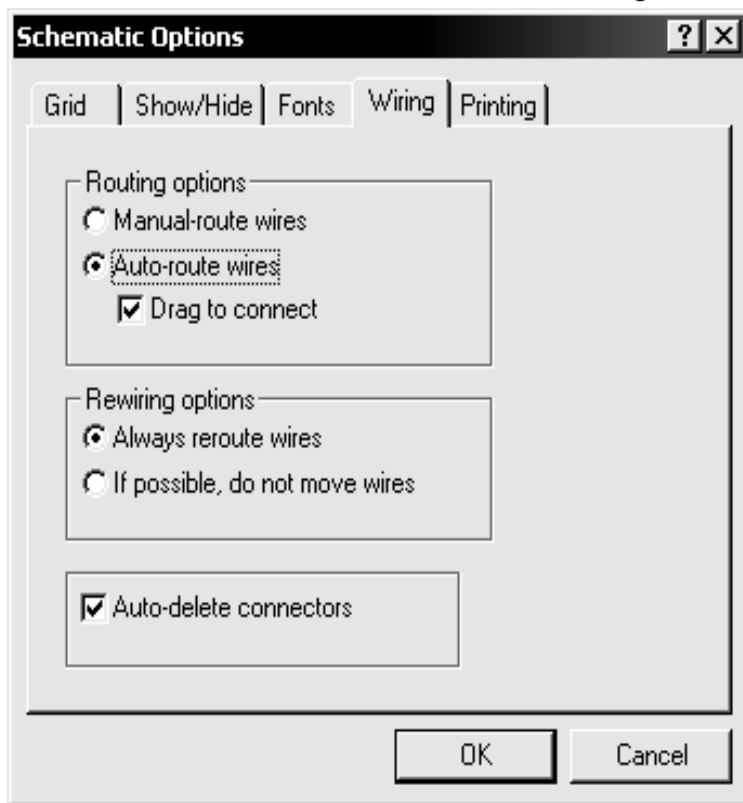


Рис. д.26

в меню *Circuit / Schematic Options / Wiring*, вікно якого подано на рис. д.26.

В віконці *Routing options* – вибір з'єднання, дається на вибір два варіанти розміщення маршруту провідника – ручний (*Manual-route wires*) та автоматичний (*Auto-route wires*). В віконці *Rewiring options* – вибір видалення провідника, також використовуються два варіанти: *Always reroute wires* – завжди видалити провідник *If possible, do not move wires* – по можливості, не переміщувати провідники.

Для практичної роботи із схемами важлива наявність прапорця у віконці *Auto-delete*

connections, що дозволяє автоматично видалити точки з'єднання, якщо в них відпала потреба.

Інформаційність схеми, що буде побудована, та її якість залежать від опцій, що вибрані в *Circuit / Schematic Options*. На рис. д.27 приведено вікно *Show / Hide*, яке дозволяє відображати на схемі допоміжну інформацію:

Show labels – показувати присвоєні назви.

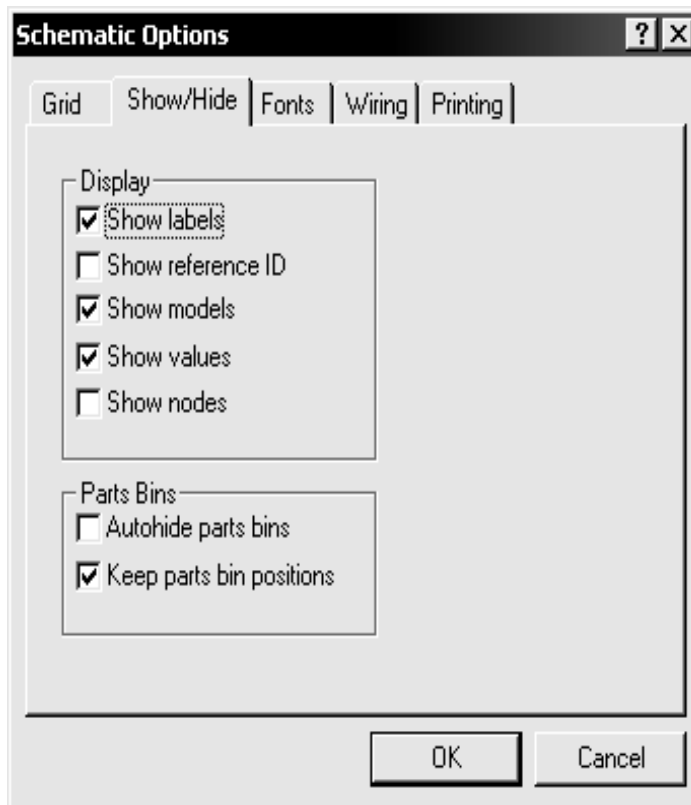


Рис. д.27

елементів схеми. Відповідні установки виконуються у вікнах вибору шрифту, що з'являються після натискання кнопок *Set label font* (встановити тип і колір шрифту, що задається вкладкою *Label*) та *Set value font* (встановити тип і колір шрифту, що задається вкладкою *Value*). Вікно вибору потрібного шрифту та його параметрів приведено на рис. д.29.

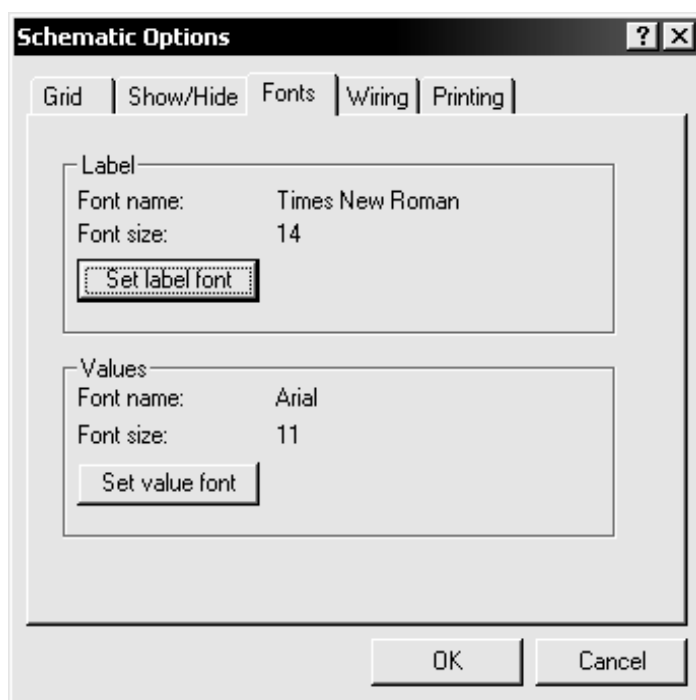


Рис. д.28

Show reference ID – показувати послідовну нумерацію кожного з типів елементів, що використовуються в схемі. Нумерація складається з букви, що є умовним позначенням типу елемента й цифри, що є порядковим номером елемента в схемі.
Show models – показувати модель пристрою, що використовується.
Show value – показувати величини параметрів елементів.
Show nodes – показувати номери вузлів.

В вікні *Fonts* (рис. д.28) встановлюються типи шрифтів для позначення параметрів і величин

Програма EWB дає змогу об'єднати схему електричного кола, або її частину в субблок. Для цього потрібно виділити потрібне і набрати пункт *Subcircuit* меню *Circuit*, або клацнути лівою кнопкою „мишки” по піктограмі *Create Subcircuit*.

З'явиться вікно, рис. д.30,б. У рядку *Name* потрібно ввести ім'я субблоку, наприклад *W*, а потім натиснути одну з чотирьох кнопок: *Copy from Circuit* (скопіювати зі схеми), *Move from Circuit* (вилучити зі схеми), *Replace in Circuit* (замінити в схемі), *Can-*

cel (відмінити). Якщо натиснути на кнопку *Copy from Circuit*, схема залишиться без змін, а в полі компонент *Favorites*

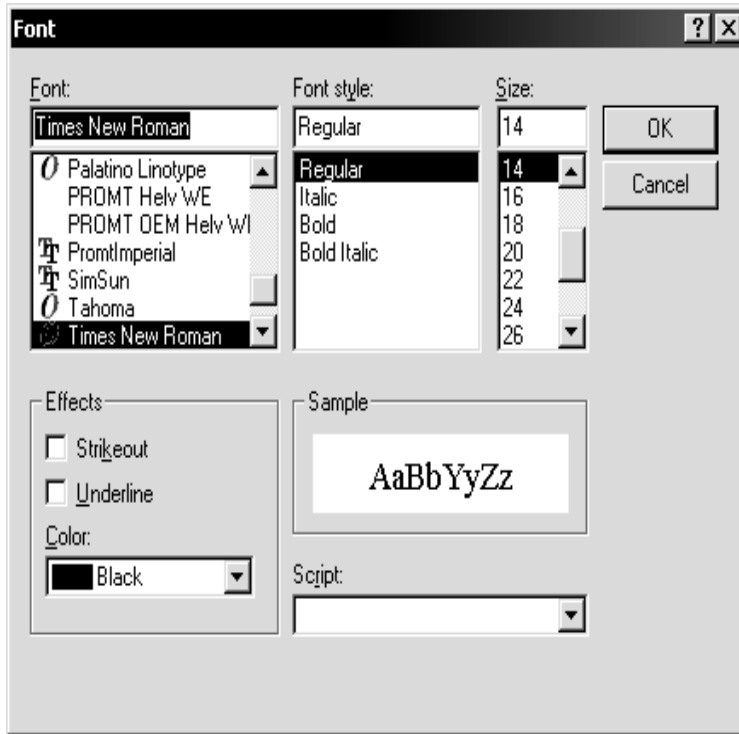


Рис. д.29

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'явиться субблок з привласненим йому ім'ям. Якщо натиснути кнопку *Replace in Circuit*, то виділена ділянка кола заміниться субблоком.

Це можна показати на прикладі побудови приладу для вимірювання потужності в електричних колах постійного і змінного

струмів. У бібліотеці вимірювальних приладів програми *EWB* ватметр відсутній, але є можливість побудувати його модель за допомогою такої компоненти програми *EWB*, як перемножувач (меню *Controls*), якщо на його входи *X* і *Y* подати напруги пропорційні відповідно напрузі та струму.

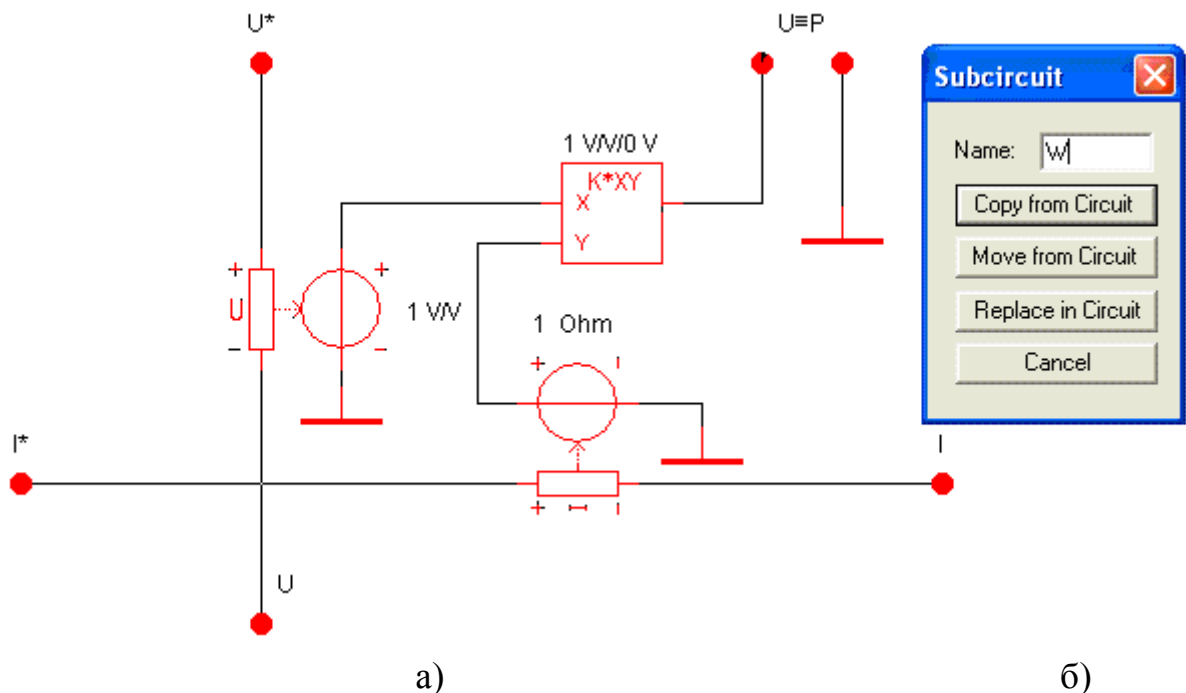
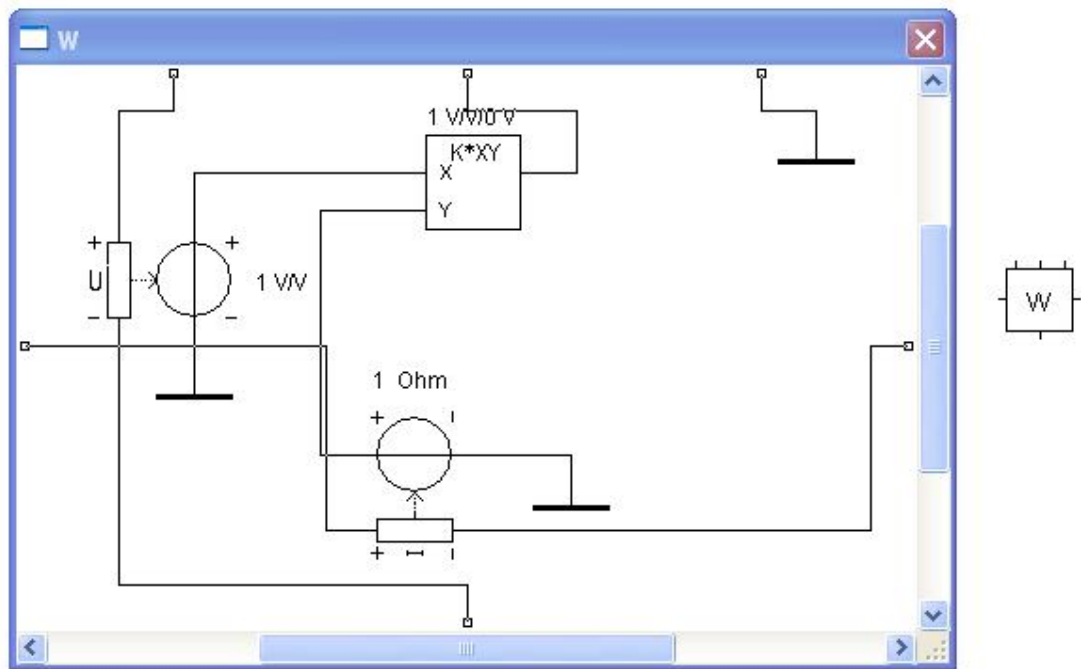


Рис. д.30

Щоб розв'язати входи ватметра, напруги на перемножувач потрібно подати через залежні джерела: джерело напруги, кероване напругою та

джерело напруги, кероване струмом, рис. д.30, а. Напруга на виході перемножувача буде пропорційна потужності і може бути виміряна вольтметром в режимі постійного струму.



а) б)

Рис. д.31

На рис. д.31,а і б показані вміст субблоку ватметра відповідно до схеми (рис. д.30,а) та його схемне зображення

Аналогічно виконуються вимірювання і в колах синусоїдального струму. Нехай навантаження споживача (двополюсника) має активно-індуктивний характер. Миттєві значення напруги, струму та потужності споживача визначаються за співвідношеннями:

$$U = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin(\omega t - \varphi),$$

$$p = ui = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi) = P - S \cos(2\omega t - \varphi).$$

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

Д.4 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 курсі "Електротехніка" приваблює блок моделювання *MultiSim*, за допомогою якого розширюються можливості експериментальних досліджень.

Д.4.1. Компоненти програми, установлення їх параметрів та побудова експериментальнихмоделей

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. д.32.

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. д.33) і тільки після натискання на кнопку *OK* в цьому вікні курсор “мишки” набуває зазначеного вигляду.

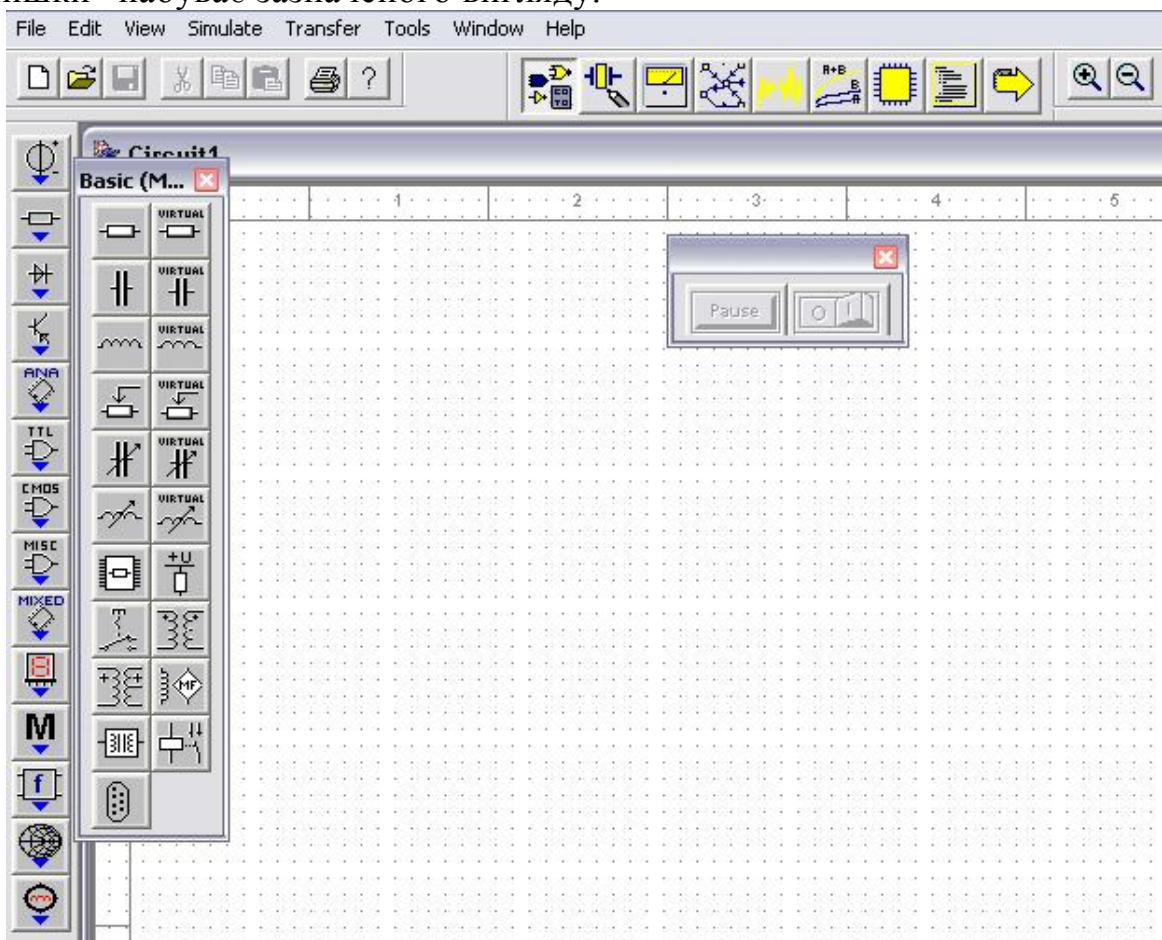


Рис. д.32

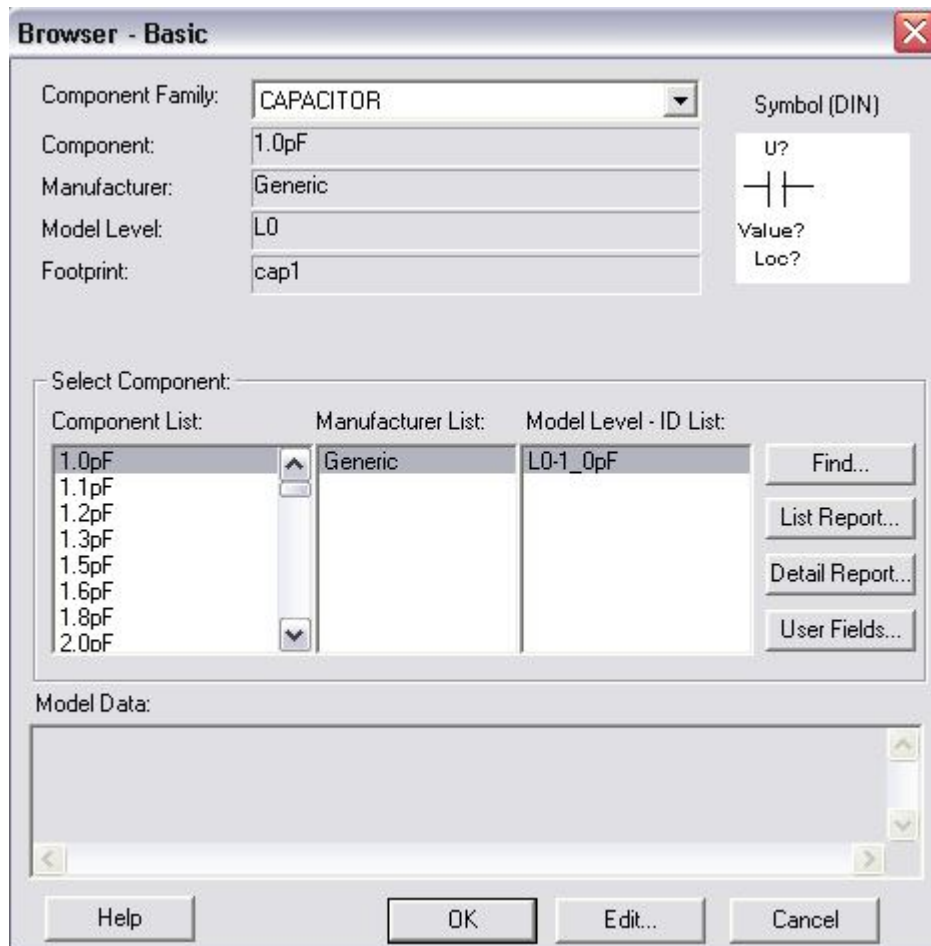


Рис. д.33

Вікно реального конденсатора передує 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. д.34 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. д.33).

Щоб змінити параметри компоненти, потрібно подвійним клацанням “мишки” на її зображенні відкрити діалогове вікно ідеальної компоненти (рис. д.34) 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).

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 ОК у вікні реальної компоненти, – початковим значенням відповідно до їх стандартного ряду.

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




Рис. д.34

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 відмінностей 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.

Д.4.2. Контрольні та вимірювальні прилади

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 табло (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 підрозділі д.3;
- дозволяється використовувати в одній експериментальній моделі два осцилографи і два ватметри.

На рис. д.35, як приклад, подана експериментальна модель дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням R , L та C елементів в середовищі *EWB* (версія 6.02).

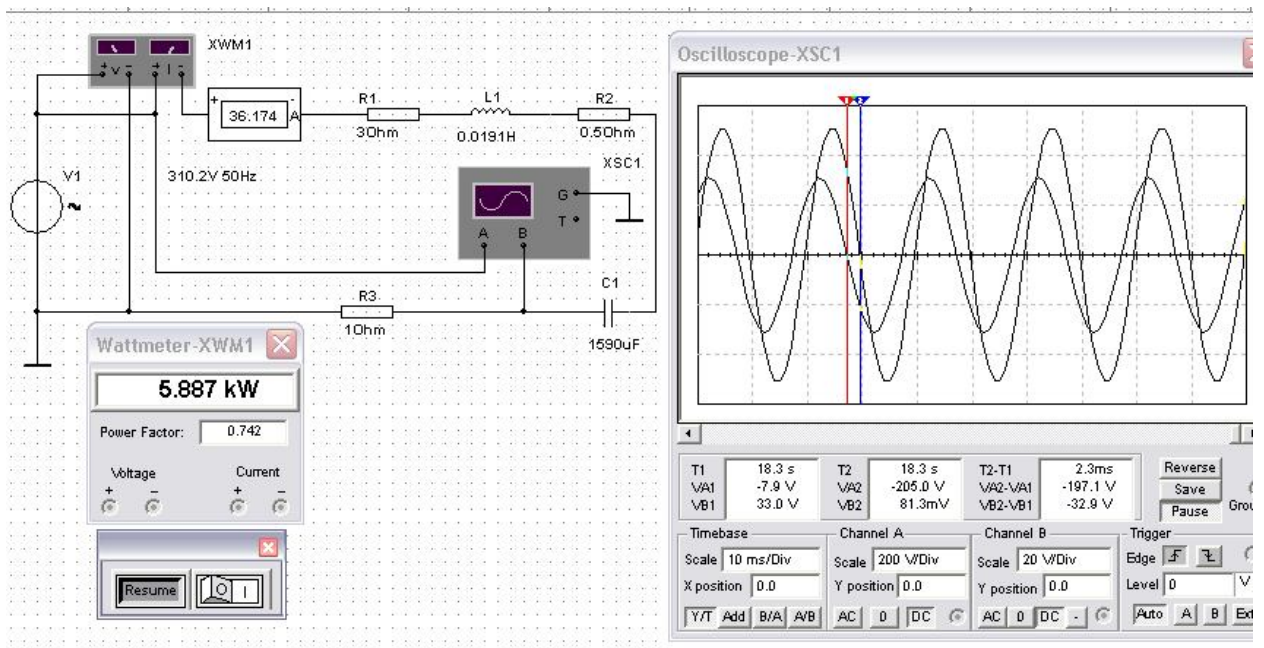


Рис. д.35

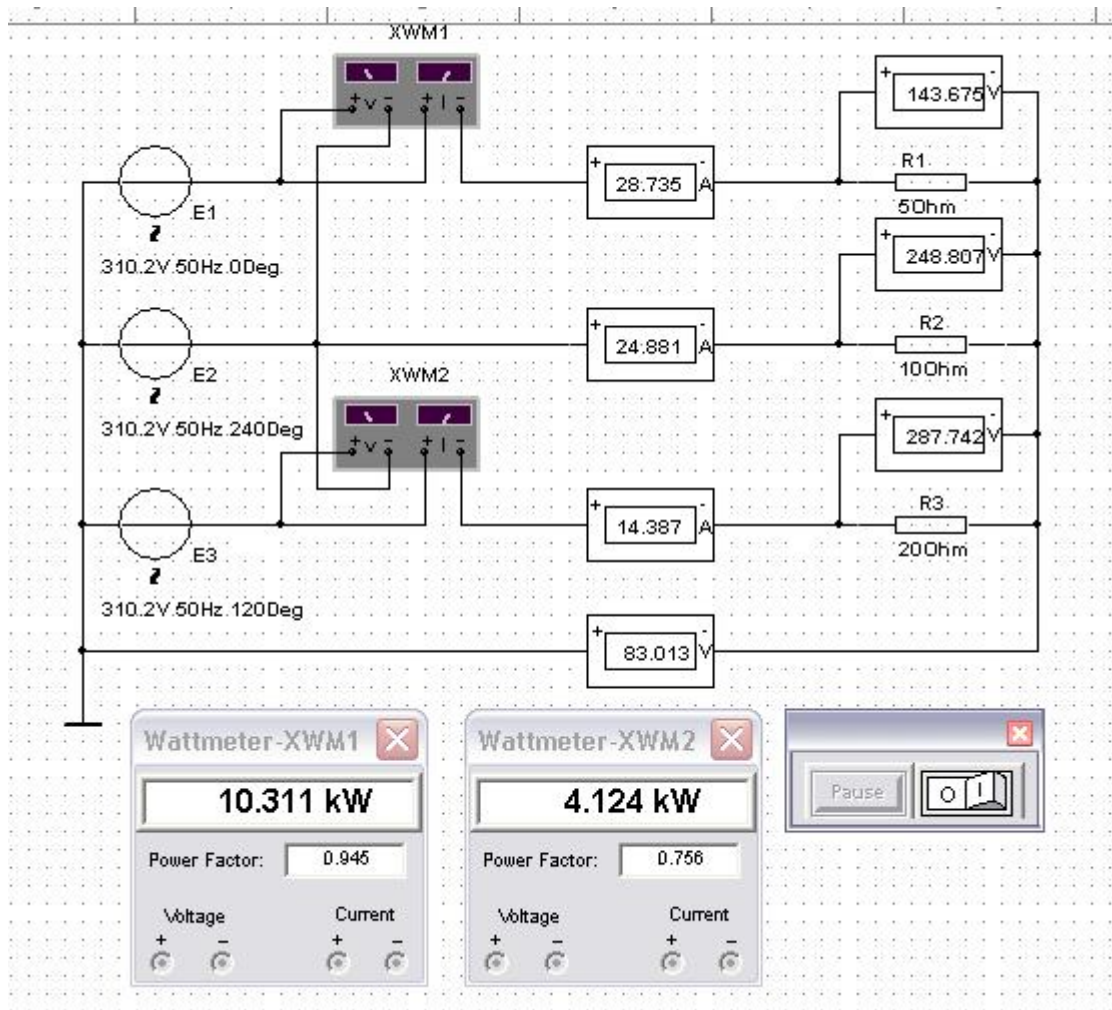


Рис. д.36

Використання двох ватметрів показано на експериментальній моделі дослідження несиметричного трифазного електричного кола без нульового проводу (рис. д.36).

Д.4.3. 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. д.37), 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.

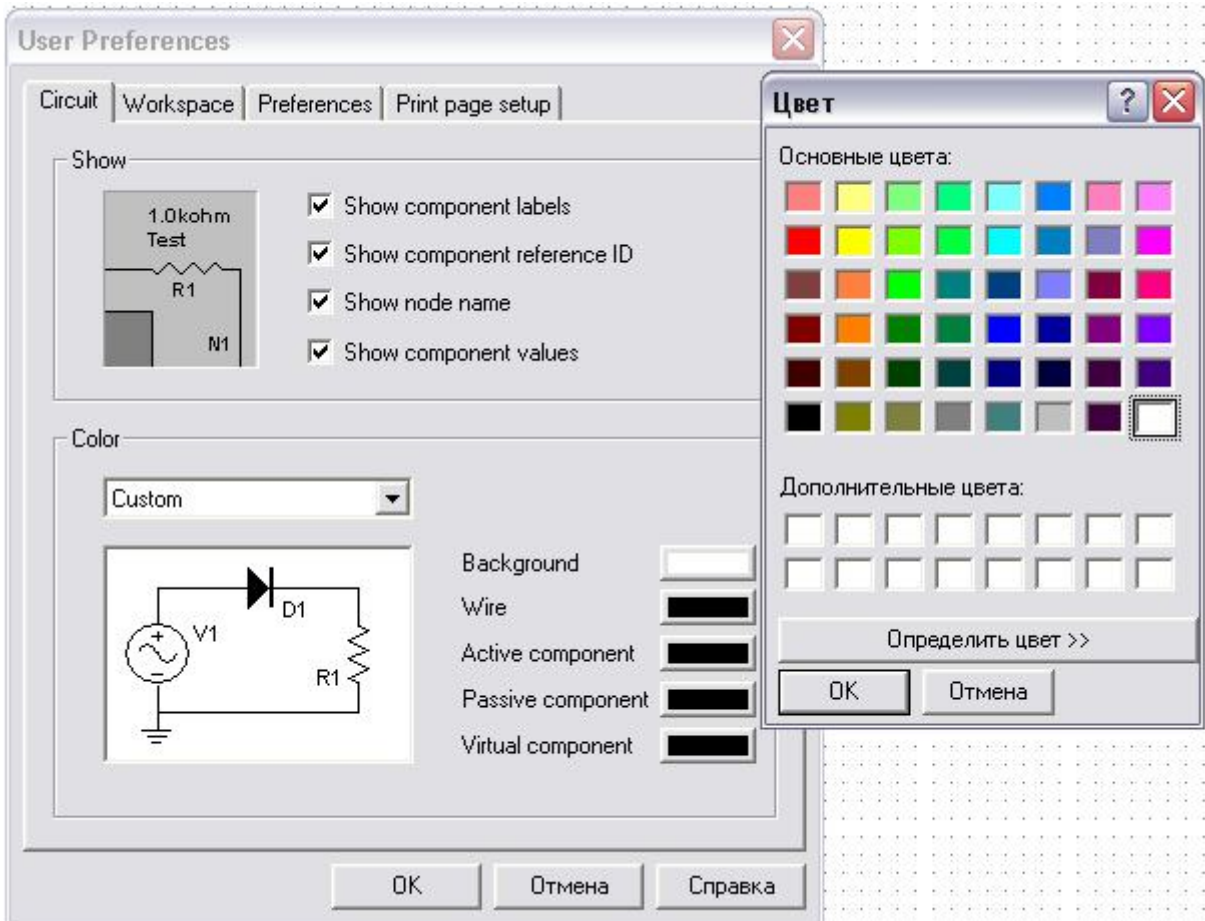









Рис. д.37

Меню *View* містить команди ввімкнення (вимкнення) обслуговуючих функцій програми *Toolbars: System* – кнопок загальносистемного характеру , *Zoom* – зміни масштабу моделей , *Design* – кнопок команд частого 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 частого 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).

Д.5. Контрольні запитання та завдання

Д.5.1. Пояснити можливості бібліотеки електричних і електронних пристроїв програми *EWB*.

Д.5.2. Пояснити технологію побудови експериментальних моделей електричних схем в середовищі *EWB* та установлення параметрів їх компонент.

Д.5.3. Яким чином виміряти величину струму в гілці електричного кола?

Д.5.4. Яким чином виміряти величину падіння напруги на ділянці електричного кола?

Д.5.5. Чому і наскільки відрізняються внутрішні опори вольтметра і амперметра та які їх значення в програмі *EWB*?

Д.5.6. Яким чином вимірюється потужність в електричних колах постійного і змінного струмів в середовищі *EWB*?

Д.5.7. Пояснити, як виміряти постійну напругу за допомогою осцилографа.

Д.5.8. Пояснити, як виміряти амплітуду та частоту синусоїдального сигналу за допомогою осцилографа.

Д.5.9. Як слід налаштувати програму *EWB*, щоб вилучити надписи біля елементів експериментальних моделей, змінити їх шрифт чи колір?

Д.5.10. Яким чином надрукувати для звіту результати дослідження електричних схем в середовищі *EWB* з показами вимірювальних приладів?

Д.5.11. Побудуйте зрозумілу Вам просту електричну схему з вимірювальними приладами струму і напруги, наприклад схему з послідовним з'єднанням джерела постійної напруги $E=100$ В та активного опору $R=10$ Ом і переконайтесь в справедливості показів вимірювальних приладів.

Д.5.12. Замініть джерело постійної напруги джерелом синусоїдальної напруги. Установіть промислову частоту джерела 50 Гц і діюче значення ЕРС $E=100$ В. Режим роботи вимірювальних приладів переведіть із *DC* (режим вимірювання в колах постійного струму) на *AC* (режим вимірювання в колах змінного струму). Переконайтесь в справедливості показів вимірювальних приладів.

Д.5.13. Побудуйте експериментальну модель електричного кола постійного струму, що містить послідовно з'єднані резистори (рис. д.32) з опорами 0,5 кОм, 1 кОм, 2 кОм. Виміряйте падіння напруг на кожному з них,

визначить величину струму, що споживається від джерела постійної напруги $U = 35 \text{ В}$ та переконайтесь в справедливості другого закону Кірхгофа.

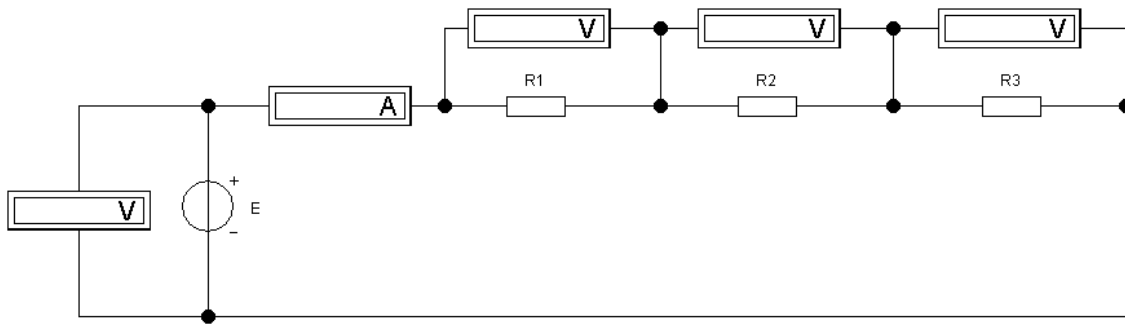


Рис. д.32

Д.5.14. Побудуйте експериментальну модель електричного кола в якому до джерела постійного струму $I=10 \text{ А}$ приєднані паралельно з'єднані резистори (рис. д.33), що мають опори 12 Ом , 50 Ом та 25 Ом . Виміряйте напругу і струм в кожному з них та переконайтесь в справедливості першого закону Кірхгофа.

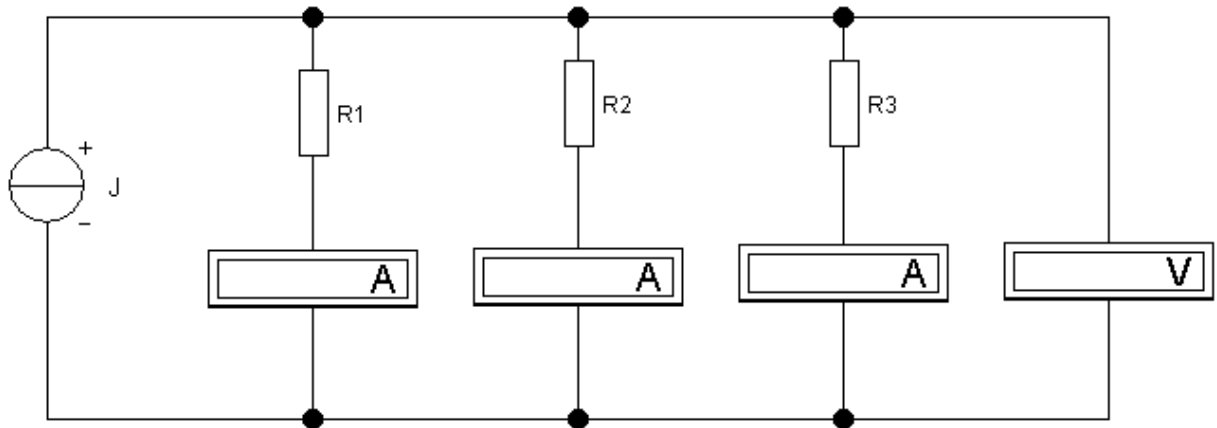


Рис. д.33

Д.5.15. Назвіть основні відмінності програми *EWB* (версія 6.02) відносно програми *EWB* (версія 5.12).