

Ю. О. Сисоєв, Д. Р. Степаненко

**ОСНОВИ РОБОТИ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
ELECTRONICS WORKBENCH**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Ю. О. Сисоєв, Д. Р. Степаненко

**ОСНОВИ РОБОТИ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
ELECTRONICS WORKBENCH**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2025

УДК 004.312.466(076.5)
С40

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. С. С. Добротворський,
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Сорокін

Сисоєв, Ю. О.

С40 Основи роботи в програмному середовищі Electronics Workbench
[Текст] : навч. посіб. / Ю. О. Сисоєв, Д. Р. Степаненко. – Харків : Нац.
аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2025. – 88 с.

ISBN 978-966-662-955-8

Викладено основні відомості про роботу в програмному середовищі Electronics Workbench (EWB). Описано основне робоче вікно програми, команди головного меню, панель компонентів (бібліотеки елементів і приладів) та основні прийоми їх застосування. Детально проаналізовано методи створення електричних схем. Для засвоєння розглянутого матеріалу наведено практичне завдання.

Для здобувачів освіти вищих технічних закладів, які навчаються за всіма спеціальностями, пов'язаними з автоматизацією технологічних процесів.

Іл. 76. Табл. 17. Бібліогр.: 10 назв

УДК 004.312.466(076.5)

ISBN 978-966-662-955-8

© Сисоєв Ю. О., Степаненко Д. Р., 2025
© Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», 2025

ПЕРЕДМОВА

Лабораторні роботи з дисциплін «Основи схемотехніки» призначено для закріплення здобувачами освіти знань, одержаних у лекційному курсі, і набуття навичок експериментального дослідження параметрів і характеристик цифрових елементів і побудованих на їх основі електричних схем. Лабораторні роботи виконуються з використанням програми для моделювання електронних схем *Electronics Workbench (EWB)* розробки фірми *Interactive Image Technologies* (www.interactiv.com). Ця програма характеризується легко засвоюваним інтерфейсом, зручністю в роботі й наявністю контрольних-вимірювальних приладів, які дають змогу краще розуміти процеси в електричних схемах. Лабораторний практикум починається саме з вивчення цього програмного середовища.

Кожна робота містить теоретичні відомості, завдання, варіанти виконання й контрольні запитання, які сприяють більшому розумінню теми лабораторної роботи для її виконання. Звіт про виконання лабораторної роботи кожен здобувач освіти складає окремо і здає викладачу для перевірки й оцінювання роботи.

ВСТУП

Підвищення продуктивності праці, ефективності та якості виробництва в машинобудуванні є неможливим без підвищення рівня автоматизації як виробництва в цілому, так і окремих його систем і пристроїв. Сучасні пристрої автоматизації будуються на основі елементів, принцип дії яких розглядаються в курсах «Основи схемотехніки».

Сучасний технологічний об'єкт являє собою органічне поєднання керувальної системи з устаткуванням, що забезпечує виконання власне технологічного процесу: з верстатом – для реалізації процесу різання металів або електрофізичного оброблення виробів, з роботом – для завантаження й вивантаження деталей, складання, транспортування, упакування виробів і т. ін. Оскільки робота систем керування такого технологічного обладнання відбувається в основному шляхом оброблення інформації, поданої в цифровій (двійковій) формі, їх будують на базі елементів цифрової схемотехніки (електроніки).

Цифрову електроніку сьогодні застосовують майже в будь-якій сфері діяльності людини, починаючи від мобільних телефонів, електронних годинників і холодильників і закінчуючи керуванням безпілотними літаками, ракетами й супутниками. Тому розуміння принципів роботи схем цифрової електроніки й уміння конструювати на базі елементарних схем і пристроїв (логічних елементів, тригерів, компараторів, датчиків тощо) систем керування технологічними об'єктами є необхідними складовими частинами знань і умінь сучасного інженера.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

LED (англ. *Light-emitting diode*) – світлодіод

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ВАХ – вольт-амперна характеристика

ВВП – вторинний вимірювальний перетворювач

ДЖ – джерело живлення

ІМС – інтегральна мікросхема

ОП – операційний підсилювач

ПУВ – пристрій уведення-виведення

ПЗП – постійний запам'ятовувальний пристрій

ППП – пристрій плавного пуску

УГП – умовне графічне позначення

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ЧПК – числове програмне керування

ЛКМ – ліва клавіша миші

ПКМ – права клавіша миші

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Історія створення програми *Electronics Workbench* (далі *EWB*) починається з 1989 р. З того часу її багато разів модифікували. Сьогодні вона входить до пакета програм під назвою *NI Circuit Design Suit*. Попередні версії програми складалися з двох незалежних елементів. З допомогою одного елемента програми можна було моделювати аналогові пристрої, з допомогою другого – цифрові. Такий «роздвоєний» стан створював певні незручності, особливо під час моделювання змішаних аналого-цифрових пристроїв. Тому 1996 року у версії 4.1 ці частини було об'єднано, а через півроку було випущено п'яту версію програми з розширеними можливостями аналізу й переробленої бібліотекою компонентів. Подальшим розвитком *EWB* є програма *EWB Layout*, призначена для розроблення друкованих плат, а також *EWB* версії 6.02. Останні версії *EWB* є відомими під назвою *Multisim*. Однак робота з програмою в останніх версіях ускладнилася, вона втратила простоту і «прозорість» інтерфейсу. У цьому посібнику наведено відомості про версію *EWB* 5.12, яка має простий і зрозумілий інтерфейс.

Програма *EWB* сьогодні є однією з найбільш зручних і доступних для моделювання й аналізу електричних та електронних схем. Її переваги полягають у тому, що від користувача не потрібно спеціальної підготовки, поглиблених знань з інформатики й програмування, а сам процес моделювання дуже нагадує реальний експеримент. При цьому експериментатор з допомогою миші й клавіатури виконує звичні операції, а саме: збирає схему з окремих компонентів, установлює їх параметри в робочому діапазоні, під'єднує необхідні вимірювальні прилади й реєструє результати вимірювань.

Така віртуальна лабораторія має дуже великі можливості під час експериментального дослідження різних схем з двох основних причин:

- тут виключаються аварійні позаштатні ситуації (перенапруження, перевантаження, короткі замикання), що виникають на реальному устаткуванні й призводять до виходу елементів з ладу;
- за набором різних електронних компонентів, вимірювальних приладів і діапазону їх змінення віртуальна лабораторія набагато перевершує

реальну, тобто є істотна економія в матеріальних ресурсах і витратах часу на дослідження.

Програма *EWB* дає змогу проводити дослідження електричних і електронних схем з джерелами постійного й змінного струмів у статичному (установленому) режимі, а також у перехідному режимі під час впливу сигналів довільної форми. При цьому доступними є такі прийоми й операції:

- вибір електронних компонентів і вимірювальних приладів з відповідних бібліотек;
- виокремлення елементів та об'єктів;
- змінення параметрів елементів у широкому діапазоні;
- переміщення елементів у робочому полі, їх поворот на кути, кратні 90°;
- установлення й видалення об'єктів;
- з'єднання елементів провідниками;
- підімкнення вимірювальних і реєструвальних приладів для визначення напруг, струмів та інших параметрів досліджуваної схеми;
- копіювання об'єктів;
- змінення кольору провідників і досліджуваних характеристик електричних ланцюгів на екрані осцилографа;
- створення субблоків.

Додаткові засоби аналізу ланцюгів виконано в типовому для всієї програми підході – мінімум зусиль з боку користувача.

Програма *EWB* має послідовність знизу вверху, тобто всі схеми, створені в ранніх версіях, можна промодельовувати у версії 5.12. Крім того, *EWB* дає змогу також моделювати пристрої, для яких завдання на моделювання підготовлено в текстовому форматі *SPICE*, чим забезпечується сумісність із програмами *Micso-Cap* і *PSpice*.

Загрузити програму *Electronics Workbench* версії 5.12 можна із сайту компанії *Electronics Workbench* <https://electronicworkbenchewb.com/> [1].

Системні вимоги для завантаження й установлення *EWB* 5.12 є такими:

- операційна система – *Windows 7* або вище;
- процесор – 1 ГГц;
- оперативна пам'ять – 2 ГБ або більше;
- місце на жорсткому диску – 10 ГБ вільного місця.

Під'єднання до інтернету є необхідним для завантаження й оновлення програмного забезпечення.

Отже, *EWB 5.12* – це цінний інструмент для всіх, хто цікавиться електронікою. Плавне злиття складних функцій моделювання з інтуїтивно зрозумілим дизайном робить його гнучкою платформою, придатною для широкого кола користувачів. Сумісність *EWB* з *Windows* гарантує доступність для всіх користувачів: від новачків, які вивчають основи, до експертів, що досліджують межі електронного проектування.

EWB 5.12 не тільки робить проектування схем менш складним, а й заохочує до навчання й творчості у співтоваристві. Електронне проектування стане простим і динамічним у майбутньому завдяки великій бібліотеці *EWB*, симуляціям у реальному часі й упровадженню інновацій. Це більше, ніж просто програмне забезпечення, це – засіб заохочення до творчості й розширення сфери технологічних можливостей.

Особливо перспективним є застосування програми *EWB* при автоматизації різних технологічних об'єктів, оскільки дає змогу моделювати різні, досить складні електричні, схемотехнічні й радіоелектронні схеми, які є невід'ємною частиною майже кожного автоматизованого технологічного процесу. При цьому суттєво зменшується час на розроблення й налаштування нових схем автоматизації.

Інженер-розробник нових пристроїв автоматизації завдяки наявності сучасних вимірювальних пристроїв і пристроїв аналізу у цій програмі, які є не в кожній лабораторії, має можливість досить швидко розробляти й тестувати сучасні пристрої для автоматизації технологічних процесів майже в кожній галузі народного господарства України.

2. ІНТЕРФЕЙС ПРОГРАМИ ELECTRONICS WORKBENCH

2.1. Основне робоче вікно програми

Після запуску *EWB* на екрані монітора з'являється зображення основного робочого вікна програми, показано на рис. 2.1.

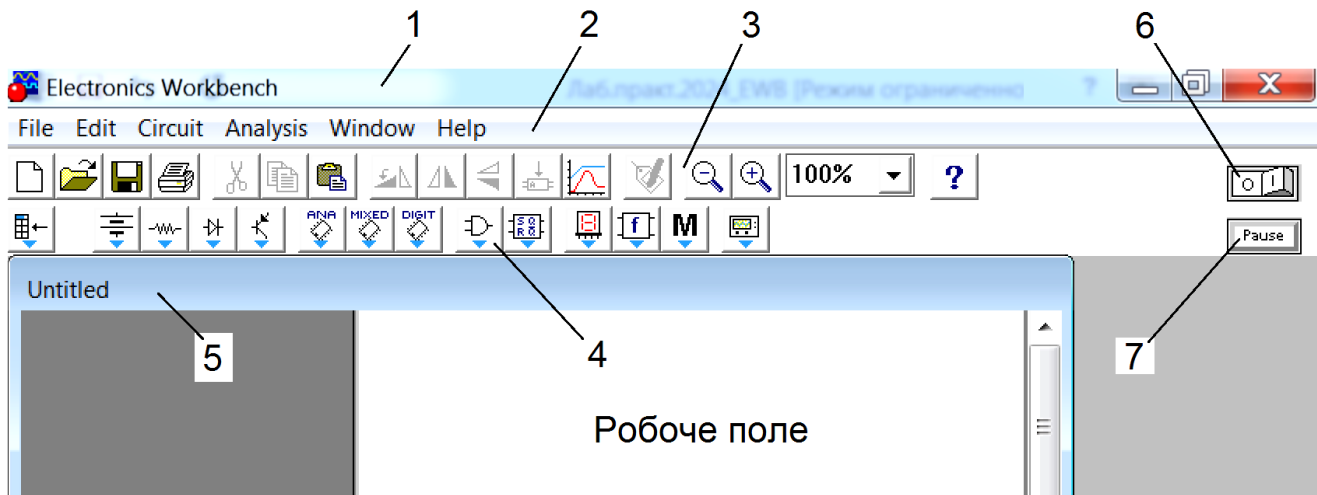


Рис. 2.1. Вікно програми *EWB* 5.12: 1 – рядок заголовка; 2 – рядок з пунктами головного меню; 3 – стандартна панель інструментів; 4 – панель компонентів (бібліотека елементів і приладів); 5 – рядок з ім'ям файлу, який зображено в робочому полі; 6 – кнопка, яка здійснює запуск моделювання; 7 – кнопка, яка здійснює запуск і зупинення моделювання

У верхній частині робочого вікна системи видно п'ять характерних панелей:

1 – рядок заголовка, тобто рядок з ім'ям системи (*Electronic Workbench*);

2 – командний рядок, тобто рядок з пунктами головного меню, який відкриває доступ до підменю з різними командами (після клікання мишею по будь-якому пункту головного меню на екрані з'являється відповідне випадне меню);

3 – стандартна панель інструментів, тобто панель з кнопками, які забезпечують швидкі виконання найбільш важливих команд під час роботи з програмним середовищем;

4 – панель компонентів, тобто бібліотека елементів і приладів;

5 – рядок імені, тобто рядок з ім'ям файлу, у якому розташовується схема досліджуваного електричного кола, що відображається в робочому полі основного робочого вікна програми.

У правому верхньому куті основного вікна програми розміщено кнопку 6, яка запускає моделювання (початок аналізу), і кнопка 7, що зупиняє моделювання.

Лінійки прокручування використовують тільки для переміщення схеми. Призначення кожної з кнопок (іконок) меню пояснює спливна підказка при наведенні на неї курсора.

Робоче поле (вікно схеми) розташовано в центральній основній області вікна програми. У цьому вікні, використовуючи радіоеlementи і з'єднувальні проводи, створюють і редагують електричні ланцюги.

Особливість програми *EWB* полягає в будівництві й дослідженні кола з допомогою миші комп'ютера. Клавіатуру призначено для набору тексту, введення чисел і швидкого виклику команд. Програма *EWB* є складним продуктом з великою кількістю встановлених параметрів і режимів роботи. Після звичайної інсталяції більшість параметрів та опцій програми *EWB* встановлено за замовчуванням так, що забезпечується можливість дослідження більшості типових електронних пристроїв.

2.2. Команди головного меню

Розглянемо основні команди головного меню програми *EWB*, які є необхідними для проведення віртуального лабораторного практикуму.

2.2.1. Меню *File*

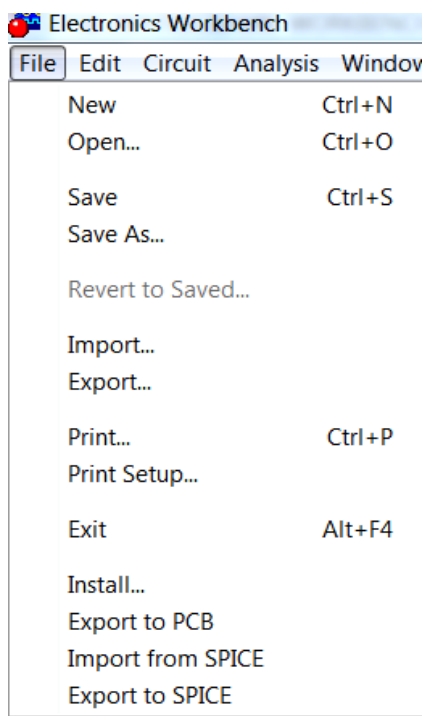


Рис. 2.2. Команди меню *File*

Меню *File* призначено для завантаження й записування файлів, отримання твердої копії вибраних для друку складових схеми, а також для імпорту/експорту файлів у форматах інших систем моделювання. Відкрите меню зображено на рис. 2.2.

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

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

3. *Print ...* (*CTRL + P*) – вибір даних для виведення на принтер:

– *Schematic* – схеми (опція, увімкнення

за замовчуванням);

– *Description* – описи до схеми;

– *Part list* – перелік документів, що виводяться на принтер;

- *Model list* – список наявних у схемі компонентів;
- *Instruments* – список приладів. У цьому ж підменю можна вибрати опції друку (кнопка *Setup*) і відправити матеріал на принтер (кнопка *Print*). У програмі передбачено також можливість змінення масштабу виведених на принтер даних у межах від 20 до 500 %.

4. *Print Setup...* – налаштування принтера.

5. *Exit (ALT+ F4)* – вихід з програми.

6. *Install...* – установлення додаткових програм з гнучких дисків.

7. *Import/Export* здійснює обмін даними з програмою розроблення друкованих плат *EWB Layout*:

- *Export to PCB* – складання списків з'єднань схеми у форматі *OrCAD* та інших програм розроблення друкованих плат;

- *Import from SPICE* – імпорт текстових файлів опису схеми й завдання на моделювання у форматі *SPICE* (з розширенням *.cir*) і автоматичне будування схеми за її текстовим описом;

- *Export to SPICE* – складання текстового опису схеми й завдання на моделювання у форматі *SPICE*.

2.2.2. Меню Edit

Меню *Edit* (рис. 2.3) дає змогу виконувати команди редагування схем і копіювання екрана.

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

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

3. *Paste (CTRL+ V)* – вставлення вмісту буфера обміну в робоче поле програми.

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

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

6. *Copy as Bitmap* – вставлення вмісту буфера обміну в робоче поле програми.

Edit	Circuit	Analysis	Window
Cut			Ctrl+X
Copy			Ctrl+C
Paste			Ctrl+V
Delete			Del
Select All			Ctrl+A
Copy as Bitmap			
Show Clipboard			

Рис. 2.3. Команди меню *Edit*

Оскільки в *EWB* немає можливості поміщати імпортоване зображення схеми або її фрагмента в точно вказане місце, то безпосередньо після вставлення, коли зображення ще є виділеним червоним кольором і може виявитися накладеним на створювану схему, його можна перемістити в потрібне місце клавішами курсора або мишею.

Таким же чином переміщують і попередньо виділені фрагменти вже наявної на робочому полі схеми. Команда перетворює курсор миші на хрестик, яким за правилом прямокутника можна виділити потрібну частину екрана, після відпускання ЛКМ виділена частина копіюється в буфер обміну, після чого його вміст можна імпортувати в будь-який додаток *Windows*. Копіювання всього екрана здійснюється натисканням клавіші *Print Screen*: копіювання активної в цей момент частини екрана, наприклад діалогового вікна – комбінацією *Alt + Print Screen*. Команда є зручною під час підготовки звітів із моделювання, наприклад, під час оформлення лабораторних робіт.

7. *Show Clipboard* – показати вміст буфера обміну.

2.2.3. Меню *Circuit*

Меню *Circuit* (рис. 2.4) використовується під час підготовки схем, а також для задання параметрів моделювання.

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

2. Описана команда доповнюється ще двома, які прискорюють орієнтацію компонентів схеми:

– *Flip Horizontal* – дзеркальне відображення компонента по горизонталі;

– *Flip Vertical* – дзеркальне відображення компонента по вертикалі.

Команди *Rotate*, *Flip Horizontal* і *Flip Vertical* можна виконати також

натисканням відповідних кнопок  на стандартній панелі інструментів

3. Команда *Component Properties* (властивості компонента) меню *Circuit* на практиці зазвичай виконується з допомогою подвійного клікання по компоненту або натисканням кнопки. Цю команду можна також виклика-



ти з діалогового меню , натиснувши праву кнопку миші (ПКМ) на попередньо виділеному компоненті. Під час виконання команди відкривається діалогове вікно (рис. 2.5) з декількох закладок. На закладці *Label* у рядку *Reference ID* наводиться позиційне позначення компонента, яке буде використовуватися надалі під час виконання команд меню *Analysis*, наприклад: *R1* – для резистора, *C5* – для конденсаторів, *V2* – для джерела синхросигналу *Clock* (див. рис. 2.5) тощо. Якщо необхідно зсунути позначення праворуч, то слід увести необхідну кількість пробілів (але не більше 14 символів у рядку).

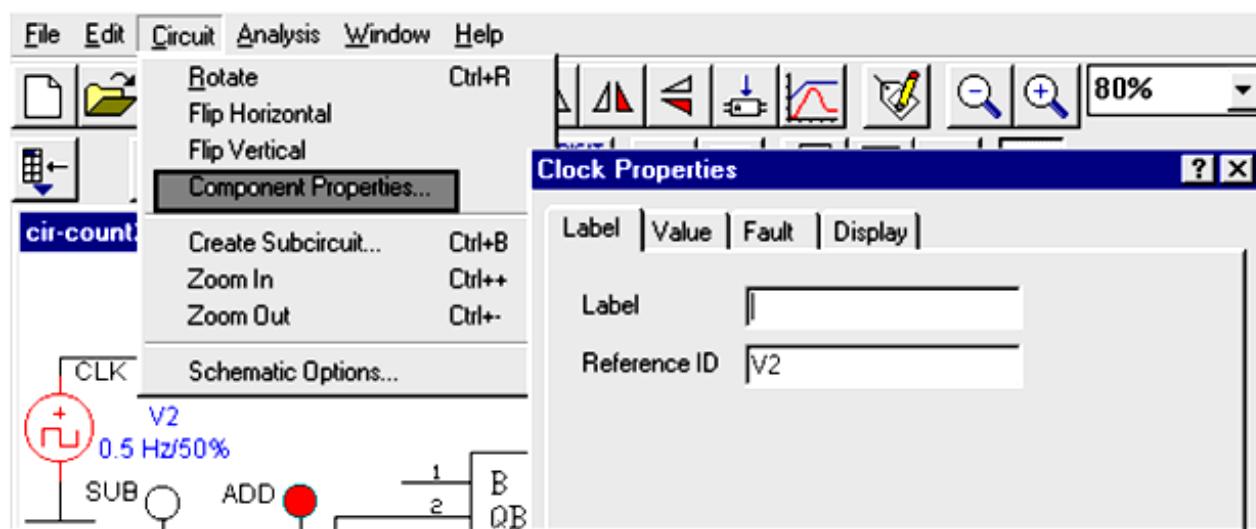


Рис. 2.5. Діалогове вікно команди *Component Properties* (зкладка *Label*) для генератора синхросигналів *Clock*

У діалоговому вікні команди закладки *Value* (рис. 2.6) задаються номінальні параметри компонента, наприклад: для генератора *Clock* частота (*Frequency*) – 0,5 Hz, коефіцієнти заповнення (відношення додатної частини сигналу до періоду генерації – *Duty cycle*) – 50 %, амплітуда (*Voltage*) – 5 V; для резистора задаються номінальний опір компонента (резистора), значення лінійного (*TC1*) і квадратичного (*TC2*) температурних коефіцієнтів опору.

Дійсний опір резистора визначається формулою

$$R_d = R[1 + TC1(T - T_n) + TC2(T - T_n)^2],$$

де *R* – номінальний опір резистора;

T_n – номінальна температура, *T_n* = 27 °C;

T – поточне значення температури резистора.

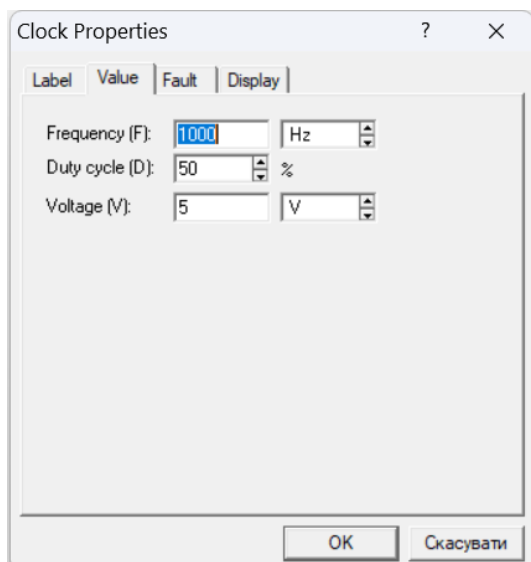


Рис. 2.6. Діалогове вікно команди *Component Properties* (зкладка *Value*) для генератора синхросигналів *Clock*

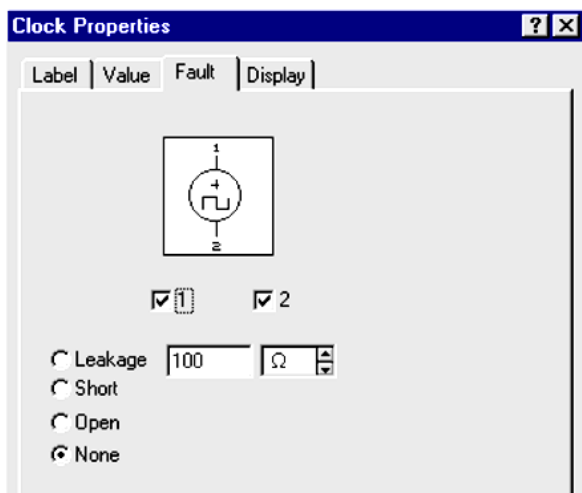


Рис. 2.7. Діалогове вікно команди *Component Properties* (зкладка *Fault*)

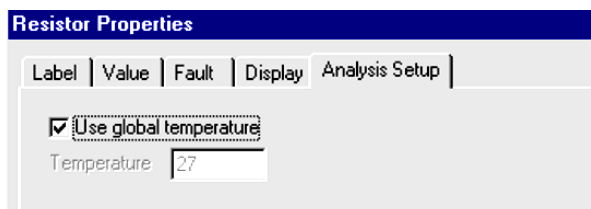


Рис. 2.8. Діалогове вікно команди *Component Properties* (зкладка *Analysis Setup*)

Вибираючи закладку *Fault* (дефект, несправність) (рис. 2.7), задають умови моделювання для цього компонента у вигляді набору опцій на кожне виведення, що дає змогу вибірково імітувати ту або іншу несправність: *Leakage* – опір утрат; *Short* – коротке замикання; *Open* – обрив; *None* – несправності немає (увімкнено за замовчуванням). Наприклад, якщо необхідно імітувати порушення контакту виводу 1 генератора *Clock*, то в цьому випадку вмикають опції 1 і *Open*.

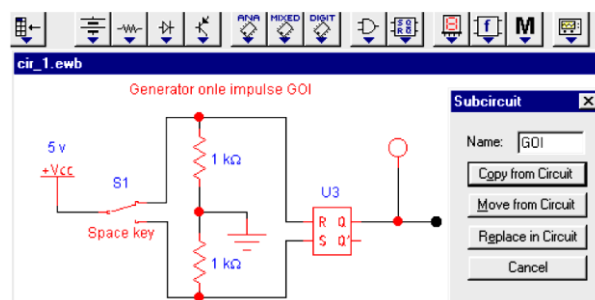
Діалогове вікно під час вибору закладки *Display* використовується для задання характеру виведення на екран позначень компонента. Під час вибору опції *Use Schematic Options global setting*, використовують установки, узяті для всієї схеми, в іншому випадку – індивідуальне налаштування виведення на екран позиційного позначення (*Show reference ID*), номінального значення (*Show values*) для кожного компонента. Деякі компоненти (наприклад, резистори) мають діалогове вікно для закладки *Analysis Setup* (рис. 2.8), що дає змогу встановити температуру для кожного компонента індивідуально або використовувати її номінальне значення, узяті для всієї схеми (*Use global temperature*).

Create Subcircuit... (CTRL+B) – перетворення попередньо виділеної частини схеми на підсхему. Виділювану частину схеми (рис. 2.9, а) має бути розташовано так, щоб у виділену область не потрапили провідники й компоненти, які до неї не належать. Унаслідок виконання команди відкри-

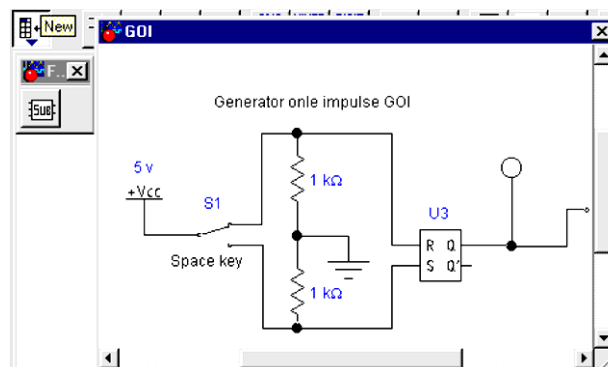
вається діалогове вікно, у рядку *Name* якого вводять ім'я підсхеми, після чого можливими є такі варіанти:

- *Copy from Circuit* – підсхема копіюється з указаною назвою в бібліотеку *Favorites* без унесення змін у вихідну схему (рис. 2.9, б);
- *Move from Circuit* – виділена частина вирізається із загальної схеми й у вигляді підсхеми з присвоєним їй ім'ям копіюється в бібліотеку *Favorites*;
- *Replace in Circuit* – виділену частину замінюють у вихідній схемі підсхемою з присвоєним їй ім'ям з одночасним копіюванням її в бібліотеку *Favorites*.

Для перегляду або редагування підсхеми необхідно двічі клацнути мишею по її значку. Підсхему редагують за загальними правилами редагування схем. Під час створення додаткового виводу підсхеми необхідно з відповідної точки підсхеми курсором миші протягнути провідник до краю вікна підсхеми до появи незафарбованої прямокутної контактної області, після чого відпустити ЛКМ. Для видалення виводу необхідно курсором миші схопити за його прямокутну ділянку біля краю вікна підсхеми і винести її за межі вікна. Проте введення в підсхему «землі» не завжди є доцільним, оскільки при великій кількості таких підсхем сповільнюється моделювання основної схеми.



а



б

Рис. 2.9. Створення підсхеми:

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

Команди масштабування схеми: збільшення (див. рис. 2.4) **Zoom In** і зменшення **Zoom Out** із зазначенням масштабу в діапазоні 50...200 %. Ці команди можна виконати також з допомогою мнемонічних засобів зі стандартним позначенням .

Команда *Schematic Options* (схематичні опції) (див. рис. 2.4) установлює опції, що визначають зображення досліджуваної схеми на робочому столі *Workbench*, ураховуючи її текстове оформлення. Після виконання команди виникає діалогове вікно з декількома вкладками (рис. 2.10).

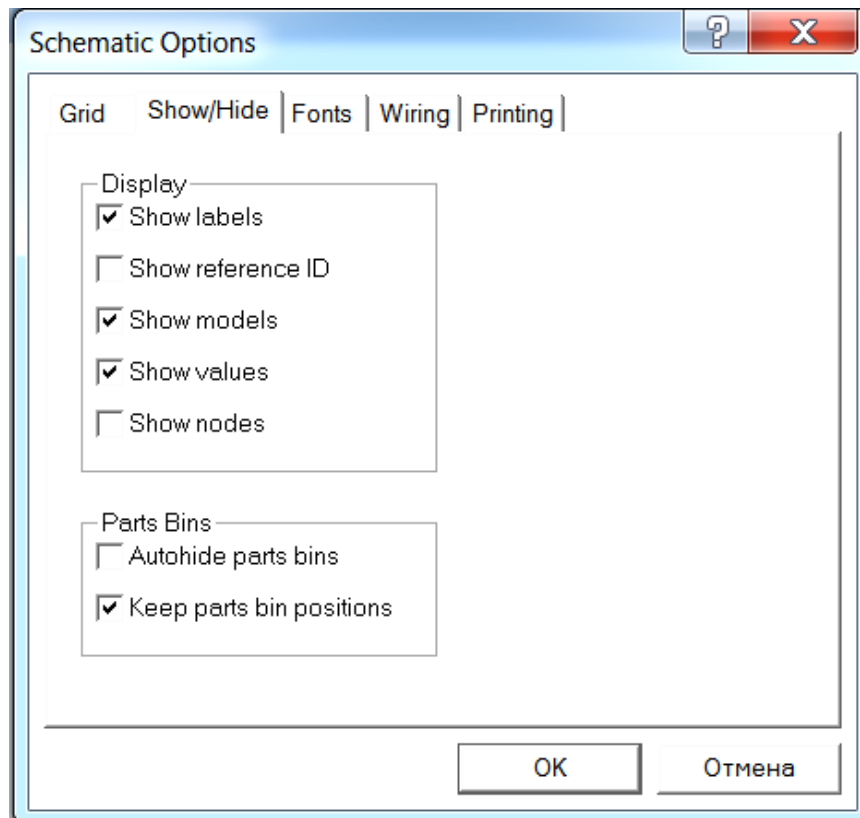


Рис. 2.10. Опції команди *Schematic Options* (увімкнено закладку *Show/Hide*)

Зкладка *Grid* (Сітка) містить опцію *Show grid* (показувати сітку) для зручності створення схеми (за замовчуванням ця опція є вимкненою, інші – увімкненими), яка є активною тільки при ввімкненій опції *Use grid* (використовувати сітку). На жаль, розміщення компонентів схеми і прокладання її провідників відбувається без їх прив'язки до вузлів сітки.

Зкладка *Show/Hide* (показати/сховати) містить такі опції:

- *Show labels* – показувати позиційні позначення компонентів, наприклад *R1*, *R2* для резисторів (опція є активною при ввімкненій опції *Show reference ID*);
- *Show models* – показувати імена моделей компонентів, наприклад типів транзисторів;

– *Show values* – показувати номінали компонентів, наприклад опори резисторів;

– *Show nodes* – показувати нумерацію вузлів або точок з'єднання провідників;

– *Autohide part bins* – за замовчуванням не показувати склад бібліотеки компонентів, що використовується в цій схемі;

– *Keep parts bin positions* – зберігати положення використовуваної бібліотеки компонентів на екрані під час оформлення схеми. Зазвичай вибір нової бібліотеки компонентів призводить до накладення на попередню, що не дає змоги користуватись компонентами; для збереження на екрані відразу декількох бібліотек їх необхідно рознести по екрану, у такому разі їх розташування під час вибору нової бібліотеки залишиться незмінним.

Вибираючи закладку *Fonts*, можна встановити тип (*Font name*) і розмір (*Font size*) шрифту роздільно для позначення компонента (кнопка *Set label font*) і номінального значення його параметра (кнопка *Set value font*). Як приклад на рис. 2.11 показано вікно установлення типу й розміру шрифту позначення компонентів.

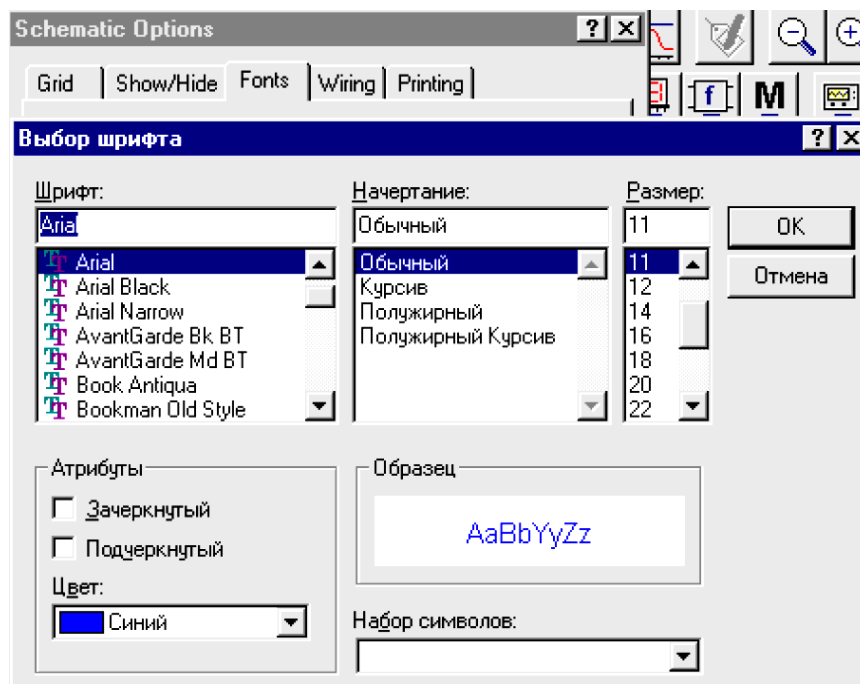


Рис. 2.11. Вікно команди *Schematic Options*, закладка *Fonts*

Опції закладки *Wiring*, показаної на рис. 2.12, визначають:

– принцип прокладення провідників на схемі та організацію їх взаємних з'єднань (*Routing options*);

– видалення провідників (*Rewiring options*) і з'єднань (*Auto-delete connectors*) (автоматичне видалення невикористовуваних з'єднань, які, наприклад, дублюють один одного).

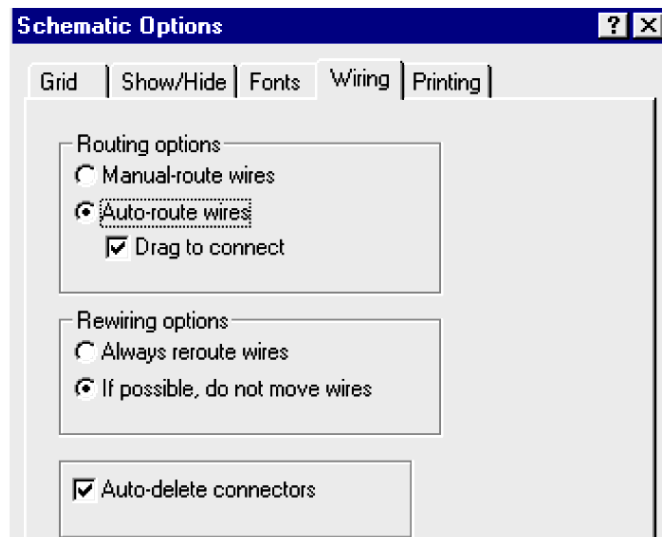


Рис. 2.12. Вікно команди *Schematic Options*, закладка *Wiring*

У закладці *Printing* установлюється масштабування виведеної на принтер інформації, а також характер формування сторінок для друку:

- *Use visual page breaks for main workspace* – візуальне розмежування на сторінки всієї схеми робочого простору;
- *Use visual page breaks for subcircuits* – візуальне призначення сторінки для підсхем.

2.2.4. Меню *Analysis*

Команди меню *Analysis* визначають характер і вид моделювання досліджуваної схеми в програмі *EWB*.

У загальному вигляді процес моделювання в програмі зводиться до такого:

- 1) після запуску моделювання дані схеми, що моделюється, зчитуються програмою (з екрана монітора);
- 2) компоненти замінюються їх математичними моделями й складається система лінійних, нелінійних або диференціальних рівнянь за методом, який є аналогічним методу вузлових потенціалів;
- 3) система рівнянь (матриця) перетворюється на дві трикутні: нижнього й верхнього рівнів (на зразок методу послідовного виключення змінних Гаусса);
- 4) для знаходження коренів (потенціалів V_1 у кожній ноді) використовується метод Ньютона – Рафсона, який реалізує формулу

$$V_{n+1} = V_n - F(V_n)/F'(V_n),$$

де V_{n+1} , V_n – значення потенціалів в i -й точці схеми на поточному й попередньому кроках ітерації;

$F(V_n)$, $F'(V_n)$ – відповідна функція від V та її похідна.

Ноди – це точки з'єднання виводів двох і більше компонентів [2].

У меню *Analysis* (рис. 2.13), перші три команди є такими:

- *Activate* (CTRL + G) – запуск моделювання;
- *Pause* (F9) – переривання моделювання;
- *Stop* (CTRL + T) – зупинення моделювання.

Їх призначено для керування моделюванням і продубльовано спеціальною кнопкою, розташованою в правому верхньому куті екрана. Стан кнопки змінюється клацанням ЛКМ. Відповідність між станом кнопки і командами меню зображено на рис. 2.14.

При ввімкненні команди *Pause* відбувається переривання моделювання. Його поновлення здійснюється клацанням по затемненій панелі *Resume*, при цьому кнопка переходить у стан, що відповідає процесу моделювання, а на панелі виникає напис *Pause*. Хід дійсного часу моделювання відображається в рядку стану в нижній частині екрана програми. Перервати моделювання можна черговим клацанням миші.

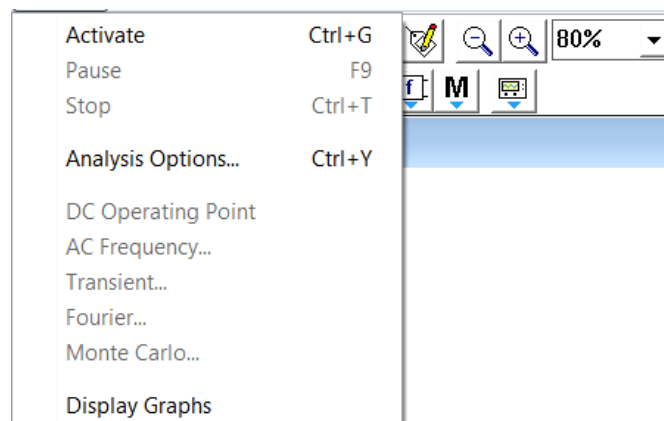


Рис. 2.13. Команди меню *Analysis*

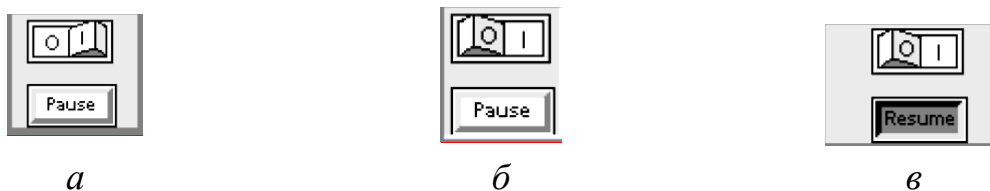


Рис. 2.14. Керування моделюванням з допомогою кнопки на інструментальній панелі *EWB*: а – команда *Stop*; б – команда *Activate*; в – команда *Pause*

Команда *Analysis Options* (Ctrl + Y) забезпечує вибір режимів моделювання в діалоговому вікні з установленням опцій, зображених на рис. 2.15.

З допомогою вкладки *Global* команди *Analysis Options* забезпечується налаштування загального значення, параметри якого мають таке призначення:

- *ABSTROL* – абсолютна помилка розрахунку струмів. Якщо струми в схемі, яка моделюється, є істотно більшими за вказане значення ($1e-12$), то з метою підвищення швидкодії значення *ABSTROL* доцільно збільшити з урахуванням необхідної похибки розрахунку (наприклад, розрядності мультиметра);

- *GMIN* – мінімальна провідність гілки кола. Указане значення ($1e-12$) змінювати не рекомендується. Підвищення *GMIN* позитивно позначається на збіжності рішення при одночасному зниженні точності моделювання. Цей параметр використовується для під'єднання додаткового *Gmin stepping* алгоритму;

- *PIVREL*, *PIVTOL* – відносна й абсолютна величини елемента рядка матриці вузлових провідностей для його виокремлення як провідного елемента. Уведення такого елемента згідно з методом Гаусса дає змогу підвищити точність проміжних обчислень і відповідно зменшити загальну кількість ітерацій. Установлені за замовчуванням значення параметрів змінювати не рекомендується;

- *RELTOL* – відносна похибка моделювання, що впливає на збіжність рішення та швидкість моделювання. Допустимі значення становлять від 10^2 до 10^6 ;

- *TEMP* – температура, за якої провадиться моделювання;

- *VNTOL* – абсолютна помилка розрахунку напруги;

- *CHGTOL* – абсолютна помилка розрахунку зарядів. Установлені за замовчуванням значення параметрів змінювати не рекомендується;

- *RAMPTIME* – початкова точка відліку часу при здійсненні аналізу перехідних процесів;

- *CONVSTEP*, *CONVABSSTEP* – відносний та абсолютний розміри автоматично контрольованого кроку ітерацій під час розрахунку режиму за постійним струмом;

- *CONVLIMIT* – увімкнення або вимкнення додаткових засобів, які вбудовано в моделі деяких компонентів, для забезпечення збіжності ітераційного процесу.

- *RSHUNT* – опір витоку для всіх нод відносно загальної шини (заземлення). При повідомленнях про помилки *No DC path to ground* (погане заземлення кола) та *Matrix is nearly singular* (матриці є дуже близькими, матриці L - та U_p -рівней) значення параметра знаходиться в межах $10^6 \dots 10^9$ Ом;

- *Temporary* – місткість дискової пам'яті для зберігання тимчасових файлів (у мегабайтах). Для складних кіл значення параметра збільшується.

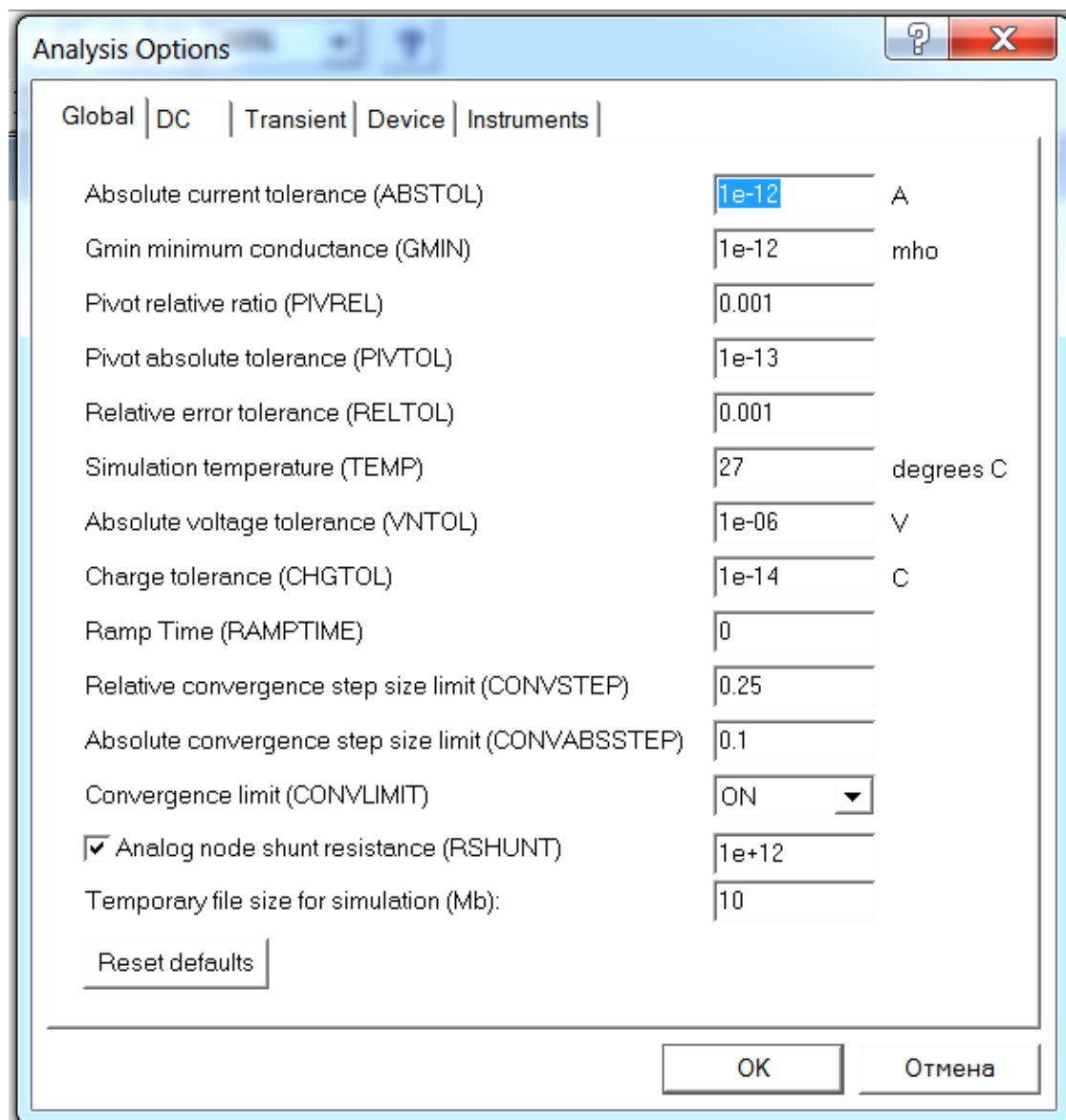


Рис. 2.15. Вікно команди *Analysis Options*

Кнопку *Reset defaults* призначено для установлення значень параметрів за замовчуванням. Її використовують, якщо після редагування необхідно повернутися до початкових даних.

З допомогою вкладки *DC* команди *Analysis Options* забезпечується налаштування для розрахунку режиму за постійним струмом (статичний режим) з допомогою діалогового вікна (рис. 2.16), параметри якого мають такі призначення:

- *ITL1* – максимальна кількість ітерацій приблизних розрахунків;
- *GMINSTEPS* – підвищення провідності у відсотках від *GMIN* (використовується за умови слабкої збіжності ітераційного процесу);
- *SRCSTEPS* – збільшення напруги живлення у відсотках від його номінального значення під час варіації напруги живлення (використовується за умови слабкої збіжності ітераційного процесу).

З допомогою вкладки *Transient* команди *Analysis Options* налаштовують параметри режиму аналізу перехідних процесів (рис. 2.17).

Параметри цієї вкладки мають таке призначення:

- *ITL4* – максимальна кількість ітерацій для розрахунку однієї точки перехідних процесів;
- *METHOD* – метод приблизного інтегрування системи диференціальних рівнянь;
- *TRAPEZOIDAL* – метод Ейлера;
- *GEAR* – метод Гіра;
- *TRTOL* – константа, яка дає змогу визначати точність розрахунків;
- *ACCT* – дозвіл на виведення повідомлення про процес моделювання.

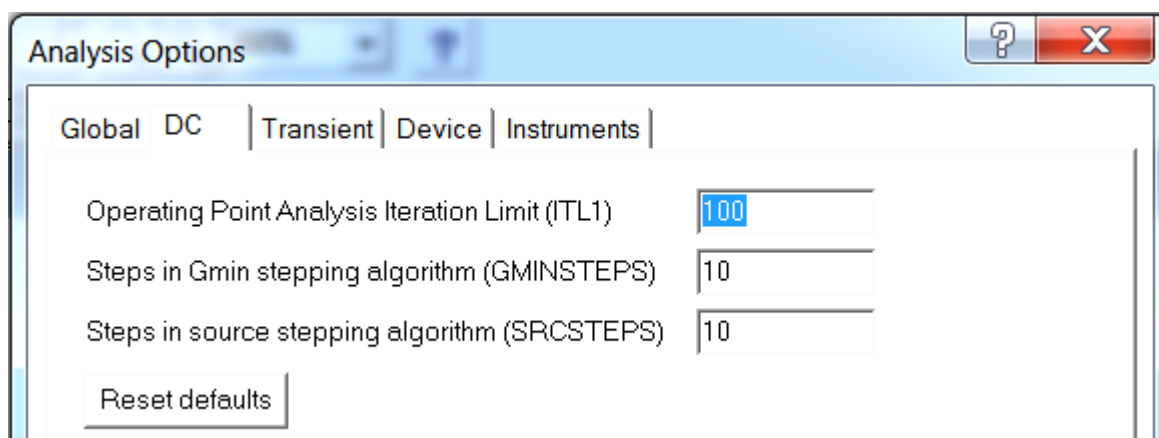


Рис. 2.16. Вікно команди *Analysis Options*, закладка *DC*

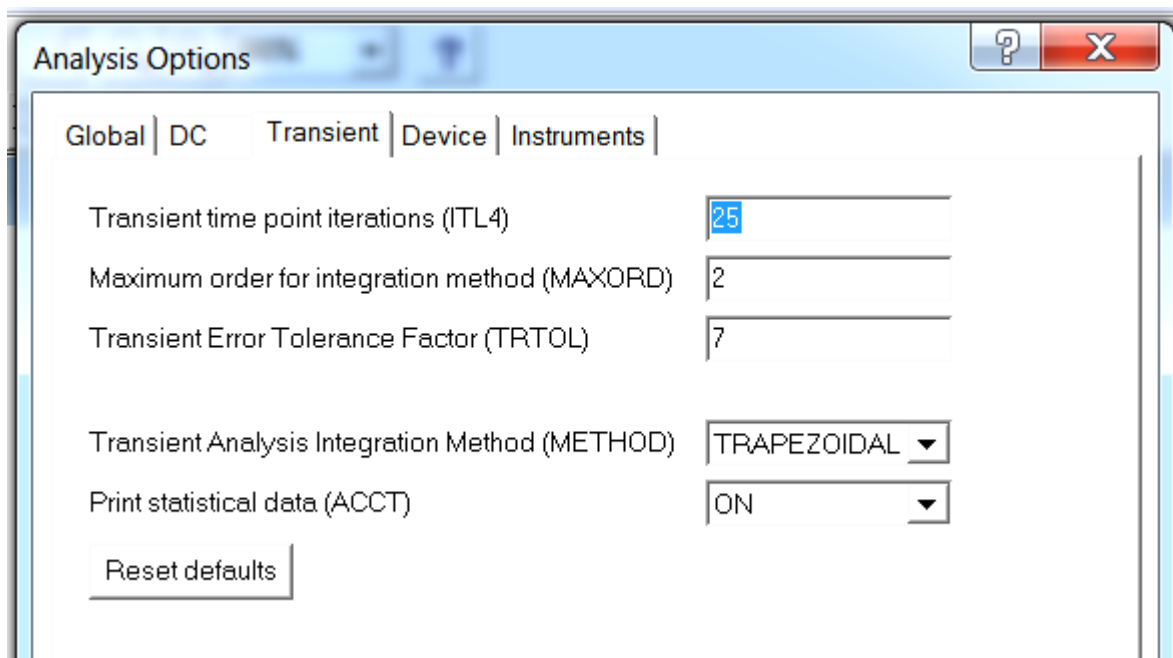


Рис. 2.17. Вікно команди *Analysis Options*, закладка *Transient*

Вкладка *Device* команди *Analysis Options* (рис. 2.18) дає змогу вибрати характеристики МОП-транзисторів.

Параметри цієї вкладки мають такі призначення:

- *DEFAD* – площа дифузійної області стоку, м^2 ;
- *DEFAS* – площа дифузійної області витоку, м^2 ;
- *DEFL* – довжина каналів польового транзистора, м;
- *DEFW* – ширина каналу, м;
- *TNOM* – номінальна температура компонента;
- *BYPASS* – під'єднання або від'єднання нелінійної частини моделі компонента;
- *TRYTOCOMPACT* – під'єднання або від'єднання лінійної частини моделі компонента.

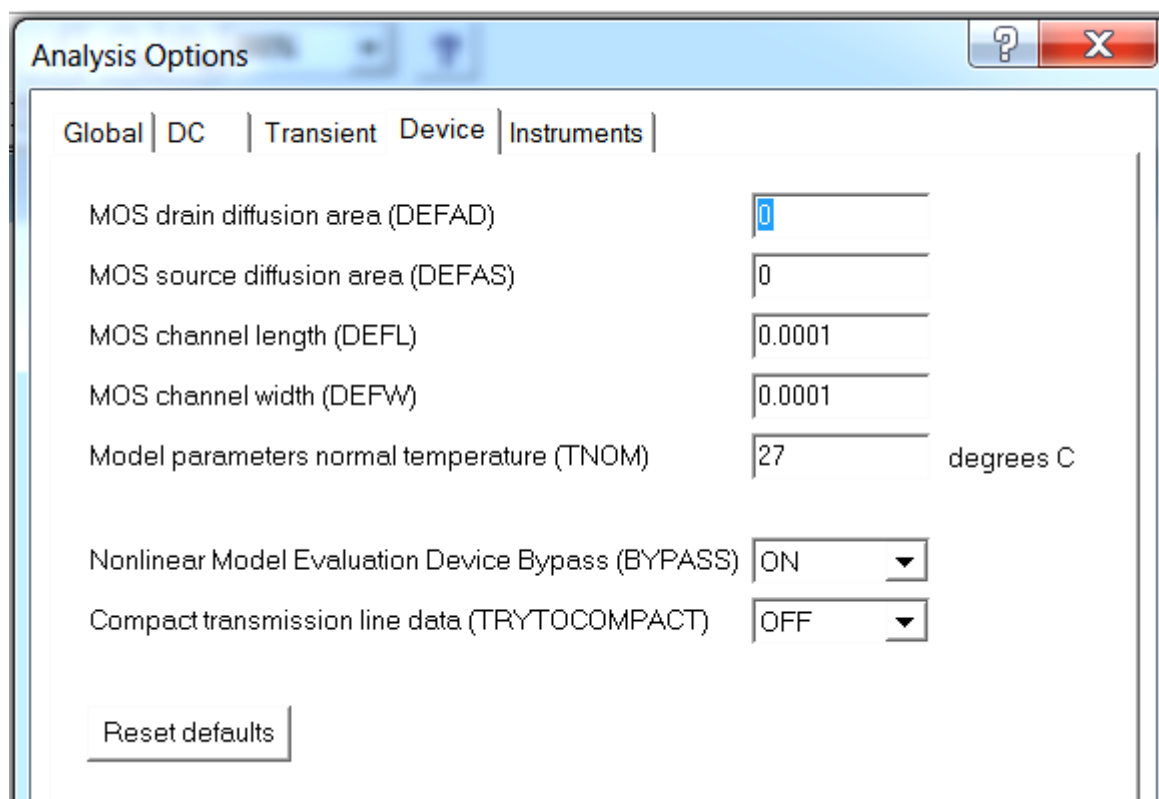


Рис. 2.18. Вікно команди *Analysis Options*, закладка *Device*

Вкладка *Instruments* команди *Analysis Options* забезпечує налаштування параметрів контрольно-вимірювальних приладів і має такі параметри (рис. 2.19):

- *Pause after each screen* – тимчасове призупинення моделювання після заповнення екрана осцилографа;
- *Generate time steps automatically* – автоматичне установлення тимчасового кроку (інтервалу) виведення інформації на екран;

- *Minimum number of time points* – мінімальна кількість точок, що зображуються на екрані, за час спостереження (реєстрації);
- *TMAX* – проміжок часу від початку до кінця моделювання;
- *Set to Zero* – установлення в поточний стан контрольно-вимірювальних приладів перед початком моделювання;
- *User-defined* – ручний пуск і зупинення процесу моделювання користувачем;
- *Calculate DC operating point* – виконання розрахунку режиму за постійним струмом;
- *Points per cycle* – кількість точок, що відображаються, у разі виведення амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик (*Bode-plotter*);
- *Use engineering notation* – використання інженерної системи позначень одиниць вимірювання.

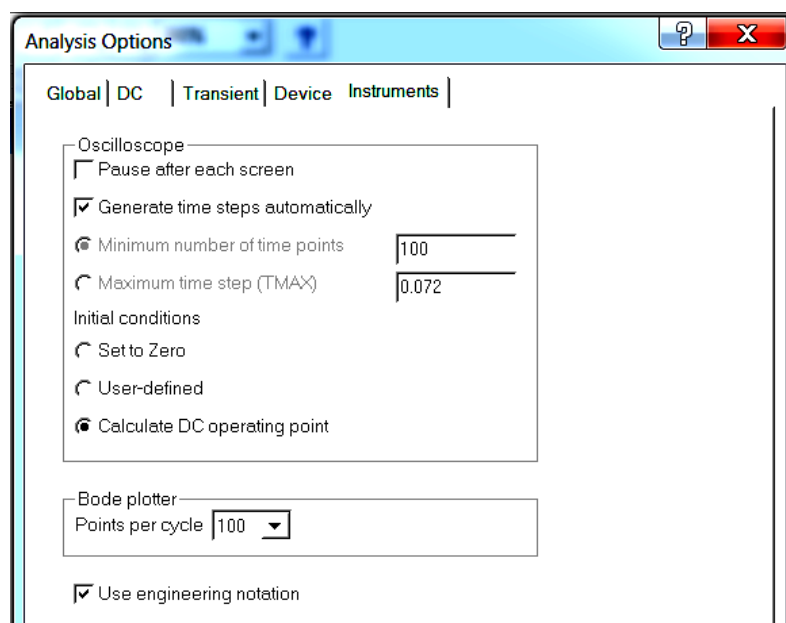


Рис. 2.19. Вікно команди *Analysis Options*, закладка *Instruments*

Команда *DC Operating Point* (див. рис. 2.13) дає змогу розрахувати режим за постійним струмом. У цьому режимі у схемі, яка моделюється, вимикаються всі конденсатори (обрив кола) і закорочуються всі індуктивності.

Команда *AC Frequency* (див. рис. 2.13) дає змогу розрахувати частотні характеристики. Виконання команди починається з налаштування в діалоговому вікні (рис. 2.20) таких параметрів:

- *FSTART, FSTOP* – межі частотного діапазону (мінімальне й максимальне значення частоти);
- *Sweep type* – масштаб за горизонталлю;
- *Number of points* – кількість точок, що розраховуються;
- *Vertical scale* – масштаб за вертикаллю;

- *Nodes in circuit* – список усіх нод кола;
- *Nodes for analysis* – номери нод, для яких розраховуються характеристики схеми;
- *Simulate* – кнопка запуску моделювання.

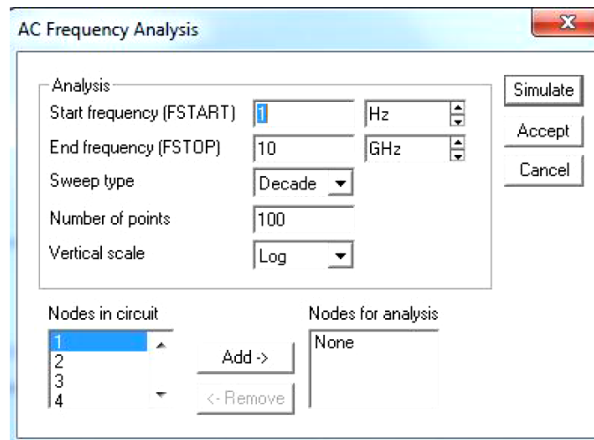


Рис. 2.20. Діалогове вікно команди *AC Frequency*

Команда *Transient* (див. рис. 2.13) дає змогу розрахувати перехідні процеси. Діалогове вікно команди має такі пункти (рис. 2.21):

- *Initial conditions* – установлення початкових умов моделювання;
- *Tstart* – час початку аналізу перехідних процесів;
- *Tstop* – час закінчення аналізу;
- *Generate time steps automatically* – розрахунок перехідних процесів зі змінним кроком;
- *Tstep* – тимчасовий крок виведення результатів моделювання на екран монітора.

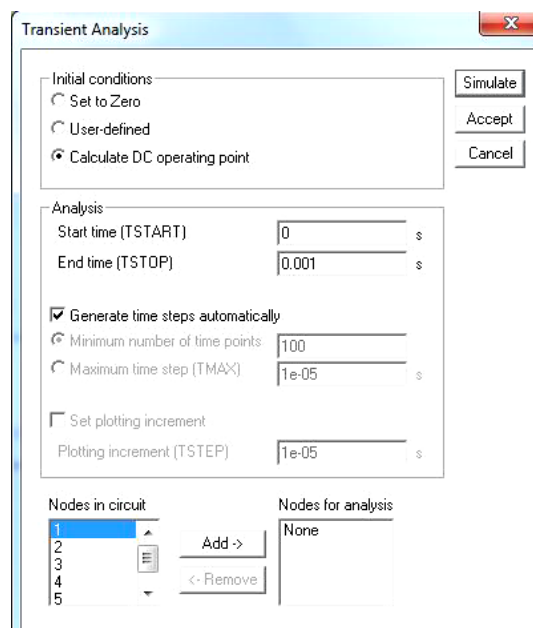


Рис. 2.21. Діалогове вікно команди *Transient*

Команда *Fourier* (див. рис. 2.13) дає змогу провести Фур'є-аналіз. Діалогове вікно команди (рис. 2.22) має такі пункти:

- *Output node* – номер контрольної точки (ноди), у якій аналізується спектр сигналу;
- *Fundamental frequency* – основна частота коливань (частота першої гармоніки);
- *Number harmonic* – кількість гармонік, що аналізуються;
- *Advanced* – набір опцій для визначення структури сигналу, який аналізується з допомогою додаткових можливостей;
- *Result* – виведення на екран розподілу фаз та амплітуд усіх гармонічних складових у вигляді безперервних функцій.

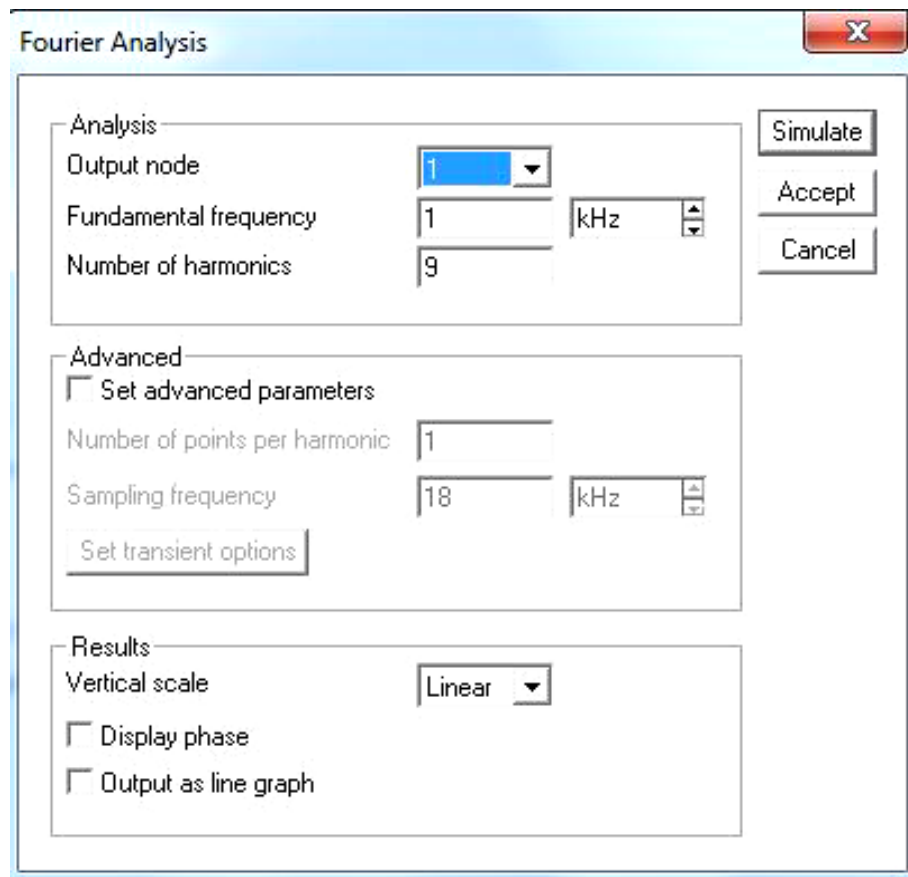


Рис. 2.22. Діалогове вікно команди *Fourier*

Команду *Monte Carlo* (див. рис. 2.13) призначено для проведення статистичного аналізу за методом Монте-Карло (розрахунок чутливості й розкиду характеристик схеми при змінненні параметрів компонентів). У діалоговому вікні (рис. 2.23) команди задаються такі параметри:

- *Number of runs* – кількість статистичних випробувань;
- *Seed* – початкові значення випадкової величини;

– *Distribution type* – закон розподілу випадкової величини: рівномірний та гаусів розподіл. За командою *Display Graph* (див. рис. 2.13) викликаються на екран графіки результатів виконання однієї з команд моделювання *Analysis*. Якщо під час моделювання використано кілька команд цього меню то результати їх виконання нагромаджуються й відображаються у вікні *Analysis Graphs* (рис. 2.24) у вигляді закладок з назвами команд, які можуть переміщатися з допомогою кнопок, розташованих у правому верхньому куті вікна (рис. 2.24, б). Це дає змогу оперативно переглядати результати моделювання без його повторного проведення. Зазначимо, що виклик команди відбувається автоматично під час виконання першої ж команди з меню *Analysis*. Якщо у схемі використовується осцилограф, то після запуску моделювання й попередньо встановленої команди *Display Graph* у її вікні виникає закладка *Oscilloscope* із зображенням осцилограми.

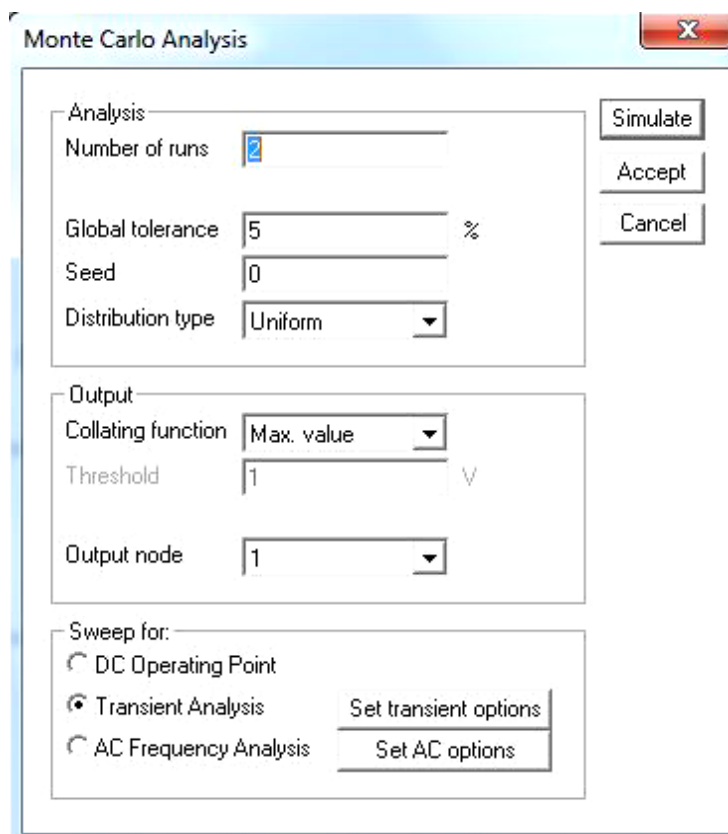
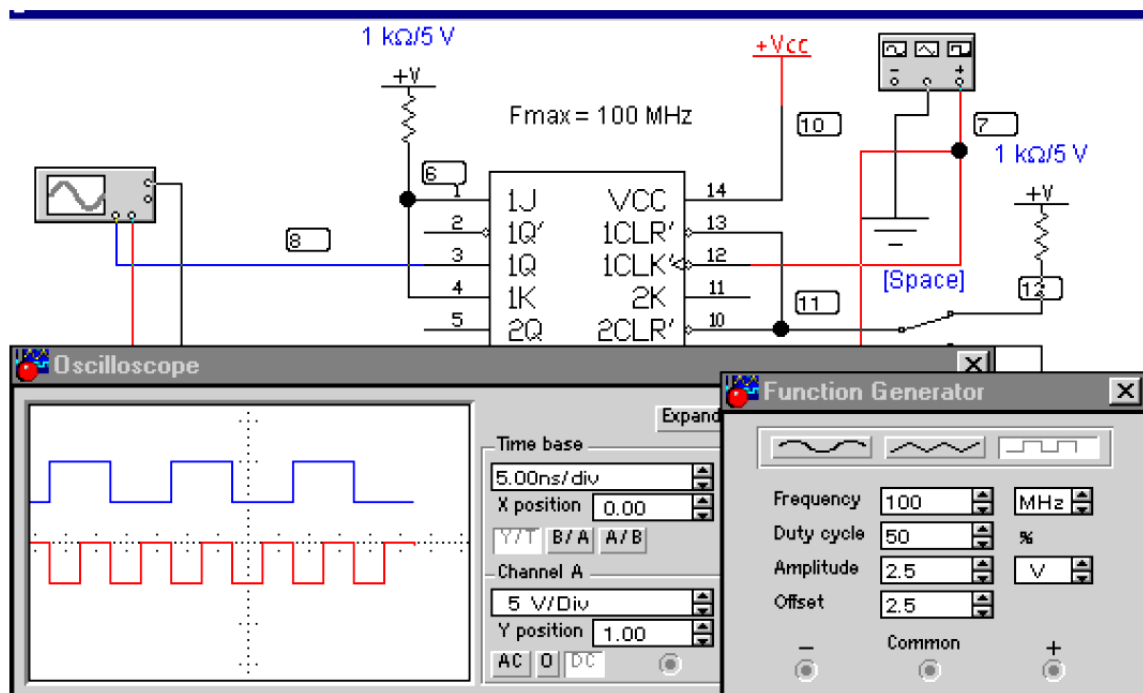


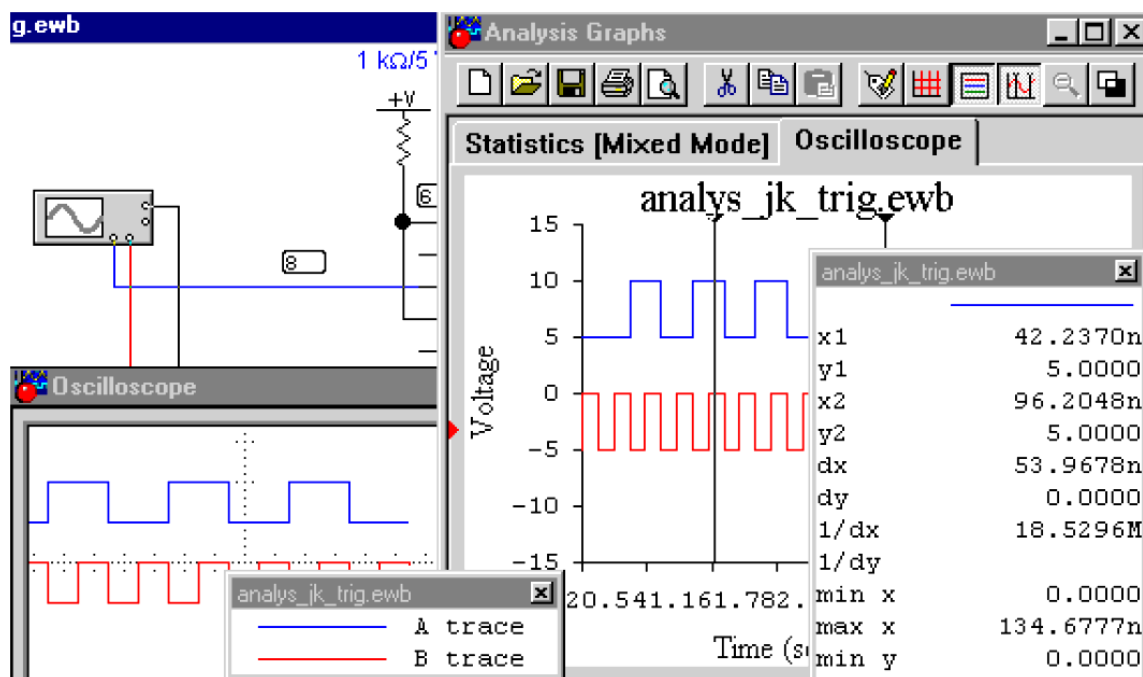
Рис. 2.23. Діалогове вікно команди *Monte Carlo*

Одночасно графічна інформація виводиться також і на основні прилади. Викликати вікно *Analysis Graphs* можна також з допомогою кнопки , розташованої на інструментальній панелі. Якщо після закінчення моделювання на власній інструментальній панелі цього вікна активізувати кнопки *Toggle Cursor*  (вивести числові дані) і *ToggleLegend*  (ви-

вести позначення досліджуваних точок), то на графіку осцилограми виникнуть дві візирні лінійки, переміщення яких курсором миші дає змогу отримати точні значення параметрів, наведених у вікні-ярлику (див. рис. 2.24, б).



а



б

Рис. 2.24. Вікно *Analysis Graphs*: а – робоче вікно зі схемою моделювання JK-тригера; б – результати моделювання (осцилограми)

До цих параметрів належать значення часу $x1$ і $x2$ у точках установлення першої й другої візирних лінійок, амплітуди сигналів $y1$ і $y2$ (без урахування їх зсувів на екрані двопробеневого осцилографа), різниця наведених параметрів і їх зворотних величин (dx , dy , $1/dx$, $1/dy$), а також мінімальні й максимальні значення. Вікно-ярлик з виведеними параметрами переносять з графіка на графік клацанням миші.

Можливі прийоми роботи з вікном *Analysis Graphs* на цьому не вичерпуються. Характерна особливість використання цього вікна полягає в тому, що при закінченні встановленого під час моделювання у вікні часового діапазону для зображення осцилограм досліджуваних змінних часовий масштаб автоматично зменшується удвічі під час збереження результатів моделювання в попередній часовий період. При наступному досягненні правої часової межі цей процес повторюється. Після закінчення моделювання потрібну область однієї або декількох осцилограм можна розглянути детально у збільшеному масштабі, виділивши відповідну ділянку графіка протягуванням курсора при натиснутій лівій кнопці миші. Збільшення необхідної ділянки осцилограми можна повторювати неодноразово до отримання потрібного ефекту.

2.2.5. Меню *Window* і *Help*

Меню *Window* містить такі команди:

- *Arrange* (*Ctrl* + *W*), призначена для впорядкування інформації в робочому вікні шляхом перезапису екрана, при цьому виправляються спотворення зображень компонентів і з'єднувальних проводів;
- *Circuit*, призначена для виведення схеми на передній план;
- *Description* (*Ctrl* + *D*), призначена для виведення на передній план опису схеми (якщо він є) або вікна-ярлика для його підготовки.

Меню *Help* побудовано стандартним для *Windows* способом і містить стислі відомості за всіма командами програми, бібліотечними компонентами й вимірювальними приладами, а також відомості про саму програму.

2.3. Панель компонентів (бібліотеки елементів і приладів)

Загалом створення схеми починається з розміщення на робочому полі *EWB* компонентів з бібліотек програми відповідно до підготовленого ескізу принципальної електричної схеми. Панель компонентів (бібліотеки елементів і приладів) зображено на рис. 2.25.



Рис. 2.25. Панель компонентів із бібліотеками елементів і приладів

2.3.1. Група Favorites (допоміжні компоненти)

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

2.3.2. Група Sources (джерела сигналів)

Вкладку компонентів *Sources* зображено на рис. 2.26.

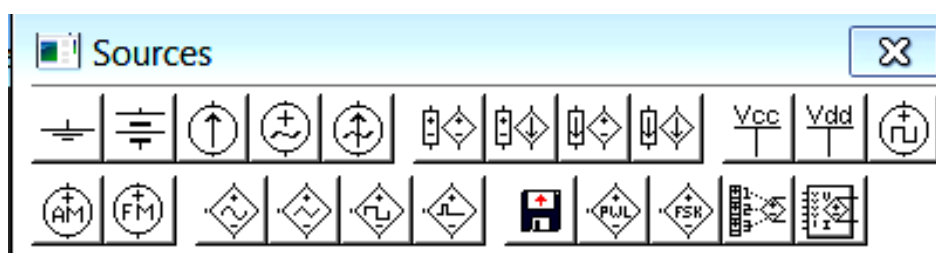


Рис. 2.26. Бібліотека компонентів: розділ *Sources*

Component Properties...

Cut

Copy

Delete

Rotate

Flip Vertical

Flip Horizontal

Help

Рис. 2.27. Вкладка
Component Propetis

Під джерелами сигналів маються на увазі не тільки джерела живлення, а й керовані джерела. Слід зазначити, що параметри цих та інших компонентів задаються на вкладці *Component Propetis...* (рис. 2.27), яка виникає при натисканні на ПКМ при знаходженні курсора на елементі, параметри якого необхідно задати. Безпосередньо на цій вкладці можна виконати команди *Cut*, *Copy*, *Delete*, а також *Rotate*, *Flip Vertical*, *Flip Horizontal*, які виконують обертання елемента. При натисканні на *Component Propetis...* відкривається наступна вкладка, на який і задаються параметри елемента

на вкладках *Label*, *Value*, *Fault*, *Display*, *Analysis Setup*, на них можна позначити тип компонента, позиційний номер, значення його величини тощо. Для прикладу на вкладці *Value* для елемента живлення встановлено напругу – 12 В і розмірність – вольт (рис. 2.28).

Стислу характеристику компонентів цієї вкладки наведено в табл. 2.1.

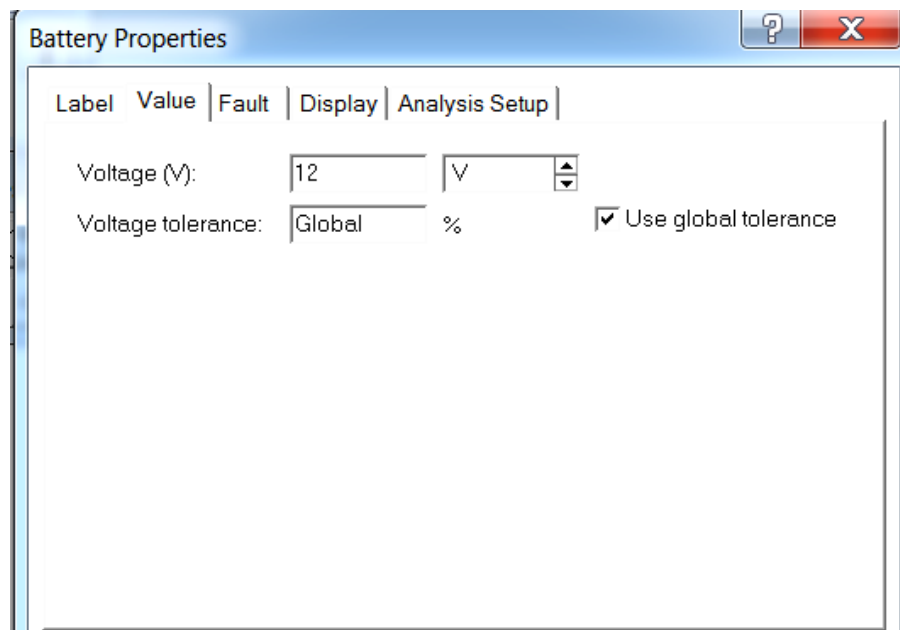


Рис. 2.28. Вкладка *Value* для елемента живлення

Таблиця 2.1

Позна- чення	Стисла характеристика компонентів вкладки Sources
	Ground – заземлення (мітка) – загальна точка схеми. Будь які дві точки схеми, до яких під'єднано заземлення, вважаються з'єднаними між собою Не всі схеми потребують заземлення для моделювання, проте будь-яка схема, яка містить операційний підсилювач, трансформатор, кероване джерело й осцилограф, має бути обов'язково заземленою, інакше прилади не будуть проводити вимірювання або їх показання виявляться неправильними
	Battery – батарея – джерело постійної напруги. Електрорушійна сила джерела постійної напруги, або батареї, вимірюється у вольтах і задається похідними величинами (від міковольтів до кіловольтів) на вкладці <i>Component Properties</i> Власним опором батареї в <i>Electronics Workbench</i>, а також нестабільністю напруги батареї, спричиненої її розрядом, програма нехтує, тому щоб використовувати дві паралельно під'єднані батареї, необхідно з'єднати по-спільно між ними невеликий резистор, наприклад, з опором 1 Ом
	DC Current Source – джерело постійного струму. Струм джерела постійного струму (<i>DC – direct current</i>) вимірюється в амперах і задається похідними величинами (від мікроамперів до кілоамперів)
	AC Voltage Source – джерело змінної синусоїдальної напруги (ефективне значення напруги, частота, фаза). Дійсне значення напруги джерела вимірюється у вольтах і задається похідними величинами (від міковольтів до кіловольтів). Є можливість установа частоти й початкової фази Дійсне значення напруги V_{RMS}, що виробляється джерелом змінної синусоїдальної напруги, зумовлюється його амплітудним значенням V_{PEAK} таким співвідношенням: $V_{RMS} = \bar{V}_{PEAK} / \sqrt{2}$

Позначення	Стисла характеристика компонентів вкладки Sources
	AC Current Source – джерело змінного синусоїдального струму (ефективне значення струму, частота, фаза). Дійсне значення струму джерела вимірюється в амперах і задається похідними величинами (від мікроамперів до кілоамперів)
	Voltage-Controlled Voltage Source – джерело напруги, кероване напругою (кероване джерело). Відношення вихідної напруги до вхідної визначається коефіцієнтом пропорційності $E = V_{OUT}/V_{IN},$ де V_{OUT} – вихідна напруга джерела; V_{IN} – вхідна напруга джерела
	Voltage-Controlled Current Source – джерело напруги, кероване струмом (кероване джерело). Передатний опір має розмірність опору, вимірюється в міліомах, омах і кілоомах і задається такою формулою: $H = V_{OUT}/I_{IN}$ де V_{OUT} – вихідна напруга джерела; I_{IN} – вхідний струм джерела
	Current-Controlled Voltage Source – джерело струму, кероване напругою (кероване джерело). Відношення вихідного струму до керувальної напруги (коефіцієнт G) вимірюється в одиницях електричної провідності (1 Ом^{-1} або 1 См) і задається такою формулою: $G = I_{OUT}/V_{IN},$ де I_{OUT} – вихідний струм джерела; V_{IN} – напруга, прикладена до керувальних затисків джерела
	Current-Controlled Current Source – джерело струму, кероване струмом (кероване джерело) Вхідний і вихідний струми зумовлюються коефіцієнтом пропорційності F , який визначає відношення вихідного струму до струму в керувальній гілці і задається такою формулою: $F = I_{OUT}/I_{IN},$ де I_{OUT} – вихідний струм джерела; I_{IN} – вхідний струм джерела
	+Vcc Voltage Source – джерело фіксованої напруги +5 В
	+Vdd Voltage Source – джерело фіксованої напруги +15 В
	Clock – генератор однополярних прямокутних імпульсів (тактових імпульсів), який виробляє їх послідовність (амплітуда, частота, коефіцієнт заповнення). Відлік амплітуди імпульсів генератора виконується від виводу, який є протилежним додатному виводу
	AM Source – генератор амплітудно-модульованих коливань (напруга й частота несної, коефіцієнт та частота модуляції. На значку графічного зображення компонента коефіцієнт модуляції не вказано
	FM Source – генератор частотно-модульованих коливань (напруга та частота несної, індекс та частота модуляції. На графічному зображенні компонента індекс модуляції не вказано
	Voltage-Controlled Sine Wave Oscillator – джерело напруги синусоїдальної форми, кероване напругою
	Voltage-Controlled Triangle Wave Oscillator – джерело напруги трикутної форми, кероване напругою

Позначення	Стисла характеристика компонентів вкладки Sources
	Voltage-Controlled Square Wave Oscillator – джерело напруги прямокутної форми, кероване напругою
	Controlled One-Shot – очікувальний мультивібратор
	Piecewise Linear Source – джерело напруги з кусково-лінійною залежністю генерованого сигналу від часу, який визначається зовнішнім файлом (ім'я файлу)
	Voltage-Controlled Piecewise Linear Source – кусково-лінійне джерело напруги, кероване напругою
	Frequency-Shift-Keying Source – джерело синусоїдальних коливань із двома зумовленими частотами, вибір однієї з яких визначається зовнішнім сигналом (амплітуда, частота)
	Polynomial Source – поліноміальне джерело живлення (напруги) (коефіцієнти полінома)
	Nonlinear Dependent Source – нелінійне джерело напруги (різновид нелінійної залежності)

2.3.3. Група Basic – пасивні компоненти й комутаційні пристрої

Групу компонентів *Basic* зображено на рис. 2.29. У цій групі зібрано всі пасивні компоненти й комунікаційні пристрої. Позначення і стислу характеристику компонентів цієї вкладки наведено в табл. 2.1.

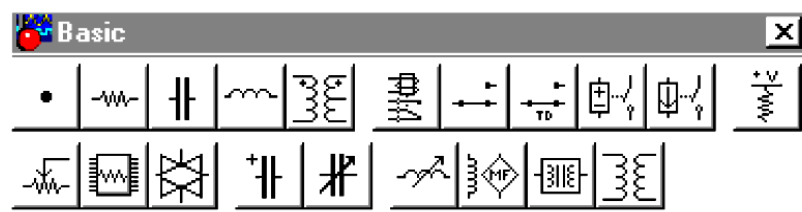
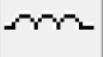
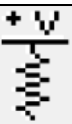


Рис. 2.29. Бібліотека компонентів: розділ Basic

Таблиця 2.2

Позначення	Стисла характеристика компонентів вкладки Basic
	Connector точка з'єднання (<i>Connector</i>). Використовується для з'єднання не більше чотирьох дротів і створення контрольних точок
	Resistor – резистор, опір резистора вимірюється в омах і задається похідними величинами (від омів до мегаомів) у вкладці <i>Component Properties</i> . Тут же можна встановлювати позиційний номер і температуру

Позна- чення	Стисла характеристика компонентів вкладки <i>Basic</i>
	Capacitor – конденсатор. Ємність конденсатора вимірюється у Фарадах і задається (від пікофарадів до фарадів) у вкладці <i>Component Propetis</i> . Тут же можна встановлювати позиційний номер
	Inductor – котушка. Індуктивність котушки (дроселя) вимірюється в генрі й задається похідними величинами (від мікрогенрі до генрі) у вкладці <i>Component Propetis</i> ... Тут же можна встановлювати позиційний номер
	Transformer – трансформатор. У вкладці <i>Component Propetis</i> ... можна встановлювати: коефіцієнт трансформації (<i>Primary-to-secondary turns ratio n</i>); індуктивність розсіювання (<i>Leakage inductance Le</i> , Гн); індуктивність первинної обмотки (<i>Magnetizing inductance Lm</i> , Гн); опір первинної обмотки (<i>Primary winding resistance Rp</i> , Ом); опір вторинної обмотки <i>Secondary winding resistance Rs</i> , Ом). Програма моделює трансформатор, тільки якщо обидві його обмотки (первинна і вторинна) є заземленими
	Relay – реле. У вкладці <i>Component Propetis</i> ... можна встановлювати індуктивність котушки (<i>Coil inductance Lc</i> , Гн); струм спрацювання (<i>Turn on current Ion</i> , А); струм затримання (<i>Holding current Ihd</i> , А); опір котушки (<i>Coil resistance Rc</i> , Ом)
	Switch – перемикач на два положення, який керується шляхом натискання заданої клавіші клавіатури (за замовчуванням – клавіша пробілу)
	Time-Delay Switch – перемикач, який автоматично спрацьовує через заданий час на вмикання та/або вимикання (у секундах)
	Voltage-Controlled Switch – керований напругою вимикач, який спрацьовує в заданому діапазоні входних напруг. Ключ, керований напругою, має два керувальних параметри: вмикальна V_{on} і вимикальна V_{off} напруги, які визначає користувач Цей програмний пристрій замикає свої контакти, якщо напруга, що надходить на його вхід, є більшою за V_{on} або дорівнює їй, і розмикає контакти, якщо напруга на його вході стає меншою за V_{of} або дорівнює їй
	Current-Controlled Switch – вимикач, який спрацьовує в заданому діапазоні входних струмів. Ключ, керований струмом, працює аналогічно ключу, керованому напругою. Коли струм через керувальні виводи перевищує струм увімкнення I_{on} , ключ замикається; коли струм стає нижчим за струм вимикання I_{off} , ключ розмикається
	Pull-Up Resistor – джерело постійної напруги з послідовно ввімкненим резистором. Напруга у вольтах, кіловольтах, мегавольтах і опір резистора в омах, кілоомах, мегаомах визначаються користувачем у вкладці <i>Component Propetis</i> ... У цифрових схемах використовується під час моделювання сигналу «логічна одиниця»
	Potentiometer – потенціометр (пасивний компонент), параметри якого задаються з допомогою діалогового вікна (див. рис. 2.31)
	Resistor Pack – складання з восьми незалежних резисторів однакового номіналу (опору), що задається у вкладці <i>Component Propetis</i>
	Controlled analog switc – керований аналоговий перемикач. Діє аналогічно <i>Voltage-Controlled Switch</i> , але керується аналоговим сигналом. Параметри керування (напруги перемикавання, опір у розімкненому й замкненому станах) задаються користувачем

Позначення	Стисла характеристика компонентів вкладки <i>Basic</i>
	Polarized Capacitor – електролітичний конденсатор (ємність)
	Variable Capacitor – конденсатор змінної ємності, який діє аналогічно потенціометру
	Variable Inductor – котушка змінної індуктивності, яка діє аналогічно потенціометру
	Coreless coil – котушка без осердя
	Magnetic core – магнітне осердя
	Nonlinear transformer – нелінійний трансформатор

При цифровому моделюванні найчастіше застосовують такі компоненти: точка з'єднання (*Connector*); резистор (*Resistor*); потенціометр (*Potentiometer*); конденсатор (*Capacitor*); поляризований або електролітичний конденсатор (*Polarized Capacitor*); перемикач (*Switch*); джерело постійної напруги (*Pull-Up Resistor*).

Параметри точки з'єднання (*Connector*) можна задавати з допомогою діалогового вікна, зображеного на рис. 2.30. Її може бути наділено такими властивостями, як відсутність (*Open*) з'єднання між провідниками, під'єднаними до неї з відповідного боку (цифри 1 – 4 на рис. 2.30 відображають кількість і напрямок з'єднуваних провідників). Наприклад, при ввімкнених опціях 1, 2 і *Open* між провідниками, під'єднаними з боків 1 і 2, не буде електричного з'єднання.

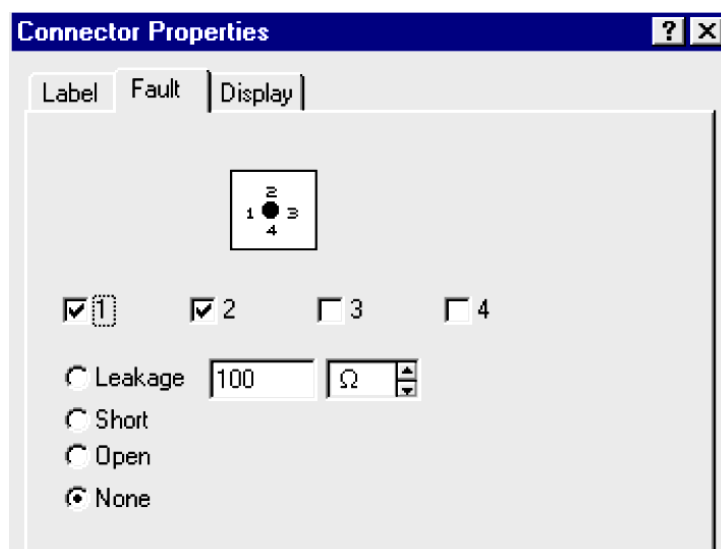


Рис. 2.30. Вікно *Fault* установлення параметрів точки з'єднання (*Connector*)

Точку з'єднання також можна використовувати для введення на схему надписів завдовжки не більше 14 символів. Для цього необхідно поставити на кресленні точку й подвійним клацанням миші по точці викликати діалогове вікно (вкладка *Label* на рис. 2.30), у якому й виконується відповідний напис.

Параметри потенціометра (*Potentiometer*) задаються з допомогою діалогового вікна, зображеного на рис. 2.31.

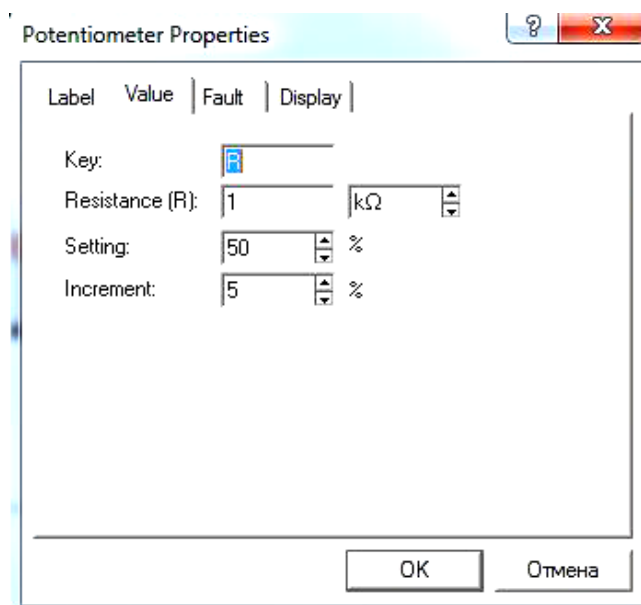


Рис. 2.31. Діалогове вікно задання параметрів потенціометра

Параметр *Key* визначає символ клавіатури (за замовчуванням *R*), унаслідок натискання якого опір зменшується на задану величину у відсотках або збільшується на таку ж величину (*Shift + R*).

Параметр *Resistance* визначає номінальне значення опору, а параметр *Setting* задає початкові налаштування опору у відсотках.

Перемикач (*Switch*) керується натисканням заданої клавіші клавіатури (за замовчуванням – клавіша пробілу). У схемі можна використати довільну кількість таких перемикачів, як синхронних (керованих однією й тою самою клавішею), так і асинхронних (керованих індивідуальними клавішами).

2.3.4. Група *Diodes*

Компоненти групи *Diodes* (рис. 2.32) охоплюють усі використовувані на практиці типи діодів. У бібліотеці, яка є майже для кожного компонента групи, можна вибрати необхідний тип за його характеристиками, наведеними у відповідних довідниках (наприклад, у [3]).

Назву і стислу характеристику компонентів цієї групи наведено в табл. 2.3.



Рис. 2.32. Панель компонентів *Diodes*

Таблиця 2.3

Позначення	Стисла характеристика компонентів вкладки <i>Diodes</i>
	Diode – напівпровідниковий діод. Струм через діод може проходити тільки в одному напрямку – від анода <i>A</i> до катода <i>K</i>
	Zener Diode – стабілітрон (діод Зенера), який зазвичай використовують для стабілізації напруги. Для стабілітрона робочою є від’ємна напруга
	LED – світлодіод. Діоди <i>LED</i> випромінюють видиме світло, коли струм, який проходить через нього, перевищує порогову величину. Через вкладку <i>Component Properties...</i> у вкладці <i>Models</i> можна задавати колір світіння світлодіода (червоний або зелений)
	Full-Wave Bridge Rectifier – мостовий випрямляч (збірка з чотирьох діодів), призначений для випрямлення змінної напруги. Під час подання на випрямляч синусоїдальної напруги середнє значення випрямленої напруги можна приблизно обчислити за формулою $V_{dc} = 0,636(V_p - 1,4),$ де V_p – амплітуда вхідної синусоїдальної напруги
	Shockley Diode – діод Шоклі. Це напівпровідниковий діод, що має <i>p-n-p-n-</i> або <i>n-p-n-p-</i> структуру, у характеристиках якого є область негативного диференціального опору. Діод Шоклі на відміну від простого діода знаходиться у відімкненому стані доти, доки напруга на ньому не перевищить фіксованого рівня порогової
	Silicon-Controlled Rectifier – тиристор, або диністор (керований венти́ль). У тиристора крім анодного й катодного виводів є додатковий вивід керувального електрода, який дає змогу керувати моментом переходу приладу в провідний стан
	Diac – симетричний диністор, або діак. Диністор – це керований анодною напругою двонаправлений перемикач (складається з двох стабілітронів, з’єднаних паралельно-зустрічно)
	Triac – симетричний триністор, або триак. Складається з двох тиристорів, з’єднаних паралельно, але в протилежних напрямках, і керується тими ж затворами

2.3.5. Група Transistors

Компоненти групи *Transistors* (рис. 2.33) охоплюють усі використовувані на практиці типи транзисторів: біполярних *p-n-p*- і *n-p-n*-типів і польових різної структури. У бібліотеці, яка є майже для кожного компонента групи, можна вибрати потрібний тип за його характеристиками, наведеними у відповідних довідниках (наприклад, у [4]).

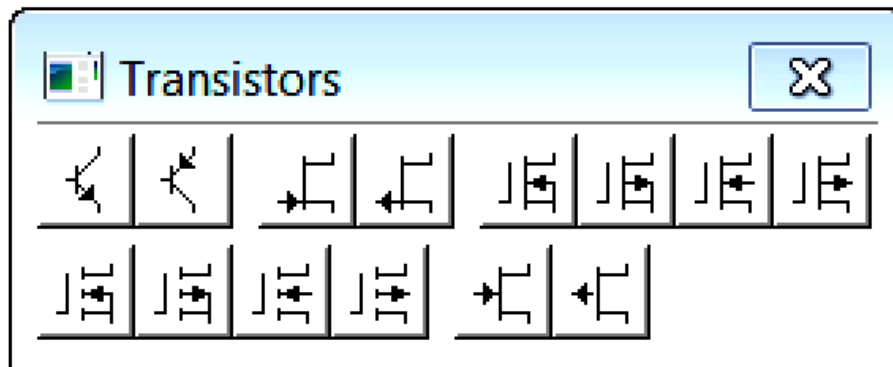


Рис. 2.33. Панель компонентів *Transistors*

Біполярні транзистори є підсилювальними пристроями, керованими струмом (струмом бази), і можуть бути двох типів: *p-n-p* і *n-p-n*. Букви означають тип провідності напівпровідникового матеріалу, з якого виготовлено транзистор.

У транзисторах обох типів стрілкою позначається емітер, напрямком стрілки є напрямком проходження струму.

У пристроях автоматики й телемеханіки транзистор зазвичай використовують як електронний ключ. Найпоширенішою схемою під'єднання транзистора є схема із загальним емітером. При такому схемному вирішенні роль ключа виконують обидва *p-n* переходи. У режимі «відкрито» обидва переходи мають бути відкритими (режим насичення), у режимі «закрито» – закритими (режим відсікання).

Транзистори *n-p-n* використовуються в тих випадках, коли сигналом до відкриття є перепад керувальної напруги від від'ємної до додатної відносно загальної точки.

Транзистори типу *p-n-p* використовуються в тих випадках, коли сигналом до відкриття є перепад керувальної напруги від додатної до від'ємної відносно загальної точки.

Позначення і стислу характеристику біполярних транзистори *n-p-n*- і *p-n-p*-типів наведено в табл. 2.4.

Польові транзистори керуються напругою на затворі, тобто струм, що проходить через транзистор, залежить від напруги на затворі.

Польовий транзистор містить протяжну область напівпровідника *n*- або *p*-типу, яку називають каналом. Канал закінчується двома електро-

дами, які називають виток і сток. Крім каналу *n*- або *p*-типу польовий транзистор містить область із протилежним каналу типом провідності.

Основні типи польових транзисторів такі:

- польовий транзистор із керованим *p-n* переходом;
- польові транзистори на основі металооксидної плівки.

Польовий транзистор із керованим *p-n*-переходом – це уніполярний транзистор, керований напругою, у якому для керування струмом використовується наведене електричне поле, що залежить від напруги затвора.

У польових транзисторах на основі металооксидної плівки (МОП-транзистор, або *MOSFET*) керування струмом, що проходить через польовий транзистор на основі, також здійснюється з допомогою електричного поля, що прикладається до затвора.

У *EWB* є два типи польових транзисторів із керованим *p-n*-переходом і вісім типів МОП-транзисторів: чотири – з убудованим каналом і чотири – з індукованим каналом.

Позначення, назву і стислу характеристику транзисторів вкладки *Transistors* наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів транзисторів вкладки <i>Transistors</i>
	<i>NPN Transistor</i> – біполярні <i>n-p-n</i> -транзистори, які мають дві <i>n</i> -області й одну <i>p</i> -область
	<i>PNP Transistor</i> – біполярні <i>p-n-p</i> -транзистори, які мають дві <i>p</i> -області й одну <i>n</i> -область
	<i>N-Channel JFET</i> – польові транзистори з керованим <i>n-p</i> -переходом. У <i>n</i> -канальному польовому транзисторі затвор складається з <i>p</i> -області, яка оточена <i>n</i> -каналом
	<i>P-Channel JFET</i> – польові транзистори з керованим <i>p-n</i> -переходом. У <i>p</i> -канальному польовому транзисторі затвор складається із <i>n</i> -області, оточеної <i>p</i> -каналом
	<i>3-Terminal Depletion N-MOSFET</i> – трививідний <i>n</i> -канальний МОП-транзистор з убудованим каналом, з'єднаними виводами підкладки й стоку
	<i>3-Terminal Depletion P-MOSFET</i> – трививідний <i>p</i> -канальний МОП-транзистор з убудованим каналом, з'єднаними виводами підкладки й стоку
	<i>4-Terminal Depletion N-MOSFET</i> – чотирівивідний <i>n</i> -канальний МОП-транзистор зі вбудованим каналом із розподіленими виводами підкладки та стоку
	<i>4-Terminal Depletion P-MOSFET</i> – чотирівивідний <i>p</i> -канальний МОП-транзистор з убудованим каналом із розподіленими виводами підкладки та стоку

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів транзисторів вкладки Transistors
	3-Terminal Enhancement N-MOSFET – трививідний <i>n</i> -канальний МОП-транзистор з індукованим каналом
	3-Terminal Enhancement P-MOSFET – трививідний <i>p</i> -канальний МОП-транзистор з індукованим каналом
	4-Terminal Enhancement N-MOSFET – чотирививідний <i>n</i> -канальний МОП-транзистор з індукованим каналом
	4-Terminal Enhancement P-MOSFET – чотирививідний <i>p</i> -канальний МОП-транзистор з індукованим каналом
	N-Channel GaAsFET – арсенід-галієві польові транзистори. Як їх математичну модель використовують модель Куртиса, модель Рейтеона й <i>TriQuint</i> -модель
	P-Channel GaAsFET – арсенід-галієві польові транзистори. Як їх математичну модель використовують модель Куртиса, модель Рейтеона й <i>TriQuint</i> -модель

2.3.6. Група Analog ICs

Група компонентів *Analog ICs* (активні компоненти) містить аналогові мікросхеми (УГП-мікросхеми) (рис. 2.34), які з'являються при натисканні на відповідну іконку компонента і потім переносяться на робоче поле програми. При натисканні ПКМ на УГП компонента на робочому полі викликається вкладка *Component Propertis...*, де у вкладці *Models* можна вибрати необхідний тип мікросхеми, з характеристиками якої можна ознайомитись у довідниках (наприклад, у [4]).

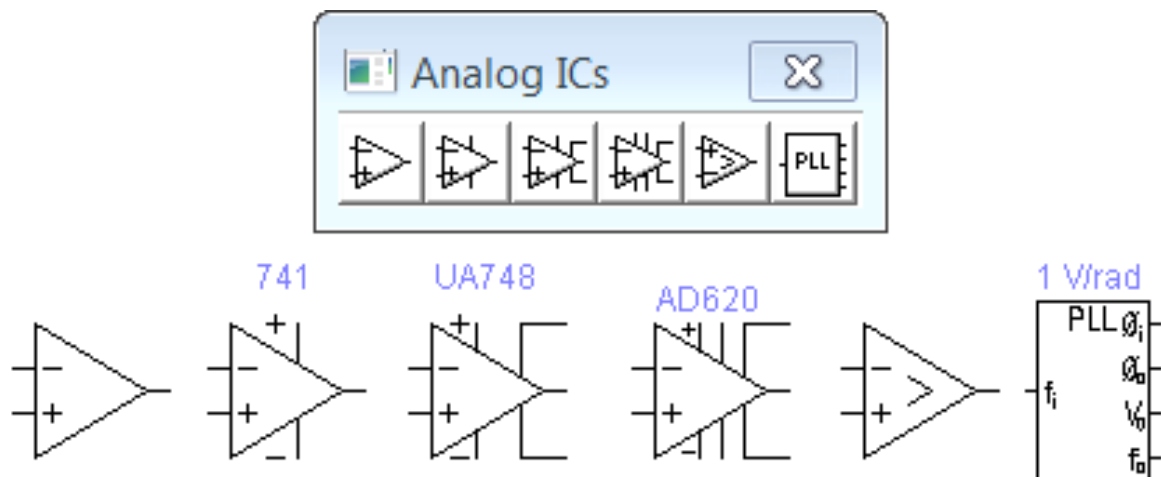


Рис. 2.34. Панель компонентів *Analog ICs*

Позначення, назву і стислу характеристику цих компонентів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Analog ICs</i>
	3-Terminal Opamp – лінійна модель операційного підсилювача. Операційний підсилювач призначено для роботи зі зворотним зв'язком. Модель операційного підсилювача дає змогу задавати такі параметри: коефіцієнт підсилення, напруга зсуву, вхідні струми, вхідний і вихідний опори тощо
	5-Terminal Opamp – нелінійна модель операційного підсилювача. Операційний підсилювач із п'ятьма виводами має два додаткових виводи: додатний і від'ємний для під'єднання живлення
	7-Terminal Opamp – операційні підсилювачі з сімома виводами
	9-Terminal Opamp – операційні підсилювачі з дев'ятьма виводами
	Comparator – компаратор напруги
	Phase-Locked Loop – мікросхема для систем фазового автопідстроювання частоти, яка складається з фазового детектора, фільтра нижніх частот і керованого напругою генератора

2.3.7. Група *Mixed ICs*

Група компонентів *Mixed ICs* (активні компоненти) містить інтегральні мікросхеми (ІМС) змішаного типу (гібридні) (рис. 2.35) і УГП мікросхеми, які з'являються при натисканні на відповідну іконку компонента і потім переміщуються на робоче поле програми.

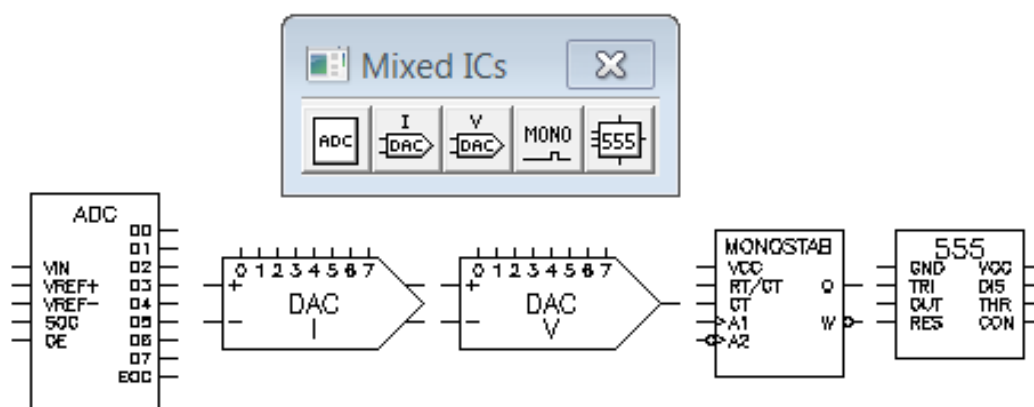


Рис. 2.35. Панель компонентів *Mixed ICs*

Позначення, назву і стислу характеристику цих компонентів наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Analog ICs</i>
	Analog-to-Digital Converter (ADC) – восьмирозрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), для якого перші два параметри означають діапазон перетворюваних напруг, третій – час перетворення, четвертий – ціну молодшого розряду АЦП виконує перетворення аналогової напруги на двійкове число
	Digital-to-Analog Converter – цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) із зовнішнім опорним джерелом струму
	Digital-to-Analog Converter – ЦАП із зовнішнім опорним джерелом напруги
	9-Terminal Opamp – операційні підсилювачі з дев'ятьма виводами
	Monostable Multivibrator – моностабільний мультивібратор. Одновібратор виробляє імпульс фіксованої протяжності у відповідь на керувальний перепад на його вході. Довжина імпульсу визначається RC-колом, яке задає час імпульсу
	555 Timer – інтегральний таймер (мікросхема багатофункціонального таймера 555)

Наведений АЦП переводить аналогову напругу U_{ex} на вході на восьмирозрядне двійкове число $N_{вух}$ за формулою

$$N_{вух} = (U_{ex} / U_{fs})256,$$

де U_{fs} – різниця напруг на опорних входах.

Digital-to-Analog Converter – ЦАП перетворює цифровий сигнал на вихідний струм (аналоговий сигнал), пропорційний вхідному числу.

Наведений ЦАП має вісім цифрових входів і два входи для подання опорного струму $I_{оп}$. ЦАП формує на виході струм $I_{вух}$, який є пропорційним вхідному числу $N_{вух}$. Вихідний струм визначається формулою

$$I_{вух} = (N_{вух} / 256) I_{оп},$$

де $I_{оп}$ – опорний струм, який визначається послідовно під'єднаними до входу $U_{оп+}$ або $U_{оп-}$ джерелом напруги $U_{оп}$ та опором R .

Другий вихід є доповненням першого, і його струм визначається виразом $I_{вух} = I_{оп} - I_{вух}$.

Другий в EWB ЦАП (*Digital-to-Analog Converter*) перетворює цифровий сигнал на напругу на виході, що визначається формулою

$$U_{вих} = (N_{вх} / 256) U_{оп},$$

де $U_{оп}$ – опорна напруга.

555 Timer – це елемент, який має вхід і вихід і характеризується часом затримання. Змінення стану на його виході відбувається через час, який визначається часом затримання. Цей елемент складається з двох компараторів, дільника напруги, тригера й розряджувального транзистора.

Для компонентів цього розділу бібліотеки, за винятком таймера, допускається редагування в діалоговому вікні таких параметрів: верхній рівень вхідної напруги; нижній рівень вхідної напруги; час установлення у разі переходу від нижнього рівня до верхнього і навпаки; порогова напруга.

2.3.8. Група *Digital ICs*

Група компонентів *Digital ICs* (активні компоненти) містить цифрові ІМС та їх УГП, які виникають при натисканні на відповідну іконку компонента і потім переміщуються на робоче поле програми (рис. 2.36).

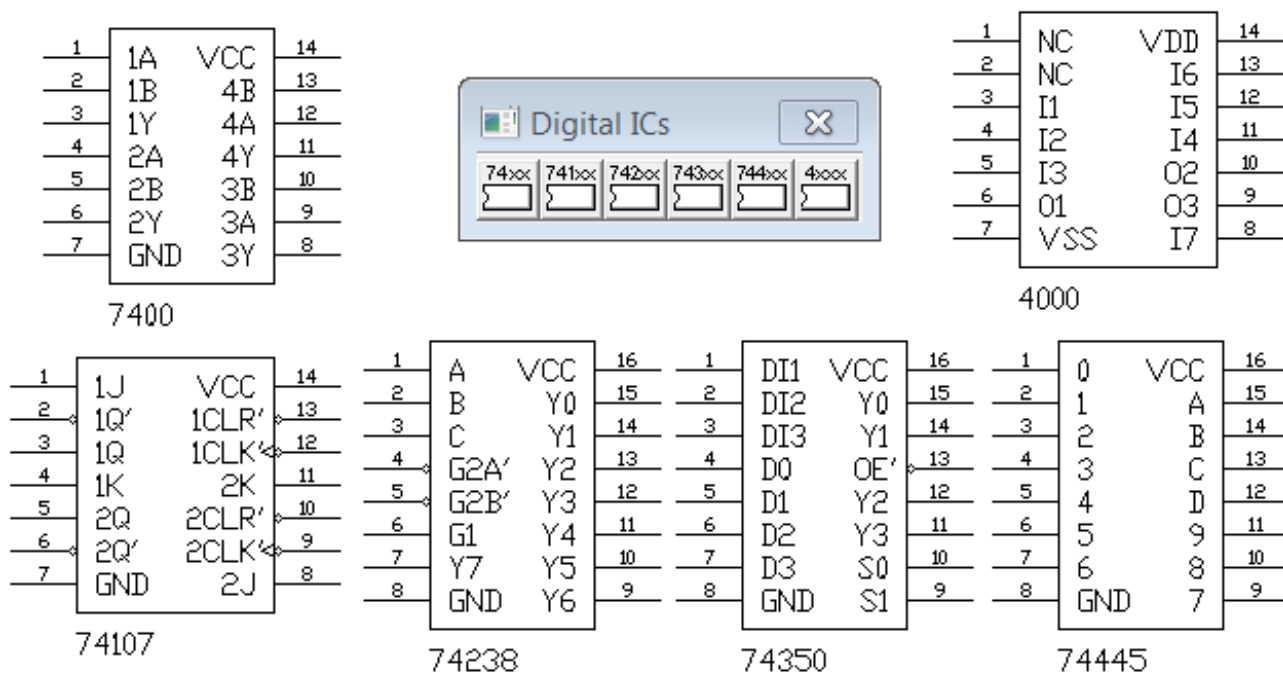


Рис. 2.36. Панель компонентів *Digital ICs*

У групі компонентів *Digital ICs* можна вибрати необхідний тип мікросхеми з параметрами, з якими можна ознайомитись у довідниках (наприклад, *SN7407* – це шість буферних елементів з відкритим колектором [4]).

2.3.9. Група Logic Gates

Група *Logic Gates* містить логічні елементи (у першому рядку вкладки групи) і логічні цифрові мікросхеми (у другому рядку вкладки групи) (рис. 2.37). Логічним елементам у вкладці *Component Properties...* можна задавати їх основні характеристики, зокрема тип елемента: ТТЛ або КМОП. Кількість входів логічних елементів схем можна встановити в межах від двох до восьми, але елемент може мати тільки один вихід [4].

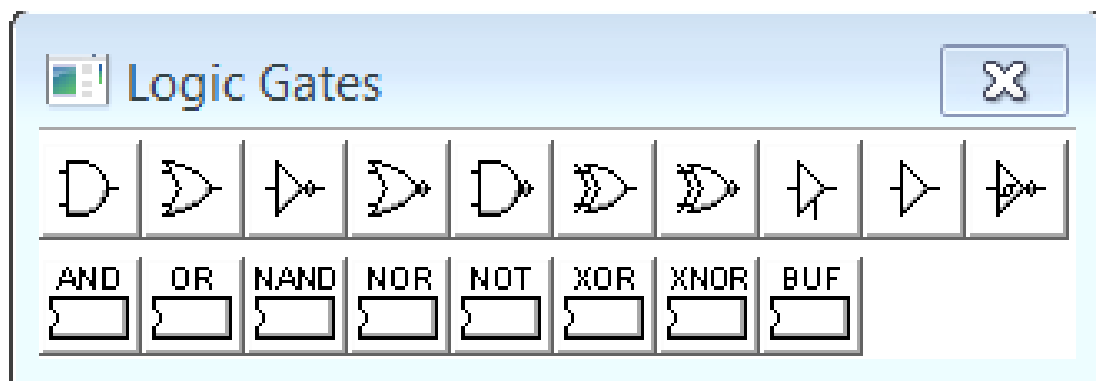
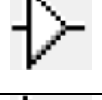


Рис. 2.37. Панель компонентів *Logic Gates*

Характеристику логічних елементів наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Logic Gates</i>
	2-Input AND Gate – логічне І . Елемент AND реалізує функцію логічного множення. Найбільш часто трапляються такі назви цієї функції: логічне множення, кон'юнкція, збіг, AND , I . Функція набуває одиничного значення тільки тоді, коли абсолютно всі входні змінні дорівнюють одиниці. Можливі види алгебричного запису функції I : $F = A \& B$; $F = A \wedge B$; $F = A \times B$; $F = A \cdot B$; $F = AB$
	2-Input OR Gate – елемент логічне АБО . Найбільш часто трапляються такі назви функції АБО : роз'єднання, диз'юнкція, OR , АБО . Функція набуває одиничного значення, якщо одиниці дорівнює хоча б одна з входних змінних. Алгебричний запис функції АБО : $F = A \vee B$; $F = A + B$
	NOT Gate – логічне НІ . Елемент NOT змінює стан входного сигналу на протилежний, і рівень логічної одиниці виникає на його виході, коли на вході буде нуль, і навпаки. Найбільш часто трапляються такі назви цієї функції: логічне заперечення, інверсія, інвертор, доповнення, NOT , HI

Позна- чення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Logic Gates</i>
	2-Input NOR Gate – логічне АБО-НІ . Елемент АБО-НІ реалізує функцію логічного додавання з наступною інверсією результату, його побудовано шляхом поєднання логічного елемента АБО з інвертором (логічним елементом НІ) до виходу елемента АБО . Алгебричний запис функції АБО-НІ : $F = \overline{X_1 + X_2}$
	2-Input NAND Gate – логічне І-НІ . Елемент І-НІ реалізує функцію логічного множення з наступною інверсією результату, його побудовано шляхом поєднання логічного елемента І з інвертором НІ . Алгебричний запис функції І-НІ : $F = \overline{X_1 \cdot X_2}$
	2-Input XOR Gate – виключне АБО . Сигнал логічної одиниці на виході елемента буде спостерігатися, якщо на входах є сигнали обох логічних рівнів незалежно від їх відсоткового співвідношення. Якщо на всіх входах елемента подано сигнали одного й того самого логічного рівня, то на виході буде спостерігатися сигнал логічного нуля. Двійкове число на виході елемента виключного АБО є молодшим розрядом суми двійкових чисел на його входах
	2-Input XNOR Gate – виключне АБО-НІ . Елемент XNOR побудовано шляхом поєднання логічного елемента виключне АБО з інвертором
	Tristate Buffer – тристабільний буфер (елемент із трьома станами) має додатковий дозвільний вхід
	Buffer – буфер використовується для подання великих струмів у навантаження. Цей буфер є неінвертувальним
	Schmitt Triggered Inverter – тригер Шмітта

Логічні цифрові мікросхеми (у другому рядку вкладки групи, (див. рис. 2.37), містять цифрові ІМС ТТЛ- і КМОП-серій.

2.3.10. Група *Digital*

Група *Digital* містить комбіновані цифрові компоненти мікросхеми, зображені на рис. 2.38.

У першому рядку вкладки групи знаходяться комбіновані цифрові мікросхеми: полусуматори, повні двійкові суматори й різні типи тригерів: RS-, JK- і D-тригери.

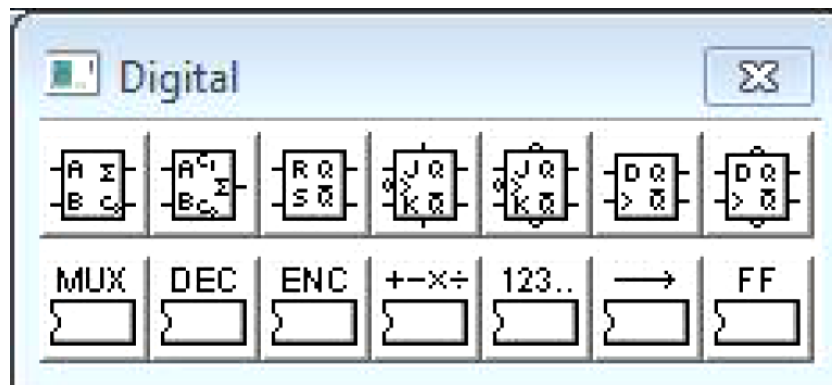
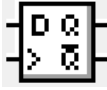


Рис. 2.38. Панель компонентів *Digital*

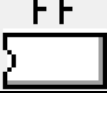
Характеристику цих цифрових мікросхем наведено в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Позна- чення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Digital</i>
	Half Adder – полусуматор виконує додавання двох однорозрядних двійкових чисел і має два входи доданків (A і B) і два виходи (суми (Sum) і перенесення (Carry)). Додавання виконується з допомогою елемента виключне АБО, а перенесення – з допомогою елемента І
	Full Adder – повний двійковий суматор виконує складання трьох однорозрядних двійкових чисел. Результатом є дворозрядне двійкове число, молодший розряд має назву суми, старший розряд – перенесення. Пристрій має три входи: доданків A і B і перенесення (CarryIN) і два виходи: суми (Sum) і перенесення (CarryOUT) Повний двійковий суматор можна реалізувати на двох півсуматорах і одному елементі АБО
	RS Flip-Flop – RS-тригер має тільки два встановлювальних входи: S(set) – установлення виходу Q в одиницю і R (reset) – скидання виходу Q у нуль. Тому для тригера є неприпустимою одночасне подання команд установлення й скидання ($R = S = 1$), оскільки стан виходу в цьому разі залишається невизначеним
 	JK Flip-Flop – JK-тригер із прямим та інверсним тактовими входами та виходом передустановлення JK-тригер зі входами установлення логічної одиниці, відмінною особливістю якого є наявність двох інформаційних входів: J і K. Ці входи визначають змінення стану тригера по фронту імпульсу на лічильному вході JK-тригер зі входами установлення логічного нуля, подібний до JK-тригера, описаного вище, за винятком того, що установлення тригера виконується логічним нулем
 	D Flip-Flop – D-тригери без передустановлення й зі входами передустановлення. Інформація у D-тригері зі входу D заноситься в тригер за додатним перепадом тактового імпульсу й зберігається до наступного додатного перепаду на лічильному вході. D-тригер зі входами установлення логічного нуля є подібним до D-тригера, описаного вище, за винятком того, що в нього є два встановлювальних входи: установлення (Present) і скидання (Clear), які працюють, як у RS-тригера

У другому рядку вкладки групи *Digital* (див. рис. 2.35) знаходяться такі ІМС: серійні мікросхеми мультиплексорів, декодерів/демультиплексорів, кодерів, елементів арифметико-логічних пристроїв, серійні мікросхеми тригерів, лічильників і регістрів. Характеристику цих цифрових мікросхем наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Digital</i>
	Серійні мікросхеми мультиплексорів Вибір типу мікросхеми здійснюється у вкладці <i>Component Propetis...</i> Мультиплексор «із восьми в одиницю» (селектор даних) здійснює операцію передання сигналу з вибраного входу на вихід Цей мультиплексор має 12 входів, вісім з яких – входи даних ($D0 - D7$); три – входи адреси (A, B, C) і один – дозвольний вхід (EN). Мультиплексор працює в разі подання на вхід дозволу логічного нуля. Вихід W є доповненням виходу Y
	Серійні мікросхеми декодерів/демультиплексорів Дешифратор має три адресних входи (A, B, C), два дозвольних входи ($G1, G2$) і вісім виходів ($Y0 - Y7$). Номер виходу з активним станом дорівнює числу N, яке визначається станом адресних входів $N = 22C + 21B + 20A$ Активним рівнем є рівень логічного нуля. Дешифратор працює, якщо на вході $G1$ потенціал є високим, а на $G2$ – низьким. В інших випадках усі виходи є пасивними, тобто мають рівень логічної одиниці Демультиплексор виконує операцію, обернену до мультиплексора, і передає дані зі входу на той вивід, номер якого дорівнює адресі. Цей пристрій має чотири входи й вісім виходів. Якщо на вході G є логічна одиниця, то на всіх виходах також буде логічна одиниця
	Серійні мікросхеми кодерів Пріоритетний шифратор виконує операцію, обернену до дешифратора Тільки один із входів шифратора повинен мати активний рівень. На цьому шифраторі за наявності на декількох входах активного стану активним є вхід зі старшим номером. Крім того, вихід дешифратора є інверсним, тобто значення розрядів двійкового числа на виході є інвертованими
	Серійні мікросхеми елементів арифметико-логічних пристроїв Вибір типу мікросхеми здійснюється у вкладці <i>Component Propetis...</i>
	Серійні мікросхеми лічильників Вибір типу мікросхеми здійснюється у вкладці <i>Component Propetis...</i>
	Серійні мікросхеми регістрів Вибір типу мікросхеми здійснюється у вкладці <i>Component Propetis</i>
	Серійні мікросхеми тригерів Вибір типу мікросхеми здійснюється у вкладці <i>Component Propetis</i>

2.3.11. Група Indicators

Група *Indicators* (індикаторні пристрої) містить амперметр і вольтметр із цифровим відліком, одиничні й багатосегментні світлоіндикатори, восьмирирядні пристрої запису даних і звуковий сигнал (зумер). Групу *Indicators* із зображенням приладів, які з'являються при натисканні на відповідну іконку компонента і потім переміщуються на робоче поле програми, показано на рис. 2.39.

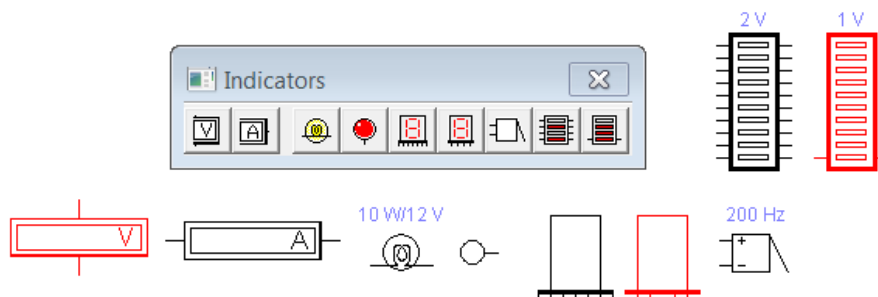


Рис. 2.39. Панель компонентів Indicators

Характеристику компонентів групи *Indicators* наведено в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Indicators</i>
	Voltmeter – вольтметр використовується для вимірювання змінної та постійної напруг. Виділена товстою лінією сторона прямокутника, що зображує вольтметр, відповідає мінусовій клемі. Подвійним клацанням миші на зображенні вольтметра відкривається діалогове вікно для змінення параметрів вольтметра
	Ammeter – амперметр використовується для вимірювання змінного й постійного струмів. Виділена товстою лінією сторона прямокутника, що зображує амперметр, відповідає мінусовій клемі Подвійним клацанням миші на зображенні амперметра відкривається діалогове вікно для змінення параметрів амперметра
	Bulb – лампа розжарювання. Індикаційний елемент резистивного типу, що перетворює електроенергію на світлову і змінює свій колір («спалахує») при досягненні напруги на ньому від $0,5 V_{max}$ до V_{max} , де V_{max} – установлене користувачем значення максимальної напруги
	Red Probe – світлоіндикатор (колір світла). Пробник логічного рівня визначає логічний рівень (0 або 1) у певній точці схеми. Якщо досліджувана точка має рівень логічної одиниці, то індикатор засвітиться червоним кольором. З допомогою команди <i>Value</i> в меню <i>Circuit</i> можна змінити колір світіння пробника
	Seven-Segment Display – семисегментний індикатор (тип). Кожен із семи виводів індикатора керує відповідним сегментом від <i>a</i> до <i>g</i>

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Indicators</i>
	Decoded Seven-Segment Display – семисегментний індикатор із дешифратором призначено для відображення на своєму дисплеї шістнадцятих чисел від 0 до F, що задаються станом на вході індикатора
	Buzzer – звуковий індикатор. Зумер застосовується для звукової сигналізації про перевищення напруги, яка підводиться до нього. З допомогою команди <i>Value</i> з меню <i>Circuit</i> можна задати порогову напругу й частоту звукового сигналу
	Bargraph Display – лінійка з 10 незалежних світлодіодів (напруга, номінальний і мінімальний струм)
	Decoded Bargraph Display – лінійка з 10 світлодіодів з убудованим АЦП (максимальна й мінімальна напруги)

На рис. 2.40 показано найменування сегментів семисегментного індикатора.

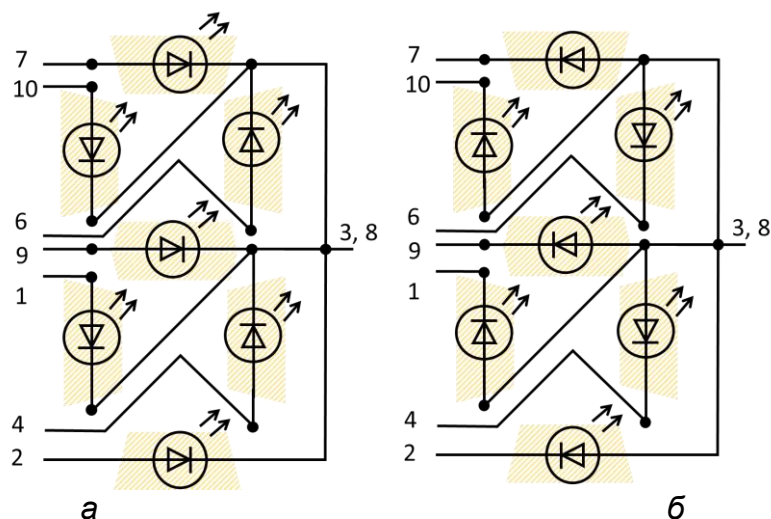


Рис. 2.40. Семисегментні індикатори: а – зі з'єднаними катодами; б – зі з'єднаними анодами

Параметри вольтметра, які можна змінювати: вид вимірюваної напруги (опція *Mode*, яку вибирають зі списку) і величина внутрішнього опору (уводиться з клавіатури в рядку *Resistance*).

Під час вимірювання змінної синусоїдальної напруги (АС) вольтметр показуватиме дійсне значення напруги U_d , що визначається формулою

$$U_d = U_M / \sqrt{2},$$

де U_M – амплітудне значення напруги.

Внутрішній опір вольтметра 1 МОм, установлений за замовчуванням, зазвичай слабо впливає на роботу схеми, і його значення можна змінити,

проте використання вольтметра з дуже великим внутрішнім опором у схемах із низьким вихідним імпедансом може призвести до математичної помилки під час моделювання роботи схеми. Як вольтметр можна використовувати також мультиметр.

Параметри амперметра, які можна змінювати: вид вимірюваного струму (опція *Mode*, яку вибирають зі списку) і величина внутрішнього опору (вводиться з клавіатури в рядку *Resistance*). Під час вимірювання змінного синусоїдального струму (AC) амперметр буде показувати його дійсне значення I_d , що визначається формулою

$$I_d = I_M / \sqrt{2}$$

де I_M – амплітудне значення струму.

Внутрішній опір 1 МОм, установлений за замовчуванням, зазвичай мало впливає на роботу схеми, і його значення можна змінити, проте використання амперметра з дуже маленьким внутрішнім опором у схемах із великим вихідним опором може призвести до математичної помилки під час моделювання роботи схеми. Як амперметр можна використовувати мультиметр.

2.3.12. Група Controls

Група *Controls* містить аналогові обчислювальні пристрої (рис. 2.41).

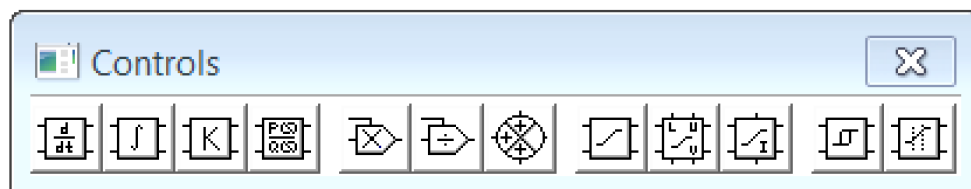


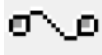
Рис. 2.41. Панель компонентів *Controls*

Характеристику компонентів групи *Controls* наведено в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі <i>Controls</i>
	Voltage Differentiator – диференціатор Диференціатор – пристрій, коефіцієнт посилення якого має збільшуватися зі збільшенням швидкості змінення вхідного сигналу
	Voltage Integrator – інтегратор Інтегратор – схема з вихідною напругою, що дорівнює сумі його вхідних напруг за послідовні проміжки часу
	Voltage Gain Block – масштабувальна (безінерційна, пропорційна) ланка

Таблиця 2.12

Позначення	Назва і стисла характеристика компонентів панелі Miscellaneous
	Fuse – плавкий запобіжник – елемент, що захищає коло від проходження по ньому струму, який перевищує задану максимальну величину. Якщо в колі, у якому ввімкнено запобіжник, струм досягає встановленої користувачем величини, запобіжник розмикає коло, і струм у ньому стає таким, що дорівнює нулю
	Write Data – восьмирозрядний пристрій запису даних
	Netlist Component – набір макромоделей (підсхем) у форматі SPICE
	Lossy Transmission Line – лінія передачі з утратами, яка характеризується такими параметрами, як довжина лінії, опір на одиницю довжини, індуктивність на одиницю довжини, ємність на одиницю довжини, провідність на одиницю довжини, кількість послідовно ввімкнутих елементарних сегментів
	Lossless Transmission Line – лінія передачі без утрат з можливістю редагування хвильового опору, часу затримання поширення сигналу в лінії, кількості послідовно ввімкнутих елементарних сегментів
	Crystal – кварцовий резонатор
	DC Motor – колекторний електродвигун постійного струму
	Triode Vacuum Tube – електровакуумний тріод
	Boost (Step-Up) Converter – імпульсний стабілізатор напруги підвищувального типу
	Buck (Step-Down) Converter – імпульсний стабілізатор напруги знижувального типу
	Buck-Boost Converter – імпульсний стабілізатор напруги
	Textbox – тестовий блок
	Title Block – блок заголовка

2.3.14. Група Instruments

Група *Instruments* містить контрольно-вимірювальні прилади й сім приладів з декількома режимами роботи: цифровий мультиметр, функціо-

нальний генератор, двоканальний осцилограф, вимірювач амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик, генератор слів (кодовий генератор), 16-канальний логічний аналізатор і логічний перетворювач, кожен з яких можна використовувати в схемі тільки один раз. Групу *Instruments* зображено на рис. 2.43.

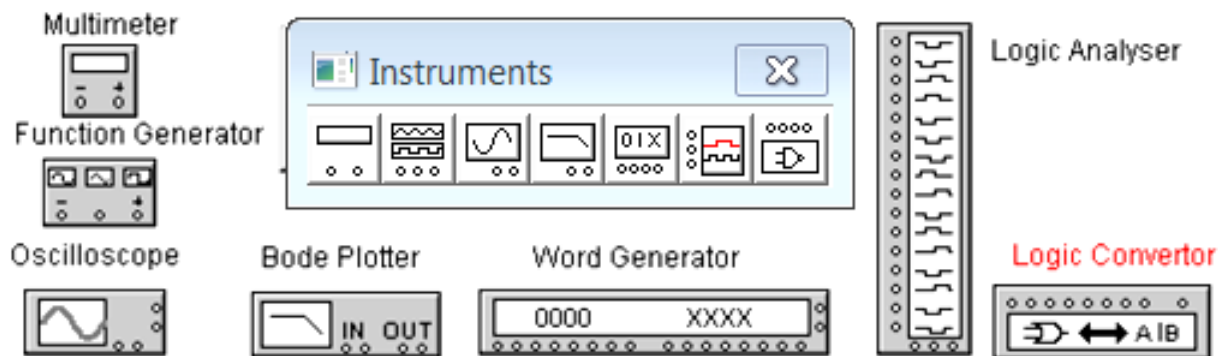


Рис. 2.43. Панель компонентів *Instruments*

Загальний порядок роботи з приладами є таким: іконка приладу курсором переноситься на робоче поле й під'єднується провідниками до досліджуваної схеми.

Для приведення приладу до робочого (розгорнутого) стану необхідно двічі клацнути курсором на його значок. Розглянемо кожен прилад докладніше.

Multimeter (Мультиметр)

На лицьовій панелі мультиметра (рис. 2.44) розташовано дисплей для відображення результатів вимірювання, клеми для під'єднання до схеми й кнопки керування.

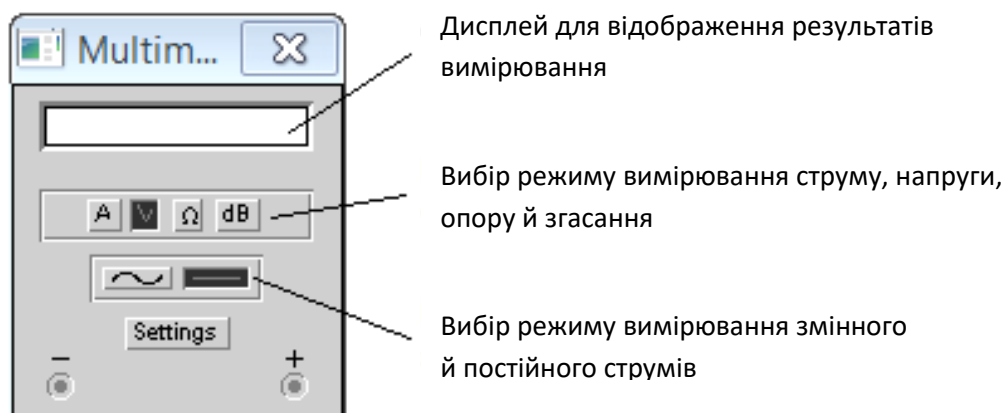


Рис. 2.44. Лицьова панель мультиметра

Кнопки керування $\langle A \rangle$, $\langle V \rangle$, $\langle \Omega \rangle$, $\langle dB \rangle$ забезпечують вибір режиму вимірювання струму, напруги, опору та еталонної напруги (в децибелах).

Кнопки керування $\langle \sim \rangle$ $\langle - \rangle$ забезпечують вибір режиму вимірювання змінного й постійного струмів.

Після натискання на кнопку *Settings* (режим установлення параметрів) відкривається діалогове вікно *Multimeter* (рис. 2.45), на якому позначено:

- *Ammeter resistance* – внутрішній опір амперметра;
- *Voltmeter resistance* – вхідний опір вольтметра;
- *Ohmmeter current* – струм через контрольований об'єкт;
- *Decibel standard* – установлення еталонної напруги V під час вимірювання загасання або підсилення в децибелах (за замовчуванням $V1 = 1$ В).

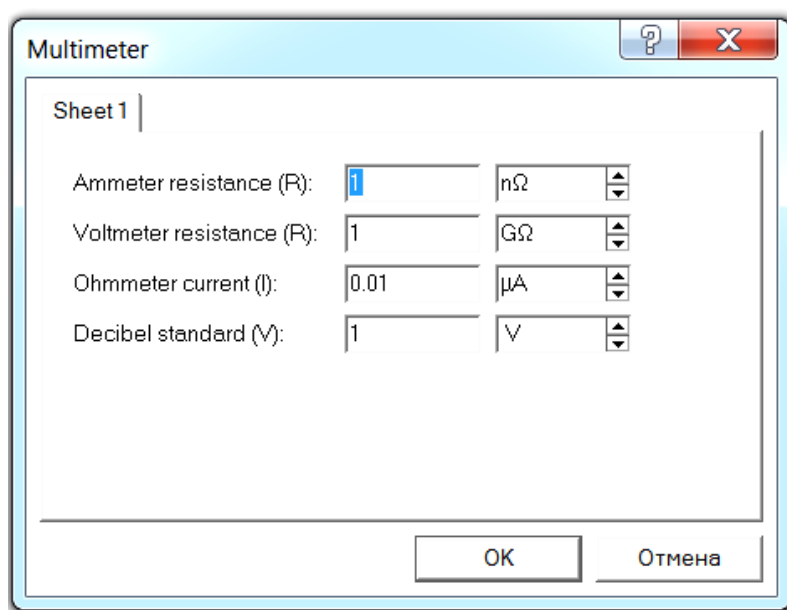


Рис. 2.45. Вікно установлення режимів мультиметра

Для передання використовується формула

$$K [\text{Дб}] = 20 \log (V2 / V1),$$

де $V2$ – напруга в контрольованій точці.

Наведемо приклад використання мультиметра в режимі dB . Припустимо, що необхідно виміряти передатність аудіопідсилювача на частоті 20 кГц. Для цього до його входу під'єднаємо джерело змінної синусоїдної напруги частотою 20 кГц і напругою $V1 = 1$ В, а до виходу – мультиметр.

Припустимо, що в режимі вимірювання напруги отримано величину вихідної напруги $V2 = 100$ В. Отже, передатність підсилювача $K = V2 / V1 = 100$. Переведемо мультиметр у режим dB , тоді отримаємо

значення коефіцієнта підсилення в децибелах: $K = 20\log 100 = 40$ дБ. Далі припустимо, що частоту вхідного сигналу збільшено до 100 кГц і отримано напругу на виході підсилювача $V_2 = 0,1$ В, тобто в цьому разі передатність $K = 0,1 / 1 = 0,1$. У режимі *dB* мультиметр виміряє $K = 20\log 0,1 = -20$ дБ. Зазначимо, що мультиметр вимірює ефективне (дійсне) значення змінного струму.

Примітка. Мультиметр вимірює ефективне (дійсне) значення змінного струму.

Function Generator – функціональний генератор

Функціональний генератор є ідеальним джерелом напруги, який виробляє сигнали синусоїдальної, прямокутної або трикутної форми. Лицьову панель генератора показано на рис. 2.46.

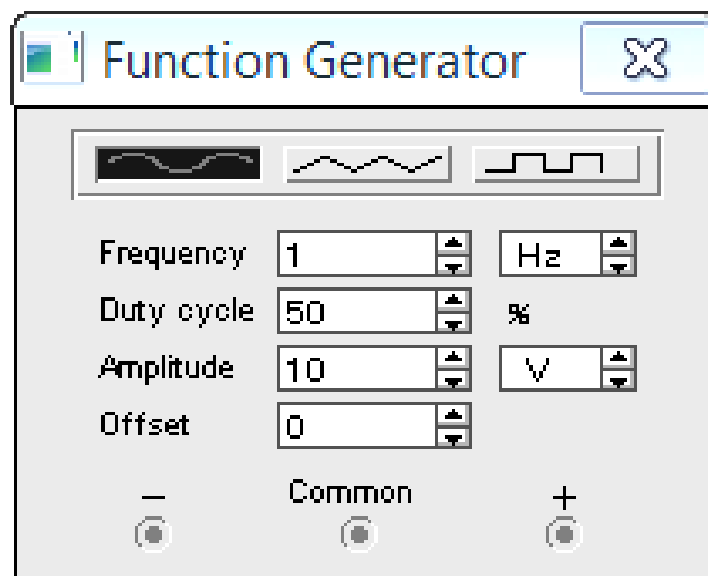


Рис. 2.46. Вікно установлення режимів мультиметра

Керування генератором здійснюється органами керування, які забезпечують необхідні параметри сигналу:

- вибір форми вихідного сигналу (синусоїдної, трикутної та прямокутної) здійснюється натисканням на кнопку з відповідним зображенням;
- установлення частоти (*Frequency*) вихідного сигналу;
- установлення коефіцієнта заповнення (*Duty Cycle*) у відсотках, для імпульсних сигналів (відношення тривалості імпульсу до періоду повторення) – величина, обернена до шпаруватості, для трикутних сигналів – співвідношення між тривалостями переднього й заднього фронтів;
- установлення амплітуди (*Amplitude*) вихідного сигналу;
- установлення зміщення (*Offset*) вихідного сигналу;

– вихідні затискачі; під час заземлення клеми COM (загальний) на клеммах «–» і «+» отримуємо парафазний сигнал.

Oscilloscope – двоканалний осцилограф

Двоканалний осцилограф має два канали *A* і *B* з окремим регулюванням чутливості в діапазоні від 10 мкВ/под. (*mV/Div*) до 5 кВ/под. (*kV/Div*) і регулюванням зміщення за вертикаллю (*Y Position*).

Осцилограф, який імітується програмою *Workbench*, являє собою аналог двопробного запам'ятовувального осцилографа і має дві модифікації: просту й розширену. Розширена адаптація апарата за своїми можливостями наближається до кращих цифрових запам'ятовувальних осцилографів. Через те що розширена модель забирає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження за простою моделлю, а для докладного дослідження процесів використовувати розширену модель.

Осцилограф можна під'єднати до вже ввімкненої схеми або під час її роботи переставити виводи до інших точок – зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

Відкривається зображення передньої панелі простої моделі осцилографа натисканням ПКМ по його зображенню на робочому полі програми з кнопками керування, інформаційними полями й екраном (рис. 2.47).

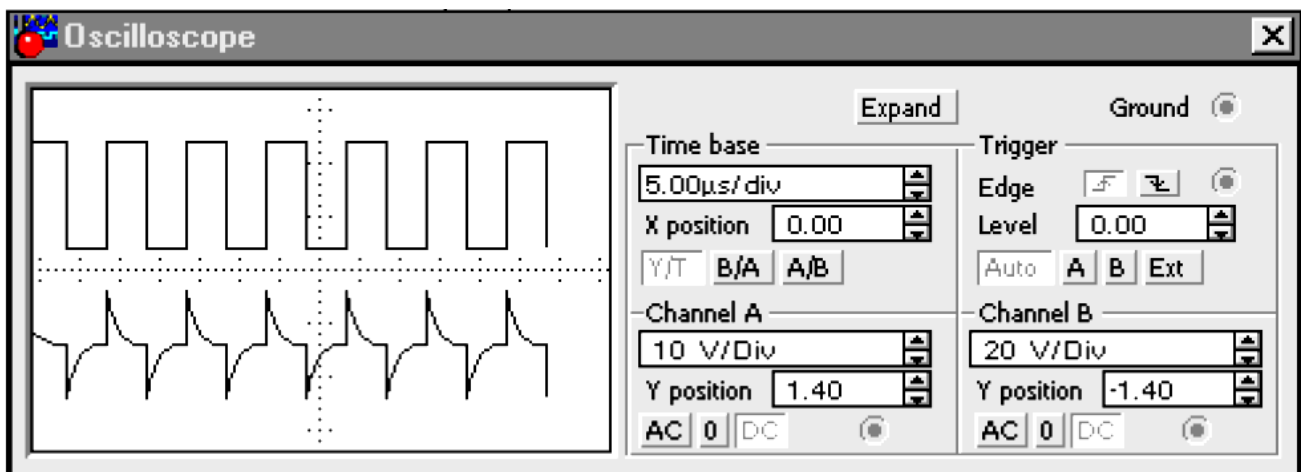


Рис. 2.47. Лицьова панель осцилографа

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

Налаштування осцилографа. Для проведення вимірювань осцилограф необхідно налаштувати, для чого слід задати:

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

Налаштування осцилографа виконується з допомогою полів керування, розташованих на панелі керування.

Панель керування має загальний для обох модифікацій осцилографа вигляд, її поділено на чотири поля керування:

- горизонтальною розгорткою (масштабом часу – *Time base*);
- синхронізацією (запуском – *Trigger*);
- каналом *A*;
- каналом *B*.

Керування масштабом часу призначено для задання масштабу по горизонтальній осі осцилографа під час спостереження напруги на входах каналів *A* і *B* залежно від часу. Часовий масштаб задається в секундах на поділку, мілісекундах на поділку, мікросекундах на поділку, наносекундах на поділку (*s/div*, *ms/div*, *μs/div*, *ns/div* відповідно). Величину однієї поділки може бути встановлено від 0,1 нс до 1 с. Масштаб можна дискретно зменшувати або збільшувати на один крок клацанням мишею на кнопці праворуч від поля.

Щоб отримати зручне для спостереження зображення на екрані осцилографа, слід установити масштаб часу так, щоб ціна двох поділок на горизонтальній осі приблизно становила період сигналу. Наприклад, якщо необхідно дослідити сигнал з частотою 1 кГц, то слід установити масштаб часу 0,05 мс. Під час аналізу роботи схеми часто виникає необхідність уповільнити моделювання, щоб на екрані осцилографа було зручно візуально сприймати інформацію (наприклад, під час дослідження перехідних процесів або коли під час експерименту необхідно здійснити будь-які перемикання). Для цього слід збільшити мінімальну кількість розрахункових точок на цикл (період спостереження). Це можна зробити, виконавши команду *Analysis > Analysis Options > Instruments*, установивши в рядку *Minimum number of time points* (зазвичай достатньо 5000 точок). За замовчуванням кількість точок становить 100. Полегшити аналіз осцилограм може увімкнення режиму *Pause after each screen* (Пауза після кожного екрана). У цьому режимі розрахунок (моделювання) схеми зупиняється після того, як промінь осцилографа проходить весь екран. Це часто буває необхідним у разі труднощів із синхронізацією зображення на екрані осцилографа. Щоб продовжити розрахунок (моделювання) схеми, слід клацнути мишею по полю *Resume* (Продовжити) кнопки керування моделюванням або натиснути клавішу *F9* на клавіатурі. З допомогою кнопок, розташованих у полі рядка *X-POS*, можна дискретно зсувати початок осцилограм по горизонтальній осі. У цьому ж полі розташовано три кнопки (*<Y/T>*, *<A/B>*,

$<B/A>$), що дають змогу задавати тип залежності відображуваних сигналів. Під час натискання на кнопку $<Y/T>$ по вертикальній осі відкладається напруга, по горизонтальній – час, під час натискання на кнопку $<A/B>$ по вертикальній осі відкладається амплітуда напруги на вході каналу A , по горизонтальній – напруга каналу B , а під час натискання на кнопку $<B/A>$ – навпаки. Масштаб осей визначається виставленням відповідних каналів. У режимах A/B і B/A можна спостерігати частотні й фазові зсуви (фігури Ліссажу), петлі гістерезису, вольтамперні характеристики тощо.

Керування каналами A і B . Дві нижні частини панелі осцилографа є полями керування відображенням сигналів, поданих на входи каналів A і B відповідно. Верхнє вікно в полі дає змогу керувати масштабом осі відображуваної напруги по вертикальній осі. Ціну поділки можна дискретно встановлювати від 10 мВ/под. до 5 кВ/под. Масштаб для кожної осі встановлюють окремо. Щоб отримати зручне для роботи зображення на екрані осцилографа, перед початком експерименту слід установити масштаб, що відповідає очікуваній напрузі. Наприклад: під час подання на вхід змінного сигналу амплітудою 3 В слід установити масштаб вертикальної осі Y як 1 В/под.

Нижче розташовано поле, яке дає змогу дискретно зсувати вісь X уверх або вниз. Для того щоб розвести зображення від каналів A і B , слід скористатися зсувом по осі Y $<Y-POS>$ для одного або двох каналів.

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

Керування синхронізацією. У верхньому правому полі керування $TRIGGER$ визначають момент початку відображення осцилограми на екрані осцилографа. Кнопками в рядку $EDGE$ задають момент запуску осцилограми по фронту або по зрізу імпульсу на вході синхронізації. Поле $LEVEL$ дає змогу задавати рівень, у разі перевищення якого відбувається запуск осцилограми. Значення рівня можна зсунути на три поділки вниз або вгору. Осцилограф має чотири режими синхронізації:

- автоматичний ($AUTO$) – запуск осцилограми проводиться автоматично під час під'єднання осцилографа до схеми або її ввімкнення. Коли «промінь» доходить до кінця екрана, осцилограма знову прописується з початку екрана (новий екран);

- запуск по входу $<A>$ або $$, у якому сигналом запуску є такий, що надходить на відповідний вхід;

– «Зовнішній запуск» (*EXT – external*). У цьому випадку сигналом запуску є такий, що подається на вхід синхронізації.

Порада: якщо сигнал не відображається на осцилографі або є слабким – натисніть кнопку *AUTO*.

Розширена модифікація осцилографа. Натискання клавіші *<Expand>* на панелі простої моделі відкриває вікно розширеної моделі осцилографа (рис. 2.48).

Панель розширеної моделі осцилографа доповнено трьома інформаційними табло, на які виводяться результати вимірювання. Крім того, безпосередньо під екраном розміщено лінійку прокручування, що дає змогу спостерігати будь-який часовий проміжок процесу від моменту ввімкнення до моменту вимкнення схеми. По суті розширена модель осцилографа – це зовсім інший прилад, що дає змогу набагато зручніше й точніше провадити числовий аналіз процесів.

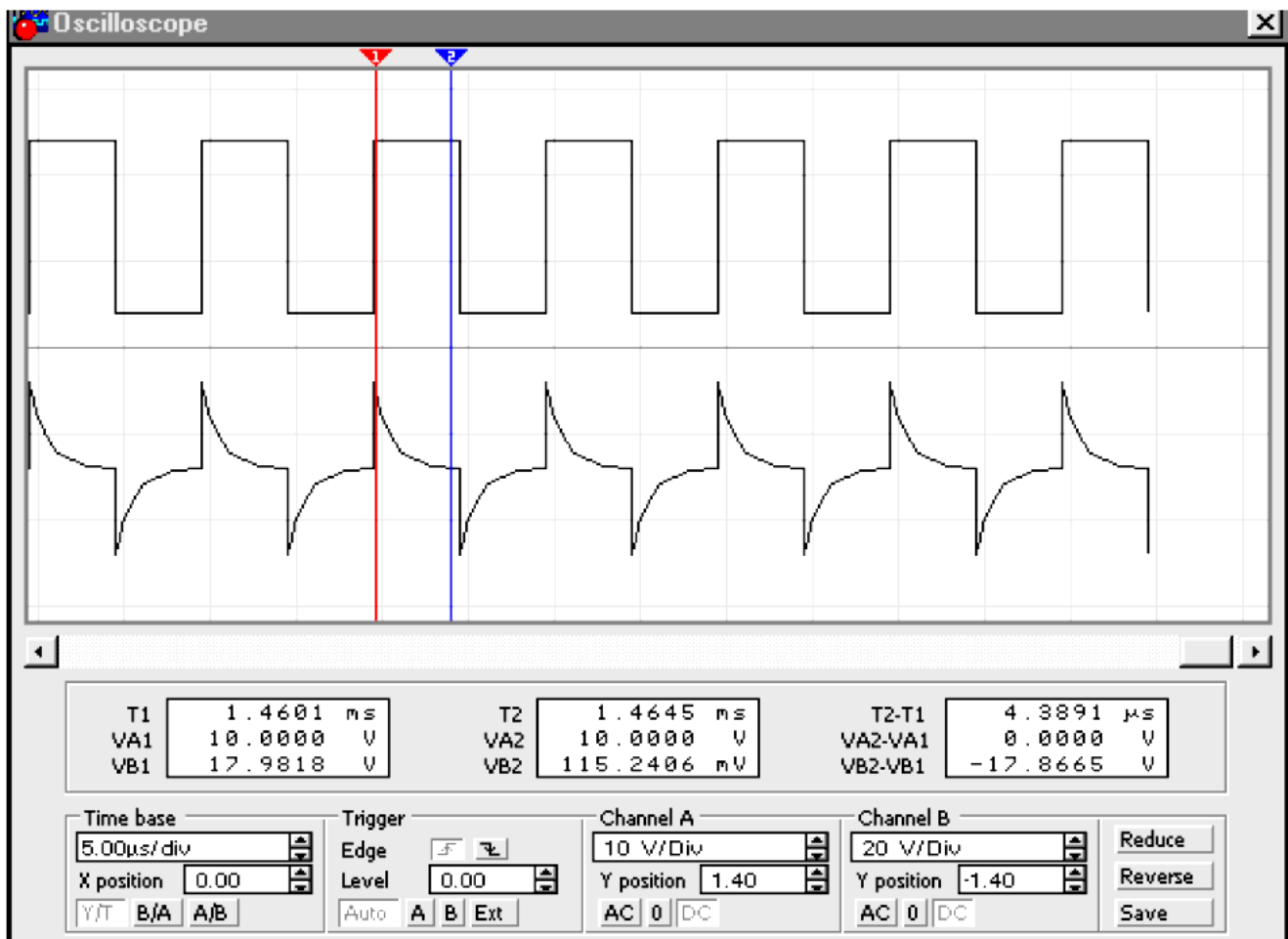


Рис. 2.48. Лицьова панель осцилографа в режимі *Expand*

На екрані осцилографа розташовано два маркери, що позначаються цифрами 1 і 2, з допомогою яких можна виміряти миттєві значення напруг у будь-якій точці осцилограми. Для цього просто слід перетягнути мишею

маркери за трикутники в їхній верхній частині в необхідне положення. Координати точок перетину першого маркера з осцилограмами відображаються на лівому табло, координати другого маркера – на середньому. На правому табло відображаються значення різниць між відповідними координатами першого й другого маркерів.

Результати вимірювання, отримані з допомогою розширеної моделі осцилографа, можна записати у файл. Для цього необхідно натиснути кнопку *Save* (зберегти) і в діалоговому вікні ввести ім'я текстового файлу в *ASCII*-кодах. У ньому записано дані про значення напруг у точках під'єднання осцилографа через проміжок часу, що дорівнює масштабу горизонтальної розгортки. Щоб повернутися до попереднього зображення осцилографа, слід натиснути клавішу *REDUCE*, розташовану в правому нижньому кутку.

Bode Plotter

Bode Plotter – графічний пристрій, який використовується як вимірювач амплітудно-частотних (АЧХ) і фазочастотних (ФЧХ) характеристик схеми. Лицьову панель вимірювача АЧХ-ФЧХ показано на рис. 2.49.

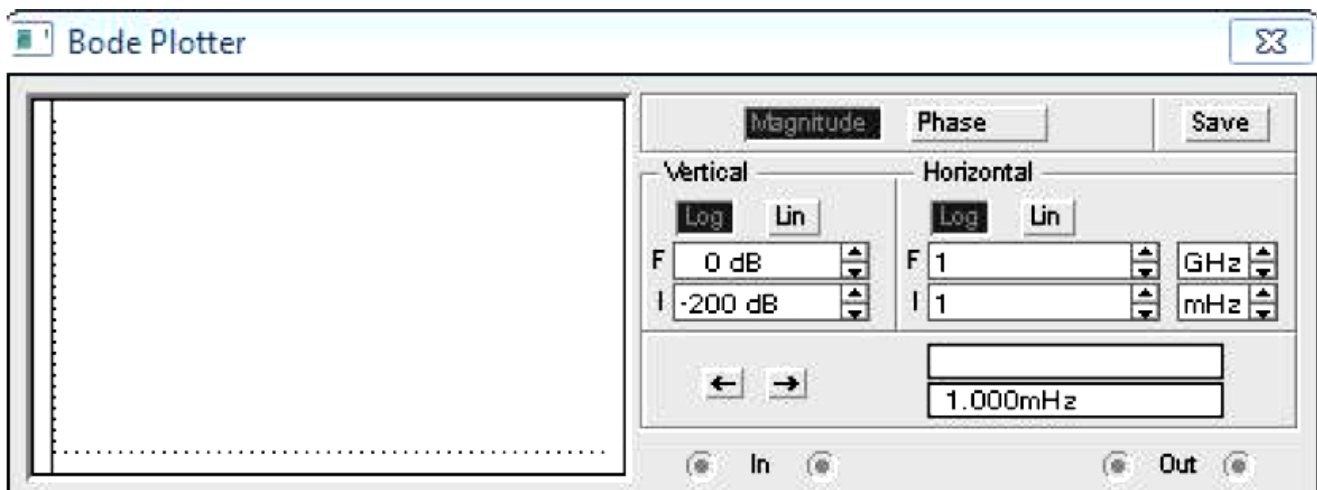


Рис. 2.49. Лицьова панель вимірювача АЧХ-ФЧХ

Вимірювач призначено для аналізу амплітудно-частотних (при натиснутій кнопці *MAGNITUDE*, яку ввімкнено за замовчуванням) і фазочастотних (при натиснутій кнопці *PHASE*) характеристик за логарифмічною (кнопка *LOG*, увімкнута за замовчуванням) або лінійною (кнопка *LIN*) шкалою по осях *Y* (*VERTICAL*) та *X* (*HORIZONTAL*).

Налаштування вимірювача полягає у виборі меж вимірювання передавності та варіації частоти з допомогою кнопок у віконцях *F* (максимальне значення) та *I* (мінімальне значення).

Значення частоти й відповідне їй значення передатності або фази індикуються у віконцях у правому нижньому куті вимірювача.

Значення цих величин в окремих точках АЧХ або ФЧХ можна отримати з допомогою вертикальної візирної лінійки, що на початку координат перебуває у вихідному стані й переміщується по графіку мишею або кнопками. Результати вимірювання можна записати також у текстовий файл. Для цього необхідно натиснути кнопку *SAVE* і в діалоговому вікні вказати ім'я файлу (за замовчуванням пропонується ім'я схемного файлу). В отриманому таким чином текстовому файлі з розширенням *.bod* АЧХ і ФЧХ видаються в табличному вигляді.

Під'єднання приладу до досліджуваної схеми здійснюється з допомогою затискачів *IN* (вхід) та *OUT* (вихід). Ліві клеми затискачів під'єднуються відповідно до входу й виходу досліджуваного пристрою, а праві – до загальної шини. До входу пристрою необхідно під'єднати функціональний генератор або інше джерело змінної напруги, при цьому нічого налаштовувати в цих пристроях не треба.

З допомогою бode-плотера можна побудувати топографічну діаграму на комплексній площині для будь-якої схеми.

Word Generator

Word Generator – генератор слів (кодовий генератор), який використовують для задання цифрових послідовностей. Генератор призначено для генерації 16 двійкових слів. Кодові комбінації необхідно ставити в шістнадцятковому коді. На схему виводиться зменшене зображення генератора слів (рис. 2.50).



Рис. 2.50. Лицьова панель генератора слів (зменшене зображення)

На шістнадцять входів у нижній частині генератора паралельно подаються біти слова, що генерується.

На вихід тактового сигналу надходить послідовність тактових імпульсів із заданою частотою.

Вхід синхронізації використовується для подання синхронізованого сигналу від зовнішнього джерела.

Зовнішній вигляд генератора слова в розгорнутому вигляді показано на рис. 2.51.

Кожну кодову комбінацію заносять з допомогою клавіатури, номер редагованої комірки фіксується у віконці *EDIT* блока *ADDRESS*. Усього таких осередків і, отже, комбінацій – 2048. Під час роботи генератора у відсіку *ADDRESS* індикуються номери поточної комірки (*CURRENT*), комірки ініціалізації або початку роботи (*INITIAL*) та кінцевої комірки (*FINAL*). Кодові комбінації, що видаються на 16 виходів (у нижній частині генератора), індикуються в текстовому (*ASCII*) і двійковому (*BINARY*) кодах.

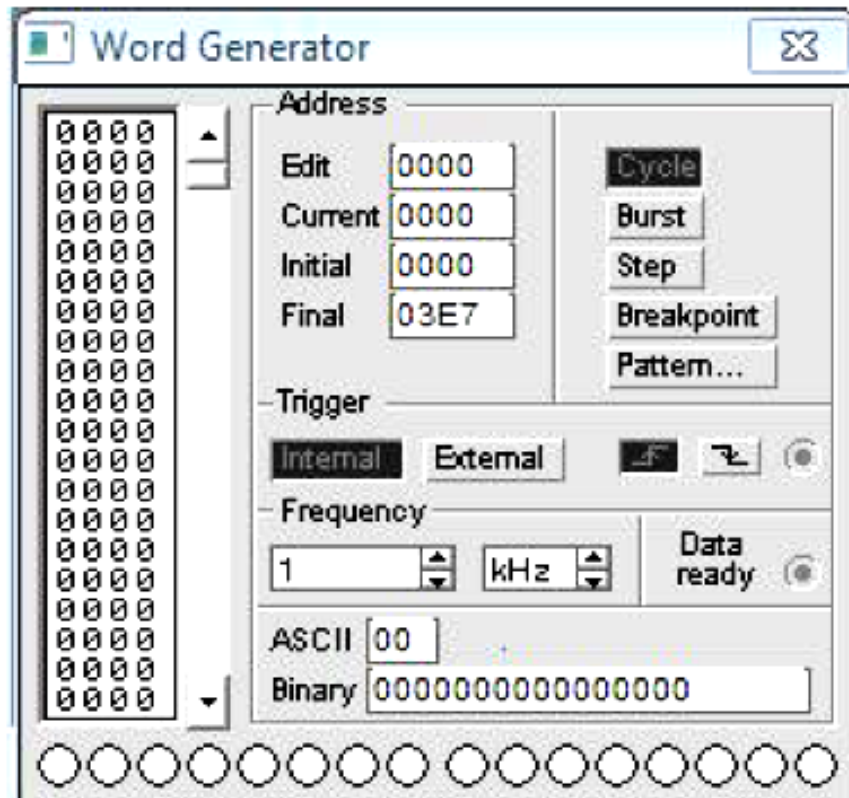


Рис. 2.51. Лицьова панель генератора слів (розгорнутий вигляд)

Запуск генератора здійснюється в покроковому (при натисканні кнопки *STEP*), циклічному (при натисканні кнопки *CYCLE*) режимах або з вибраного слова до кінця (при натисканні клавіші *BURST*) при заданій частоті посилянь (установлення – натисканням кнопок у вікнах *FREQUENCY*), при запуску по передньому або задньому фронту – з допомогою кнопок, розташованих праворуч у секції *Trigger*.

Зовнішній запуск генератора (натиснута кнопка *External*) здійснюється при готовності даних (клема *DATA READY*). Сигнал із цього виходу супроводжує кожен кодову комбінацію, що видається на вихід, і використовується в тому випадку, коли досліджуваний пристрій має властивість квітуння (підтвердження). У цьому випадку після отримання чергової кодової комбінації та сигналу *DATA READY*, що його супроводжує, досліджуваний пристрій має видати сигнал підтвердження отримання даних, що подається

ся на вхід синхронізації генератора (клема в блоці *Trigger*) і здійснює черговий запуск генератора.

Кнопку *BREAK POINT* призначено для переривання роботи генератора в указаній комірці. При цьому необхідну комірку вибирають на дисплеї генератора курсором, а потім натискають кнопку *BREAK POINT*. Після натискання кнопки *PATTERN* викликається меню (рис. 2.52), у якому наведено такі позначення:

- *Clear buffer* – стерти вміст усіх комірок (уміст буфера екрана);

- *Open* – завантажити кодові комбінації (з файлу з розширенням *.dp*);

- *Save* – записати всі набрані на екрані комбінації у файл;

- *Up counter* – заповнити буфер екрана кодовими комбінаціями, починаючи з «0» нульової комірки і далі з додаванням одиниці в кожній наступній комірці;

- *Down counter* – заповнити буфер екрана кодовими комбінаціями, починаючи з *FFFF* у нульовій комірці і далі зі зменшенням на одиницю у кожній наступній комірці;

- *Shift right* – заповнити кожні чотири комірки комбінаціями 1-2-4-8 зі зміщенням їх у наступних комірках управо;
Shift left – те саме, але зі зміщенням уліво.

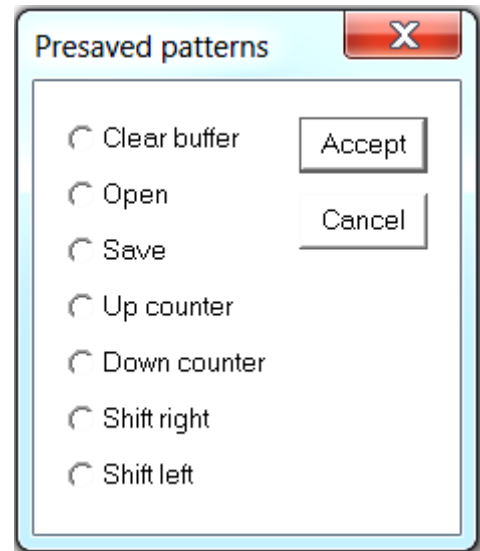


Рис. 2.52. Вікно попереднього установлення генератора слова

Logic Analyzer

Logic Analyzer – це восьмиканальний логічний аналізатор. На схему виводиться зменшене зображення логічного аналізатора (див. рис. 2.43). Зовнішній вигляд логічного аналізатора в розгорнутому вигляді показано на рис. 2.53.

Аналізатор призначено для відображення на екрані 16-розрядного монітора кодових послідовностей. Логічний аналізатор під'єднується до досліджуваної схеми з допомогою виводів у його лівій частині. Одночасно можуть спостерігатися сигнали в шістнадцяти точках схеми. Правий нижній затискач використовується для подання синхронізувальних імпульсів. Аналізатор забезпечено двома візирними лінійками, що дає змогу отримувати точні відліки часових інтервалів T_1 , T_2 , T_2-T_1 , а також лінійкою прокручування по горизонталі для аналізу процесів у великому часовому проміжку.

У блоці *Clock* є клеми для під'єднання як звичайного (*Extend*), так і вибіркового (*Qualifier*) джерела сигналів, що запускають аналізатор. Пара-

метри цих сигналів можна установити з допомогою меню, що викликається кнопкою *Set*. Запуск генератора можна проводити по передньому (*Positive*) або задньому (*Negative*) фронту запускового сигналу, з використанням зовнішнього (*External*) або внутрішнього (*Internal*) джерела. У вікні *Clock qualifier* можна встановити логічний сигнал (0, 1 або X), за наявності якого запускається аналізатор (рис. 2.54).

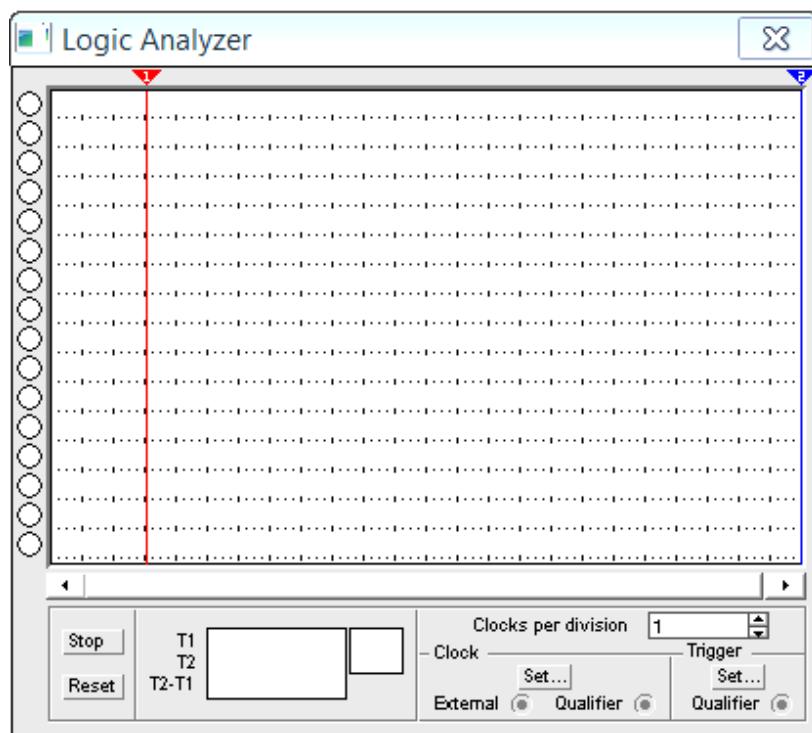


Рис. 2.53. Розширене зображення логічного аналізатора

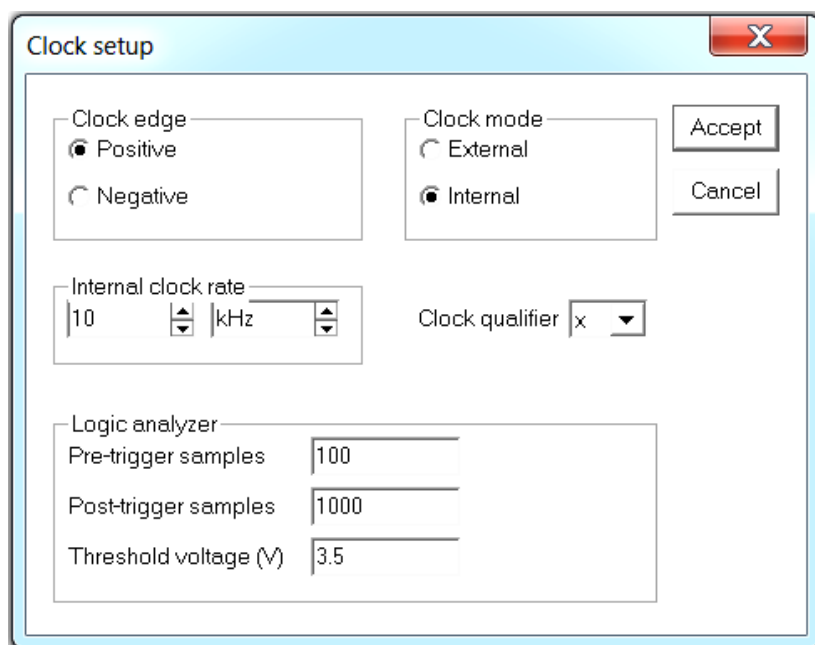


Рис. 2.54. Вікно встановлення параметрів блока *Clock*

Додаткові умови запуску аналізатора можна вибрати з допомогою діалогового вікна (рис. 2.55), яке викликається кнопкою *Set* у блоці *Trigger*. З допомогою цього вікна в каналах *A*, *B* і *C* можна задати необхідні двійкові 16-розрядні комбінації сигналів і потім у рядку *Trigger combinations* установити додаткові умови відбору, які показано на рис. 2.56:

- *A OR B* – запуск аналізатора від каналу *A* або *B*;
- *A OR B OR C* – запуск аналізатора від каналу або *A*, або *B*, або *C*;
- *A THEN B* – запуск аналізатора від каналу *A*, якщо сигнал у каналі *B* дорівнює одиниці;
- *(A OR B) THEN C* – запуск аналізатора від каналу *A* або *B*, якщо сигнал у каналі *C* дорівнює одиниці;
- *A THEN (B OR C)* – запуск аналізатора від каналу *A*, якщо сигнал у каналі *B* або *C* дорівнює одиниці.

У вікні *Trigger qualifier* можна встановити логічний сигнал (1, 0 або *X*), за наявності якого запускається аналізатор.

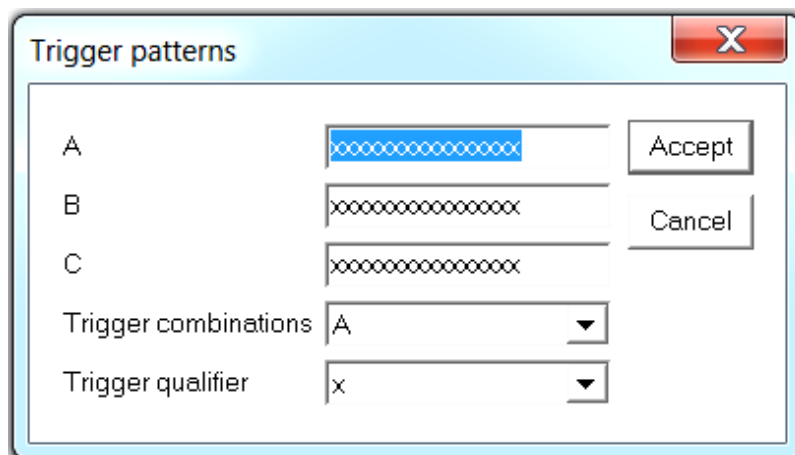


Рис. 2.55. Вікно встановлення додаткових умов запуску аналізатора

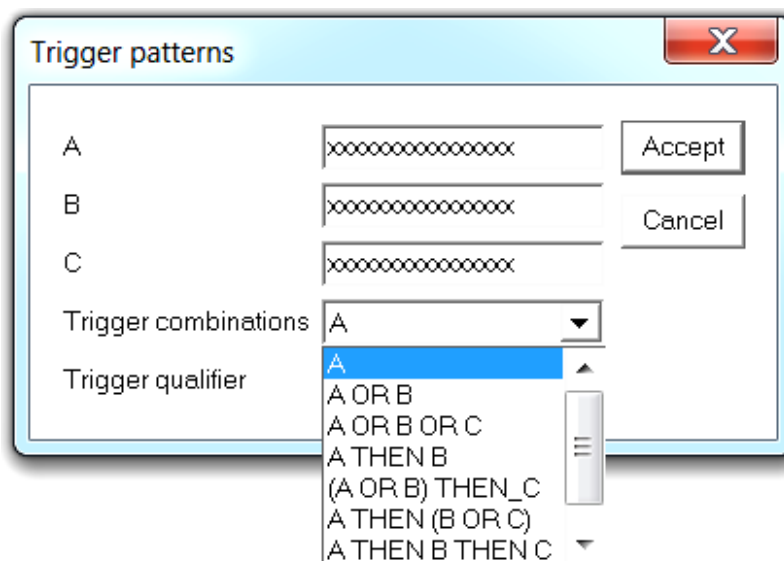


Рис. 2.56. Вікно встановлення додаткових умов відбору аналізатора

Logic Converter

Logic Converter (логічний перетворювач) – це прилад, який не має аналогів у реальному світі, призначено для виконання різних функціональних перетворень у схемі.

На екран виводиться зменшене зображення логічного перетворювача (див. рис. 2.43), подвійним клацанням на яке викликається розширене зображення логічного перетворювача (рис. 2.57).

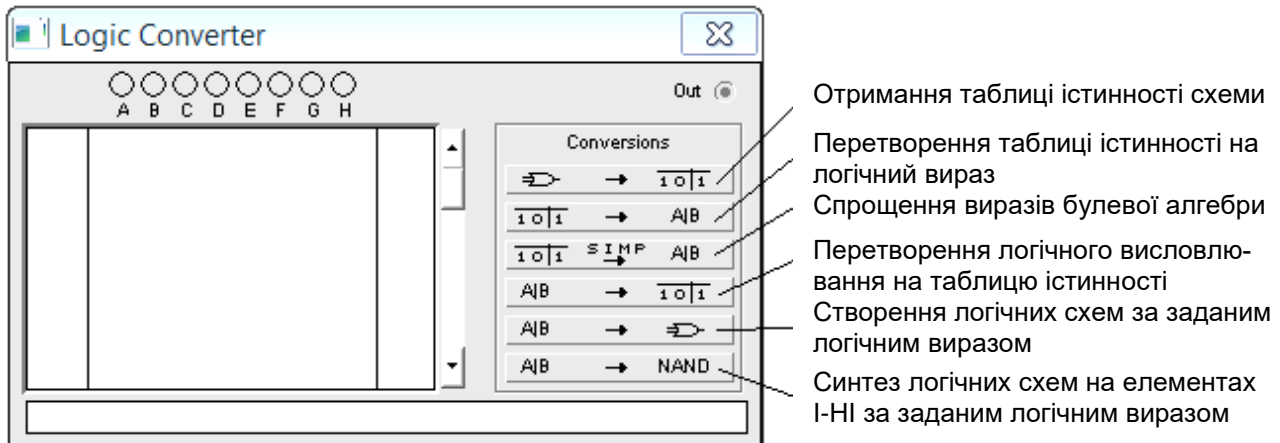


Рис. 2.57. Розширене зображення логічного перетворювача

На лицьовій панелі перетворювача показано клеми-індикатори входів $A, B, \dots, H$ та одного виходу OUT , екран для відображення таблиці істинності досліджуваної схеми, екран-рядок для відображення її булевих виразів (у нижній частині). У правій частині панелі розташовано кнопки керування процесом перетворення (*CONVERSIONS*). Можливі варіанти використання перетворювача є такими.

1. Логічний аналізатор n -вхідного пристрою з одним виходом (входи досліджуваного пристрою під'єднуються до клем $A - H$, а вихід – до клем OUT). У цьому випадку, використовуючи відповідні кнопки керування (див. рис. 2.57), отримуємо:

- таблицю істинності досліджуваного пристрою;
- булевий вираз, що реалізується пристроєм;
- мінімізований вираз;
- схему пристрою на логічних елементах без обмеження їх типу;
- схему пристрою лише на логічних елементах І-НІ.

2. Синтез логічного пристрою за таблицею істинності.

2.1. Клацанням миші по вхідних клемах $A, B, \dots, H$, починаючи з клем A , активізуємо необхідну кількість входів аналізатора, унаслідок чого на його екрані отримуємо початкову таблицю істинності, у якій буде наведено всі можливі комбінації вхідних сигналів і значення логічних сигналів (0 або 1) у стовпці OUT , що їм відповідають.

2.2. Відредагуємо отриману таблицю відповідно до завдання шляхом запису 0, 1 або X у стовпці *OUT* у рядках, які за комбінаціями вхідних сигналів відповідають заданим.

3. Синтез логічного пристрою за булевим виразом.

3.1. Булевий вираз запишемо в екран-рядок, попередньо активізувавши там мишею курсор. Використовуються символи *A – H*.

3.2. Натиснемо кнопку й отримаємо таблицю істинності.

Далі виконаємо команди п. 1, починаючи з мінімізації виразу.

3. СТВОРЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

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

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

3.1. Основні прийоми при створенні, коригуванні й моделюванні електричних схем

Під час створення, коригування й моделювання електричних схем у системи *EWB* використовують кілька прийомів, пов'язаних, наприклад, з вибором, переміщенням і видаленням компонентів схеми, формуванням з'єднань між ними тощо. Освоєння цих прийомів сприяє зменшенню часу моделювання схеми й одержання достовірної експериментальної інформації. Розглянемо основні з цих прийомів.

Переміщення компонентів на робоче поле програми. При створенні схеми кожний компонент дістають з відповідної групи шляхом установлення на нього курсора й натискання ЛКМ. Не відпускаючи ЛКМ, переносять компонент у необхідну частину робочого поля. За необхідності компонент розгортають на 90°, 180° або 270° у площині. Після такого компонування компоненти схеми з'єднують між собою сполучними проводами (трасами). Детально цей процес розглянуто в прикладі створення електричної схеми (див. підрозд. 3.2).

Клацанням по компоненту ПКМ можна отримати швидкий доступ до найпростіших операцій над положенням елемента, таким як обертання (*rotate*), розворот (*flip*), копіювання/вирізання (*copy/cut*), вставлення (*paste*), а також до довідкової інформації про нього (*help*). Це дуже зручно, наприклад, якщо необхідно змінити полярність під'єднання вимірювальних приладів (вольтметр, амперметр) під час їх роботи на постійному струмі.

Переміщення компонентів по полю моделювання з установленими лініями зв'язку є небажаними, тому що їх маніпуляція призведе до «скручування» трас і складного або неможливого прочитування схеми. Цей режим можна використовувати при малих переміщеннях компонентів, наприклад, для більш вільного, просторового розміщення компонентів з метою вказання найменувань порядкових номерів компонентів тощо.

Переміщення й видалення ліній зв'язку. Прагнення збудувати найпростішу в геометричному сенсі трасу з'єднання, а також для більш легкого розуміння й більшої акуратності електричної схеми, уже створені з'єднання (провідники) між елементами схеми можна переміщувати. Для цього необхідно перемістити курсор миші до провідника, трасування якого бажано змінити і клацнути ЛКМ, що приведе до виділення провідника. Після повторного натискання ЛКМ виникне двостороння стрілка ($\leftrightarrow$), яка відображає можливі напрямки переміщення провідника. Перемістивши провідник у необхідне місто, слід відпустити ЛКМ, після чого буде показано бажане трасування цього провідника. Такі переміщення здійснюються як по горизонталі, так і по вертикалі моделювання поля *EWB*.

Під час моделювання й набору схеми виникають випадки, пов'язані з необхідністю змінення або видалення лінії зв'язку (траси). Тут можливими є два підходи. У першому підводять курсор миші до виведення елемента і, клацаючи ЛКМ, намагаються відірвати лінію зв'язку від виведення, після чого відпускають клавішу і траса видаляється. У другому підводять курсор до лінії зв'язку, що видаляється, і активують її, клацаючи ЛКМ. Лінія стає товстішою. Не змінюючи положення курсора, клацають ПКМ. У вставці, що виникне, указують режим «Видалити» (Delete) і вмикають його. Після цього виділена траса видалиться.

Змінення кольору ліній зв'язку. Для змінення кольору лінії зв'язку слід навести курсор миші на необхідну лінію та двічі клацнути ЛКМ. У вікні (*Schematic Options*) натиснути кнопку «Установлення кольору траси» (*Set wire color*), вибрати колір траси (із шести кольорів) і дати команду системі *EWB* виконати (OK) змінення.

Трасування через точку з'єднання (Connector). Оскільки в точці з'єднання (елемент *Connector* з групи *Basic*) можна з'єднати тільки чотири провідники, в разі потреби з'єднання більшої кількості провідників виконують розгалуження. Для цього в місце провідника, де має бути розгалуження, переміщують додатковий компонент *Connector* з групи *Basic* і до нього під'єднують інші провідники. Під час монтажу траси це положення необхідно враховувати, невиконання призводить до спотворення лінії зв'язку. Якщо це сталося, то неправильну трасу слід відразу видалити й повторити монтаж до отримання бажаного результату. Дотримання цієї рекомендації дає змогу сформувати незахарашену електричну схему, яку легко читати.

3.2. Приклад створення електричної схеми

Розглянемо поетапно створення простої електричної схеми, ескіз якої зображено на рис. 3.1. Це – схема живлення лампи розжарювання (*Bulb*) *L1* від джерела постійної напруги – батареї *E1* (*Battery*). Призначення інших елементів: ключ *S1* (*Switch* – перемикач на два положення), який вмикає і вимикає схему (керується шляхом натискання клавіші пробілу); *R1* – резистор, що обмежує струм через лампу розжарювання *L1*; *V1* – вольтметр, який вимірює напругу, що подається на схему; *V2* – вольтметр, який вимірює напругу на резисторі *R1*; *V3* – вольтметр, який вимірює напругу в лампі розжарювання *L1*; *A1* – амперметр, який вимірює струм у колі.

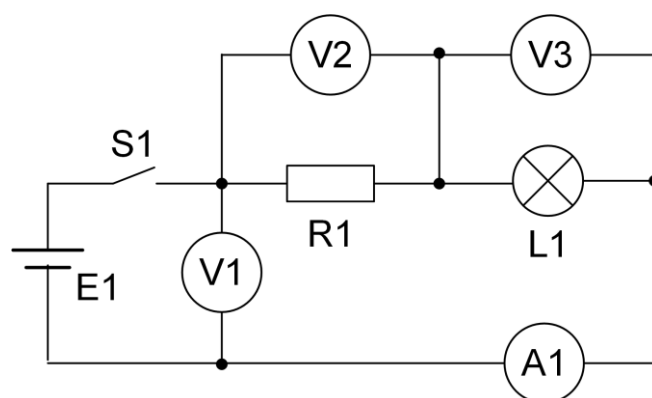


Рис. 3.1. Ескіз простої електричної схеми

В *EWB* можливими є два способи створення електричних схем. У першому спочатку на робоче поле з відповідних груп виносяться всі необхідні компоненти. Цей метод застосовується при невеликій кількості компонентів (прості електричні схеми). У більш складних схемах при великій кількості компонентів застосовують метод поетапного додавання елементів і їх під'єднання до схеми. Цей метод є більш універсальним, і тому будемо застосовувати саме його.

Порядок проведення роботи з будівництва принципової електричної схеми є таким.

1. Запустити *Electronics Workbench*.
2. Підготувати новий файл для роботи. Для цього виконати такі операції з меню: *File/New* та *File/Save as*. При виконанні операції *Save as* необхідно вказати ім'я файлу й каталог, у якому зберігатиметься схема.
3. Послідовно перенести необхідні елементи із заданої схеми на робочу область *Electronics Workbench*. Для цього слід вибрати одну із груп (розділ) на панелі інструментів (*Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog Ics, Mixed Ics, Digital Ics, Logic Gates, Digital, Indicators, Controls, Miscellaneous, Instruments*), у якій знаходиться вибраний елемент (компонент), потім перенести його на робочу область (клацнути мишею на цьому

елементі і, не відпускаючи клавішу миші, перенести його в необхідне місце схеми).

На рис. 3.2 показано, як з групи *Sources* на робоче поле програми додати елемент «Батарея», а з групи *Basic* – елемент «Ключ».

4. З'єднати контакти елементів згідно зі схемою, зображеною на рис. 3.1. Для цього клацнути ЛКМ по одному з контактів першого елемента, і, не відпускаючи клавішу, довести курсор до контакту другого елемента. Після відпускання ЛКМ система *EWB* на свій розсуд сформує прямокутну трасу з'єднання. Покрокову послідовність дій при з'єднанні перших елементів схеми (батареї *E1* і ключа *S1*) показано в табл. 3.1.

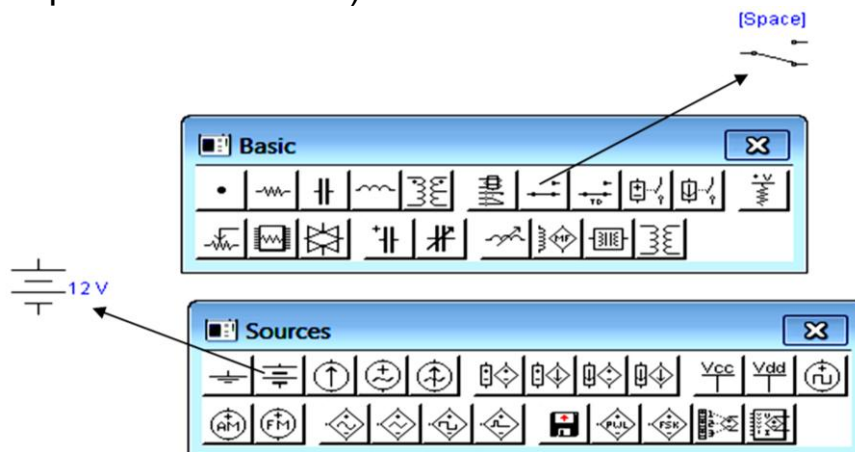


Рис. 3.2. Створення елементів схеми

Таблиця 3.1

Крок	Позначення	Примітка
1-й		Навести курсор миші на вивід елемента так, щоб з'явилася чорна точка контакту
2-й		Натиснути ЛКМ і, не відпускаючи її, провести провідник до виводу елемента, з яким створити з'єднання
3-й		Коли провідник досягне виводу іншого елемента, з'явиться точка контакту
4-й		Відпустити кнопку миші, після чого два контакти елементів стають електрично з'єднаними

Для наочності рисунки в табл. 3.1 наведено в декілька спрощеному вигляді, а елемент «Батарея» повернуто на кут 90° .

Таким самим чином продовжимо будувати електричну схему, послідовно додаючи елементи і з'єднуючи їх відповідним чином згідно з рис. 3.1. Для прикладу на рис. 3.3, а показано додавання до схеми вольтметра $V1$, а на рис. 3.3, б – резистора $R1$.

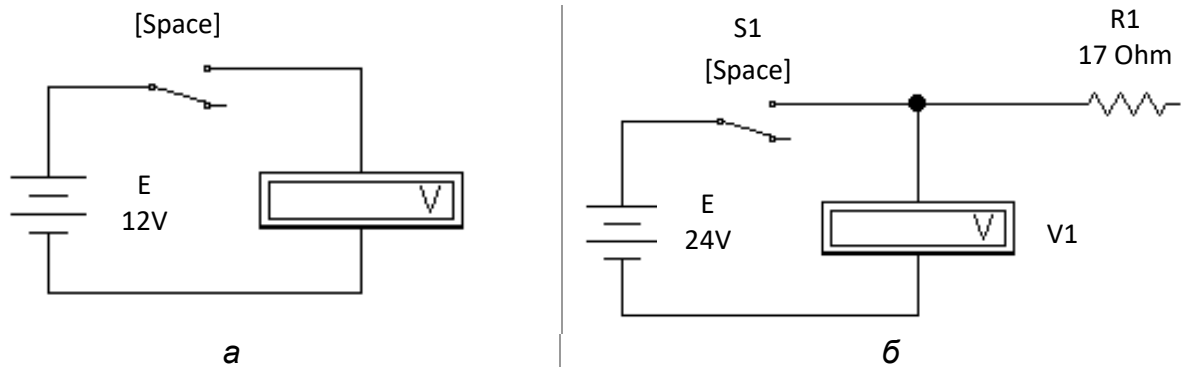


Рис. 3.3. Додавання до електричної схеми елементів:
а – вольтметра; б – обмежувального резистора

На рис. 3.3, б наведено також позиційні позначення елементів (джерело живлення $E1$, ключ $S1$, вольтметр $V1$, обмежувальний резистор $R1$) і, де необхідно, їх номінали (напруга батареї $E1$ – 24 В, опір резистора $R1$ – 17 Ом). Уносити цю інформацію можна як на першому етапі створення схеми, так і на завершальному. Унаслідок цього після додавання всіх елементів до схеми, задання їх номіналів і позначення позиційних номерів на робочому полі програми *Electronics Workbench* отримаємо схему (рис. 3.4) за ескізом (див. рис. 3.1).

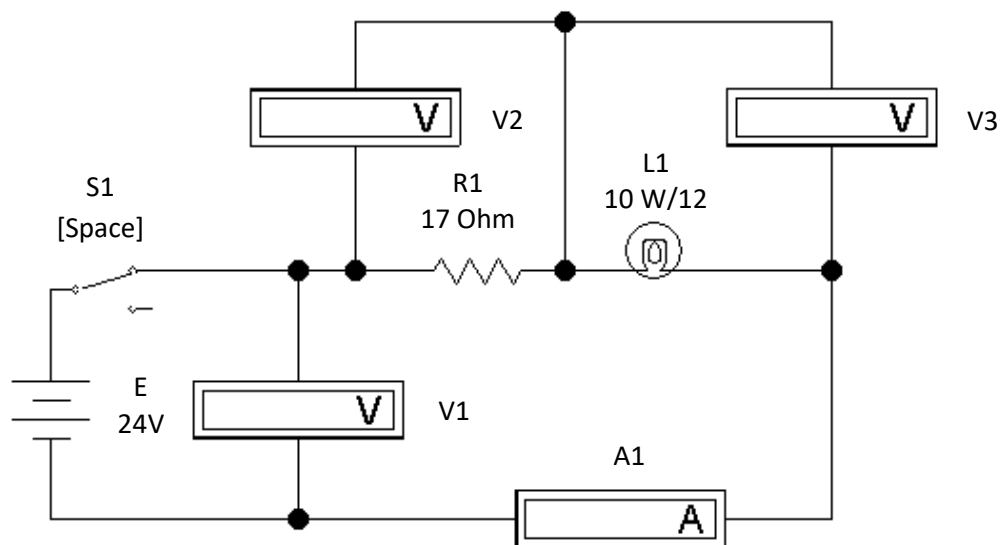


Рис. 3.4. Принципова електрична схема, створена в програмі
Electronics Workbench

При зіставленні двох однакових електричних схем (див. рис. 3.1 і 3.4) видно суттєву відмінність в їх зображеннях. Це пов'язано з тим, що на рис. 3.1 показано УГП елементів, регламентовані міжнародним стандартом *IEC 60617 – IEC 617-4:1996*, а на рис. 3.4 – стандартом *IEEE 315-1975 (ANSI Y32)*, який застосовується в основному в США. Деякі УГП резисторів у цих стандартах наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Тип резистора	УГП у стандарті <i>IEC</i>	УГП у стандарті <i>ANSI</i>
Постійний резистор		
Змінний резистор (потенціометр)		
Змінний резистор (реостат)		

3.3. Дослідження створеної електричної схеми

Для увімкнення створеної електричної схеми необхідно в правому верхньому куті натиснути кнопку 6 (див. рис. 2.1). Після цього вимірювальні прилади запрацюють і покажуть, що напруги на елементах схеми немає і струм у схемі не проходить (рис. 3.5).

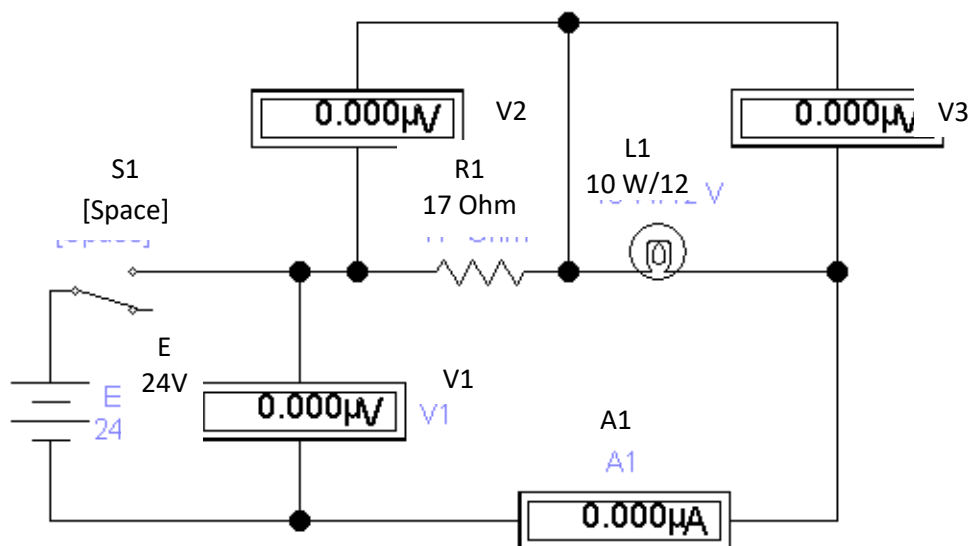


Рис. 3.5. Стан електричної схеми після натиснення кнопки 6

Увімкненням ключа *S1* шляхом натискання на клавіатурі клавіши «Пробіл» (*Space*) під'єднуємо батарею *E1* напругою 24 В до схеми. Про-

грама *Electronics Workbench* починає моделювати процес під'єднання навантаження до батареї *E1* (на рис. 3.6 показано стан схеми під час перехідного процесу) і збільшує напругу на ній до заданого значення 24 В. Стан схеми після закінчення перехідного процесу зображено на рис. 3.7.

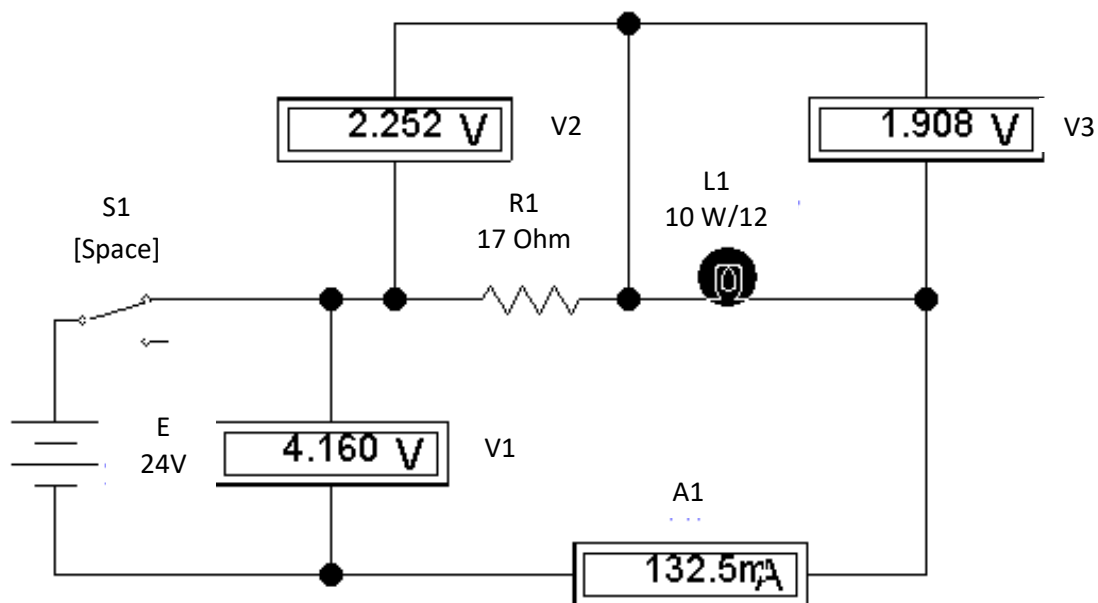


Рис. 3.6. Стан електричної схеми після натиснення кнопки 6 і ключа *S1* під час перехідного процесу

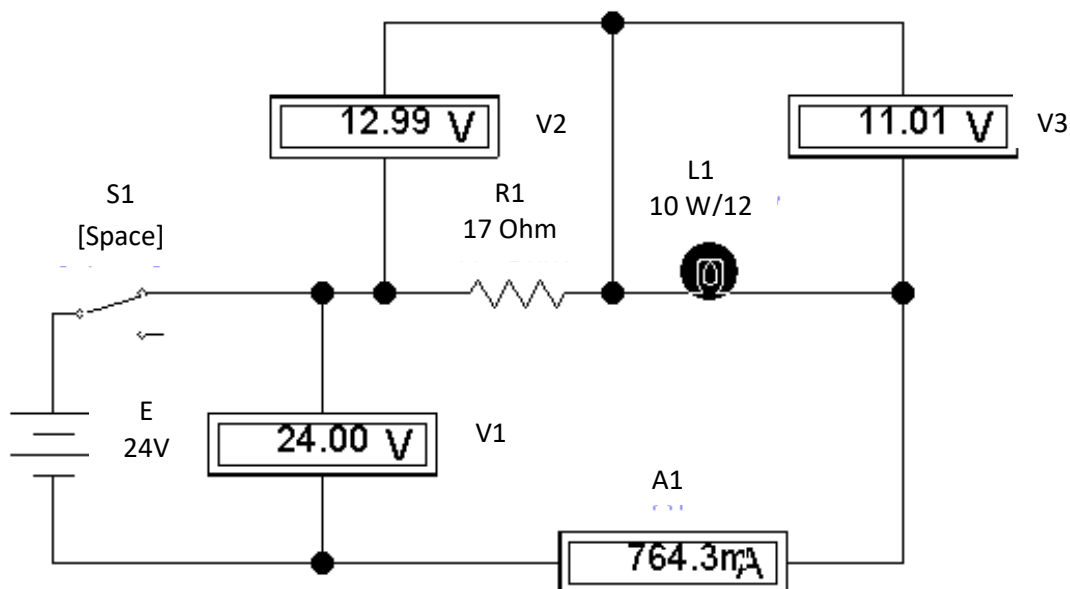


Рис. 3.7. Стан електричної схеми після завершення перехідного процесу

З аналізу стану схеми з допомогою вимірювальних приладів $V1$, $V2$ і $V3$ впливає, що схема працює коректно. Потужність, яку споживає лампа розжарювання $L1$, не перевищує її номінального значення.

4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

У цій частині пропонується для закріплення матеріалу, викладеного у попередніх розділах, виконати самостійно практичну роботу зі створення й моделювання простої електричної схеми.

Практична робота № 1 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Мета роботи: складання й редагування простої електричної схеми, дослідження процесів у простих колах з допомогою компонентів груп *Basic*, *Indicators* та *Instruments* у середовищі *EWB*.

Завдання

1. Сформувати навички складання й редагування простих електричних схем.
2. Уміти правильно встановлювати й налаштовувати вимірювальні прилади.
3. Звірити результати вимірювання з розрахунковими значеннями.
4. Проаналізувати результати, зробити висновки й оформити звіт.

Загальні положення

Закон Ома для ділянки кола між точками a і b (рис. 4.1) установлює відношення між струмом, напругою та опором на цій ділянці:

$$I = \frac{U_{ab}}{R} ,$$

де I – струм у резисторі R ;

U_{ab} – напруга або падіння напруги на ділянці ab ;

R – опір резистора.

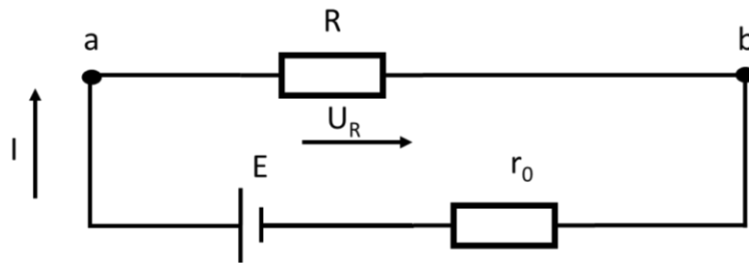


Рис. 4.1. Проста електрична схема

Розглянемо більш детально параметри резистора.

Резистор – дискретний елемент на основі провідника з певним активним опором. Принцип дії резисторів базується на використанні властивостей матеріалів створювати опір струму, що проходить по них. Варіанти умовного зображення резисторів наведено в табл. 3.2.

Одним із основних параметрів є *номінальний опір* – це електричний опір, значення якого наведено на резисторі або в нормативній документації і є вихідним для розрахунку відхилень від нього. [10].

Струм, який проходить через резистор, нагріває його. При досягненні значення струму більшого, ніж резистор може пропустити, є велика ймовірність його виходу з ладу (перегоряння). Щоб розуміти, які навантаження може витримувати резистор, уведемо параметр – «розсіювана потужність», який вимірюється у ватах і має діапазон від 0,125 до 5 Вт. На схемі кожен діапазон має своє позначення, приклади показано на рис. 4.2.

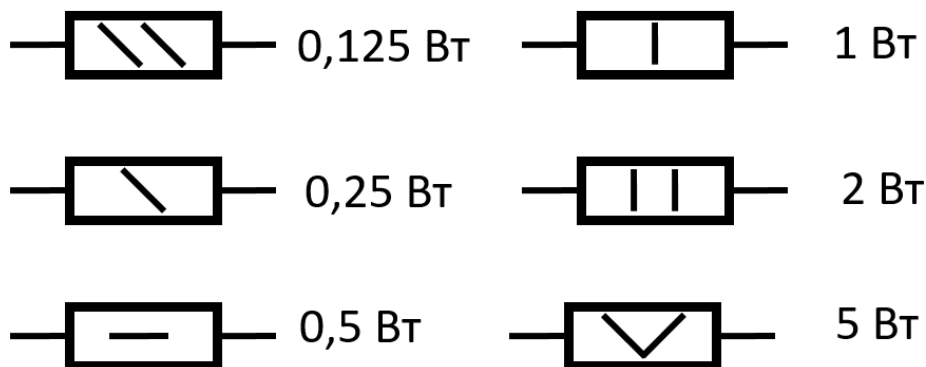


Рис. 4.2. Умовні позначення потужності резисторів на електричних схемах та їх значення

На схемі зазвичай підписують номінал резистора, а на самих елементах використовують маркування кольоровими лініями. У табл. 4.1 наведено відповідність значень маркування й номіналу резисторів.

Таблиця 4.1

Колір	1-й елемент	2-й елемент	3-й елемент	Множник, Ом	Допуск, %	$T_{ко}$, %/С
Золотий	-	-	-	0,01	5	-
Срібний	-	-	-	0,1	10	-
Чорний	-	0	0	1	20	-
Коричневий	1	1	1	10	1	100
Червоний	2	2	2	100	2	50
Помаранчевий	3	3	3	1000	-	15
Жовтий	4	4	4	10 000	-	25
Зелений	5	5	5	100 000	-	
Блакитний	6	6	6	1 000 000	-	10
Фіолетовий	7	7	7	10 000 000	-	5
Сірий	8	8	8	100 000 000	-	-
Білий	9	9	9	-	-	1

Розглянемо для прикладу, які номінали мають резистори, зображені на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Схема дослідження кола резисторів

Зазвичай схема складається з декількох елементів. В електричних колах з'єднання можуть бути послідовними, паралельними, «зіркою» та

«трикутником». Для спрощення розрахунків використовують еквівалентний опір $R_{\text{екв}}$.

Розглянемо такий випадок: електричне коло з послідовним з'єднанням резисторів $R_1 - R_4$ (рис. 4.4, а) і його спрощення до еквівалентного опору $R_{\text{екв}}$ (рис. 4.4, б).

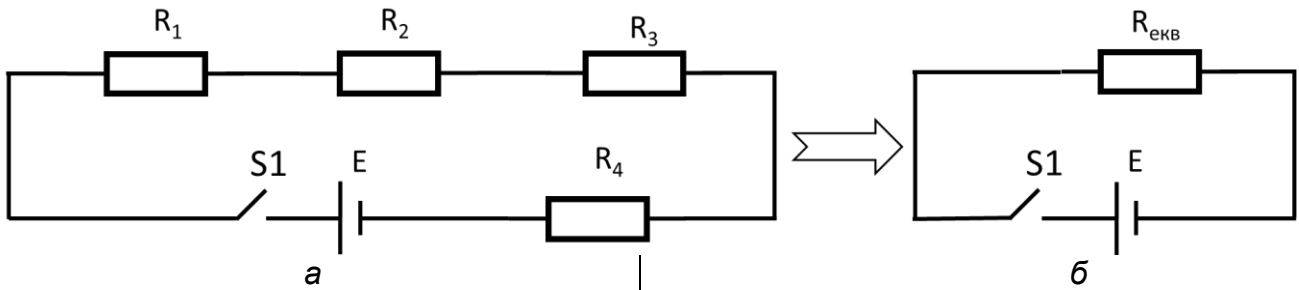


Рис. 4.4. Приклад створення еквівалентного опору у схемі з послідовним з'єднанням резисторів

При послідовному з'єднанні елементів кола загальний еквівалентний опір $R_{\text{екв}}$ дорівнює арифметичній сумі опорів окремих ділянок $R_1 \dots R_4$:

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4.$$

Недолік послідовного з'єднання елементів полягає в тому, що коли вийде з ладу один елемент, уся схема перестане працювати.

Наступний випадок: електричне коло з паралельним з'єднанням елементів (рис. 4.5).

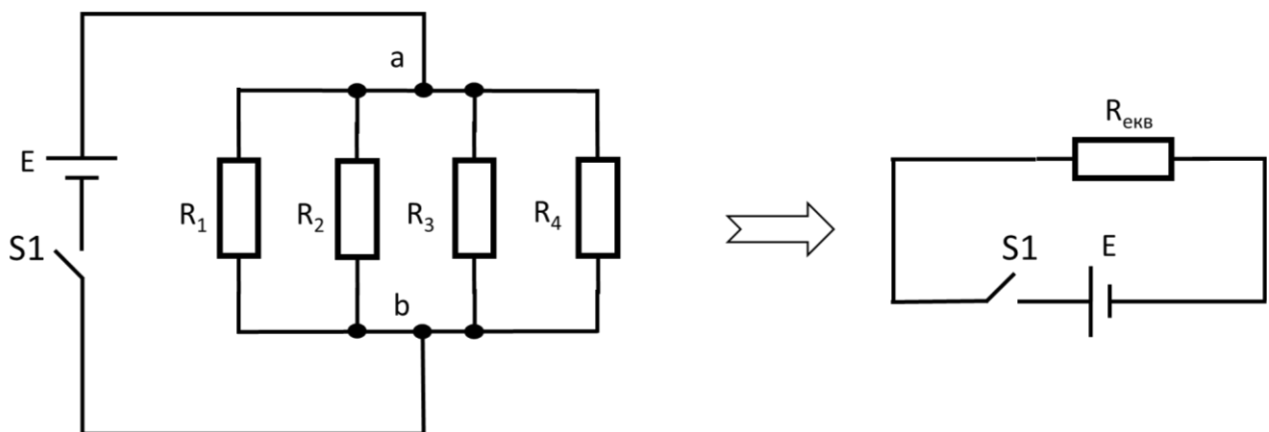


Рис. 4.5. Приклад створення еквівалентного опору у схемі з паралельним з'єднанням резисторів

З'єднання споживачів електричної енергії з однією й тією ж напругою, називають паралельним.

При паралельно з'єднаній схемі споживачі працюють у номінальному режимі, причому їх розраховано на однакову напругу живлення і будь-яку

потужність. Вмикання або вимикання одного або кількох споживачів не позначається на роботі інших. Тому ця схема є головною схемою під'єднання споживачів до джерела електричної енергії.

При послідовному з'єднанні елементів кола загальний еквівалентний опір електричної схеми обчислюється за виразом:

$$\frac{1}{R_{\text{екв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}.$$

Розглянемо останній випадок: змішане з'єднання (рис. 4.6). У цьому з'єднанні у схемі є групи паралельно й послідовно з'єднаних резисторів.

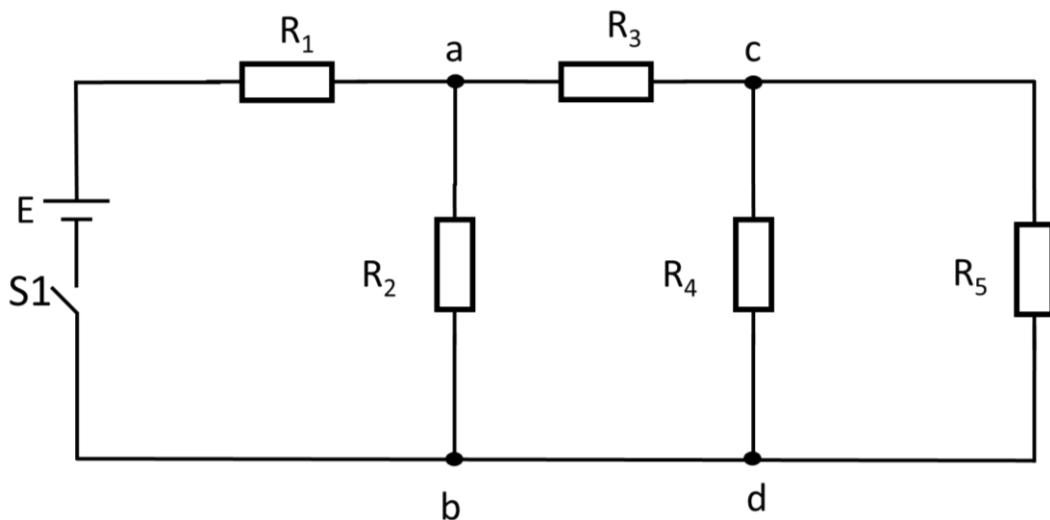


Рис. 4.6. Приклад створення еквівалентного опору у схемі зі змішаним з'єднанням резисторів (початкова схема)

Для розрахунку схем зі змішаним з'єднанням використовують метод еквівалентних перетворень.

На першому кроці виділяють окремі гілки, які мають два паралельно з'єднаних елементи або два послідовно з'єднаних елементи без розгалужень. Ці частини кола можна об'єднати й розрахувати опір цієї гілки або частини схеми. Так, на рис. 4.7, а зображено перший крок – об'єднання резисторів R_4 і R_5 зі схеми на рис. 4.6 (визначення їх еквівалентного опору R_{45}).

На другому кроці об'єднують резистори R_3 і R_{45} (рис. 4.7, б). Аналогічно продовжують об'єднувати елементарні з'єднання у схемі й розраховувати опір об'єднаних елементів (рис. 4.7, в), доки не залишиться один – $R_{\text{екв}}$ (рис. 4.7, г).

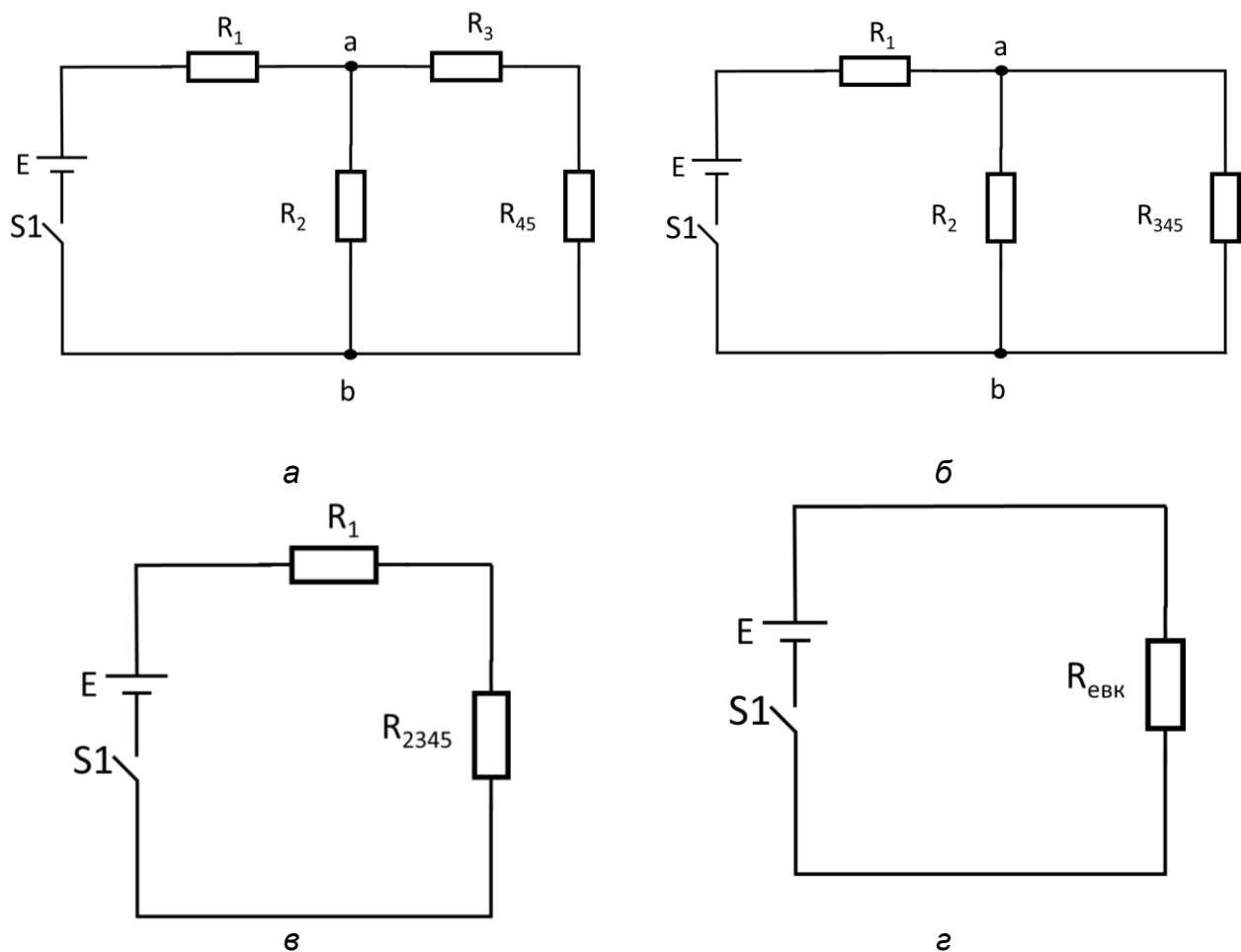


Рис. 4.7. Приклад створення еквівалентного опору з використанням схеми зі змішаним з'єднанням резисторів (1–3-й кроки об'єднання простих частин схеми)

Порядок виконання практичної роботи

Виконаємо дослідження схеми, зображеної на рис. 4.9.

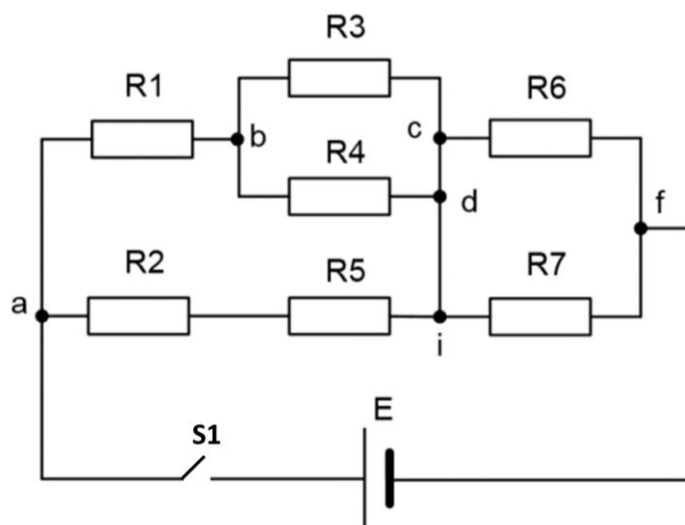


Рис. 4.8. Схема дослідження кола резисторів

Використавши рекомендації з розд. 3.1, перейдемо до складання схеми. Додатково встановимо перемикач $S1$ для вмикання-вимикання живлення у схемі (перемикається клавішею пробіл [$Space$]). Схема матиме вигляд, зображений на рис. 4.9.

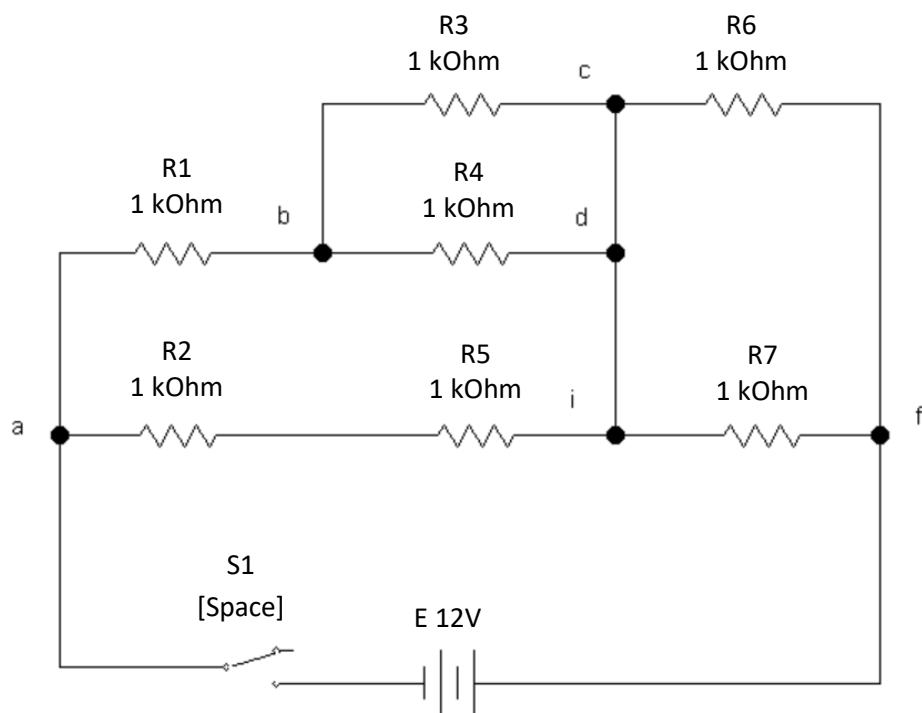


Рис. 4.9. Схема дослідження кола резисторів у середовищі *EWB*

Для виконання практичної роботи необхідно виставити номінали елементів згідно із заданим варіантом. Варіанти наведено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Номер варіанта	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом	E , В
1	900	800	700	600	500	400	300	5
2	800	700	600	500	400	300	200	10
3	700	600	500	400	300	200	100	6
4	600	500	400	300	200	100	50	8
5	500	400	300	200	100	50	100	7
6	400	300	200	100	50	100	150	6
7	300	200	100	50	100	150	200	7

Закінчення табл. 4.2

Номер варіанта	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом	E , В
8	200	100	50	100	150	200	250	8
9	100	50	100	150	200	250	300	9
10	50	100	150	200	250	300	350	5
11	100	150	200	250	300	350	400	6
12	150	200	250	300	350	400	450	7
13	200	250	300	350	400	450	500	8
14	250	300	350	400	450	500	550	9
15	300	350	400	450	500	550	100	10
16	350	400	450	500	550	100	150	11
17	400	450	500	550	100	150	200	12
18	450	500	550	100	150	200	250	16
19	500	550	100	150	200	250	300	13
20	550	100	150	200	250	300	350	14
21	100	150	200	250	300	350	400	15
22	150	200	250	300	350	400	450	5
23	200	250	300	350	400	450	600	6
24	250	300	350	400	450	800	650	7
25	300	350	400	450	700	600	150	8
26	350	400	450	500	150	250	300	9
27	400	450	500	350	200	550	600	3
28	450	500	550	600	350	300	200	4
29	500	550	150	300	100	150	850	10
30	550	100	250	150	200	400	900	11

Після підставлення значень усіх елементів і маркування кожного елемента схема набуде вигляду, зображеного на рис. 4.10.

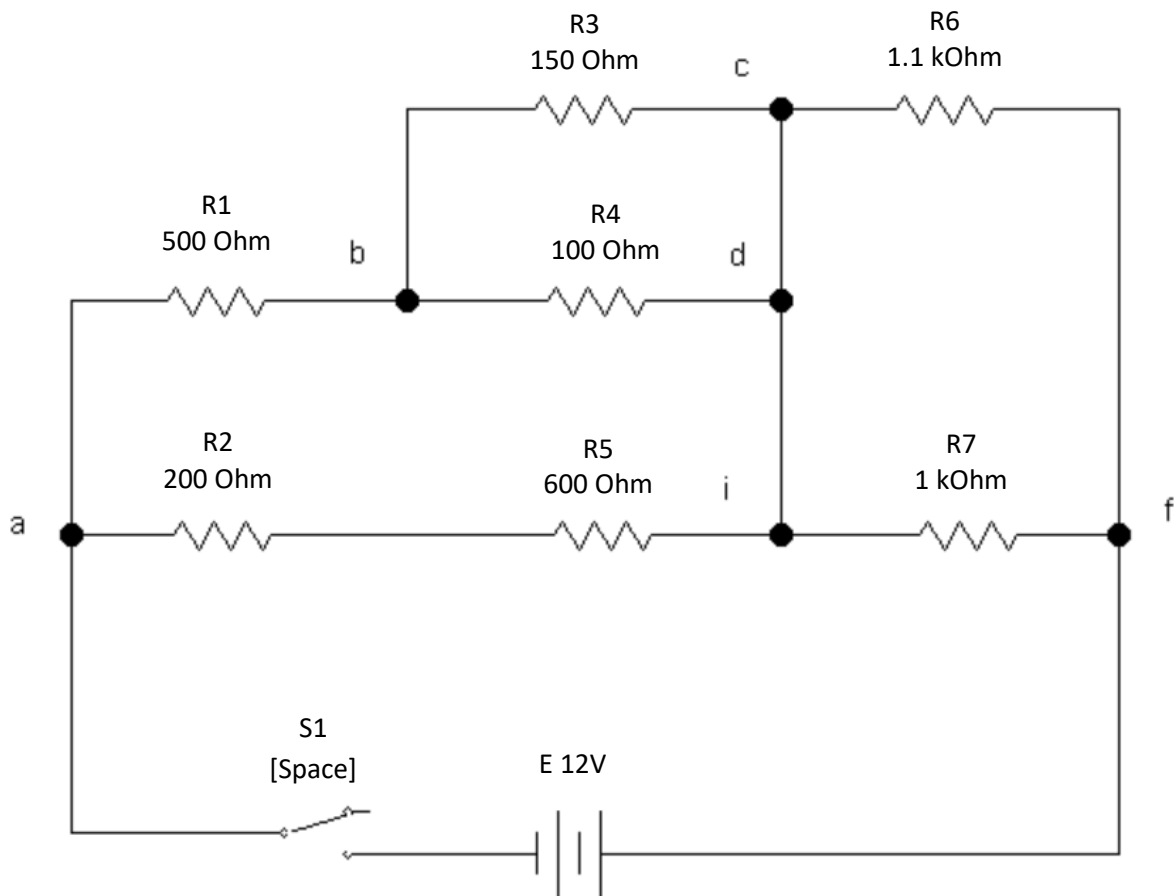


Рис. 4.10. Схема дослідження після підставлення значень елементів у середовищі EWB

На схемі є точки контролю, які позначено літерами *a*, *b*, *c*, *d*, *i*, *f* і до яких необхідно під'єднувати вимірювальний компонент.

Додамо до схеми вимірювальні компоненти з групи *Indicators* – амперметр і вольтметр (див. рис. 2.39) і з групи *Instruments* – мультиметр (див. рис. 2.44) таким чином, щоб компоненти вимірювали досліджувані значення струму, напруги, опору, які необхідно занести до табл. 4.3.

Для вимірювання опору елемента необхідно його від'єднати від схеми та під'єднати до виходів мультиметр (налаштований на вимірювання опору (див. рис. 2.44)). Для вимірювання групи резисторів необхідно відокремити цю групу й установити контакти мультиметра в точки контролю.

Наприклад, для схеми на рис. 4.2 необхідно заміряти повний опір R_{af} (точки контролю *a* та *f*). У цьому випадку слід від'єднати джерело живлення *E* та під'єднати контакти мультиметра до точок *a* та *f*. Для прикладу під'єднаємо до клеми кнопки (нормально відкритої) мультиметр. У цьому положенні кнопки буде замірятись опір. Перемиканням кнопки *S1* у коло

подається живлення і відбувається дослідження роботи елементів. Схема матиме вигляд, зображений на рис. 4.11.

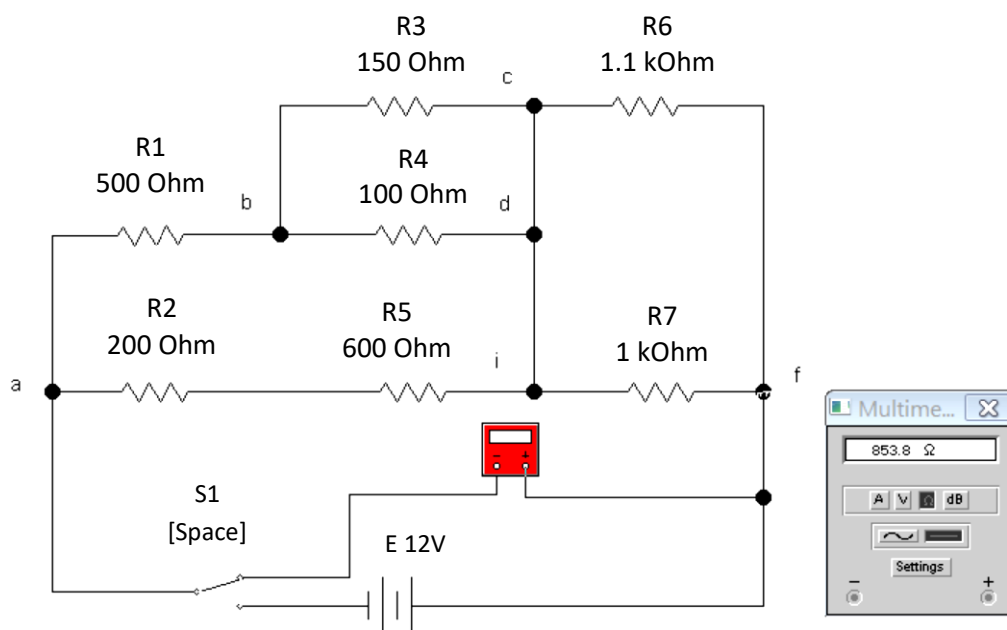


Рис. 4.11. Вимірювання загального опору схеми

Для відкриття лицьової панелі (має бути налаштовано вимірювання опору!) необхідно двічі клацнути ЛКМ на мультиметр і запустити моделювання кнопкою 6 (віртуальний вмикач-вимикач живлення (див. рис. 2.14). Якщо немає помилок, то мультиметр покаже значення опору в певних точках контролю, яке маємо записати до табл. 4.3 у комірку R_{af} «Виміряне».

Таблиця 4.3

Значення	$U_{ab},$ В	$U_{ad},$ В	I_1, A	I_3, A	I_5, A	$R_{af}, \text{Ом}$
Виміряне						
Розрахункове						

Продовжимо заповнювати табл. 4.3. Наприклад, для вимірювання струму I_1 необхідно амперметр установити в гілку ab послідовно з резистором R_1 , А, для вимірювання напруги U_{ab} вольтметр установити паралельно до резистора R_1 у точки контролю ab (рис. 4.12).

Запустимо моделювання, і вимірювальні компоненти відобразять значення, які записуються у відповідні поля в рядку «Виміряне»: I_1 та U_{ab} . Аналогічно переставляємо вимірювальні компоненти до наступних точок контролю й заповнюємо всі поля в рядку «Виміряне» табл. 4.3.

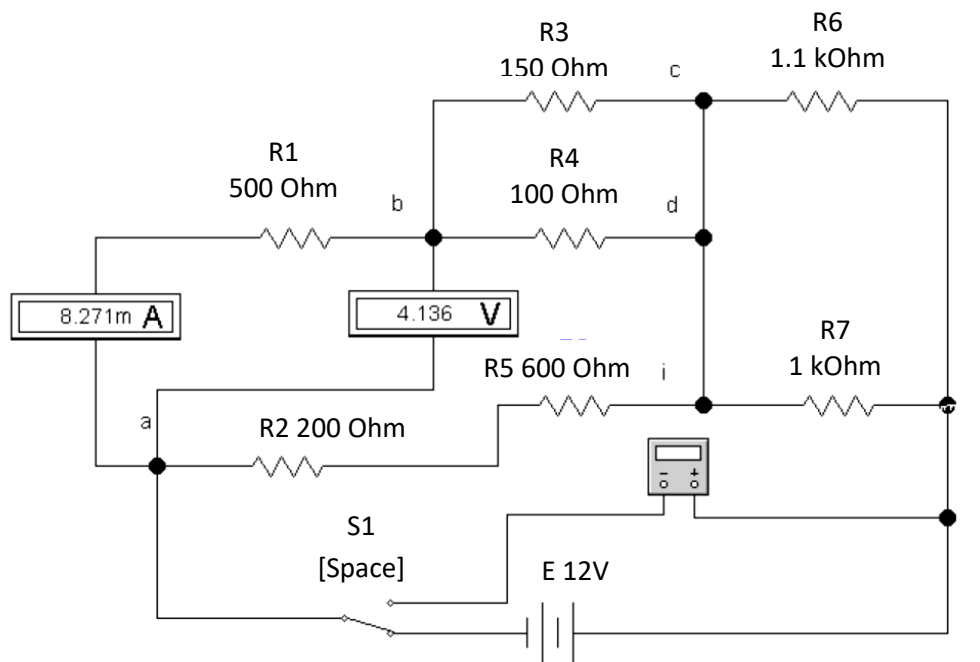


Рис. 4.12. Під'єднання вимірювальних компонентів для вимірювання струму I_1 та напруги U_{ab}

Після успішного вимірювання параметрів схеми переходимо до розрахунків, спираючись на матеріали, наведені в загальному положенні цього розділу й заповнюємо поля «Розрахункове» у табл. 4.3.

Заповнивши табл. 4.3, необхідно провести аналіз результатів вимірювань і розрахованих даних і зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Яким є призначення програмного середовища *EWB*?
2. Яким є основні команди меню в середовищі *EWB*? Поясніть їх призначення.
3. Як задати характеристики компонента?
4. Як розірвати з'єднання між компонентами схеми?
5. Перелічіть основні бібліотеки компонентів *EWB*, які використовувались у цій роботі.
6. Яким елементом утворюється точка з'єднання і які додаткові функції вона може виконувати?
7. Що таке амперметр? Яким є його призначення?
8. Що таке вольтметр? Яким є його призначення?
9. Що таке мультиметр? Яким є його призначення?
10. Поясніть порядок складання схем.

Звіт має містити:

1. Титульний аркуш.
2. Мету й завдання.
3. Схему для вимірювання опору.
4. Схеми для вимірювання струму й напруги.
5. Заповнену табл. 4.3.
6. Аналіз даних табл. 4.3 і висновки про виконану роботу.
7. Відповіді на контрольні запитання.
8. Файл *EWB* зі схемами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Electronic Workbench [Електронний ресурс] // Electronic Workbench. – Режим доступу : <https://electronicworkbenchewb.com/>. – 11.08.2024.
2. Петрова, О. О. Моделювання схем в програмному середовищі Electronic Workbench : навч. посіб. / О. О. Петрова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 128 с.
3. Diodes [Електронний ресурс] // Nexperia. – Режим доступу : <https://www.nexperia.com/products/diodes>. – 03.09.2024.
4. Thomas, C. H. Learning the Art of Electronics / C. H. Thomas, P. Horowitz. – 2015. – 1220 p.
5. Rabaey, J. M. Digital Integrated Circuits / J. M. Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic. – 2nd edition. – 2002. – 761 p.
6. Побєдаш, К. К. Електроніка і системотехніка: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. / К. К. Побєдаш, В. А. Святненко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 179 с.
7. Жесан, Р. В. Основи комп'ютерної схемотехніки : метод. вказівки до виконання лаб. робіт / Р. В. Жесан, О. П. Голик, В. О. Зубенко. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – 60 с.
8. Подчашинський, Ю. О. Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни «Проектування комп'ютеризованих систем управління і САПР» / уклад. Ю. О. Подчашинський. – Житомир : ЖІТІ, 1998. – 108 с.
9. Мозговий, Д. К. Дослідження роботи електронних приладів з використанням програми Electronics Workbench : метод. вказівки / Д. К. Мозговий, Д. М. Свинаренко. — Дніпропетровськ, 2015. — 44 с.
10. Піддубний, В. О. Елементна база радіоелектронної апаратури: пасивні радіокомпоненти [Електронний ресурс] : навч. посіб. У 4 ч. Ч. 1. / В. О. Піддубний, І. О. Товкач. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ	4
Перелік умовних позначень і скорочень.....	5
1. Загальні відомості.....	6
2. Інтерфейс програми <i>Electronics Workbench</i>	9
2.1. Основне робоче вікно програми.....	9
2.2. Команди головного меню	10
2.2.1. Меню <i>File</i>	10
2.2.2. Меню <i>Edit</i>	11
2.2.3. Меню <i>Circuit</i>	12
2.2.4. Меню <i>Analysis</i>	18
2.2.5. Меню <i>Window</i> і <i>Help</i>	29
2.3. Панель компонентів (бібліотеки елементів і приладів).....	29
2.3.1. Група <i>Favorites</i> (допоміжні компоненти).....	30
2.3.2. Група <i>Sources</i> (джерела сигналів).....	30
2.3.3. Група <i>Basic</i> – пасивні компоненти й комутаційні при строї.....	33
2.3.4. Група <i>Diodes</i>	36
2.3.5. Група <i>Transistors</i>	38
2.3.6. Група <i>Analog ICs</i>	40
2.3.7. Група <i>Mixed ICs</i>	41
2.3.8. Група <i>Digital ICs</i>	43
2.3.9. Група <i>Logic Gates</i>	44
2.3.10. Група <i>Digital</i>	45
2.3.11. Група <i>Indicators</i>	48
2.3.12. Група <i>Controls</i>	50
2.3.13. Група <i>Miscellaneous</i>	51
2.3.14. Група <i>Instruments</i>	52
3. Створення й дослідження електричних схем.....	67
3.1. Основні прийоми при створенні, коригуванні й моделюван- ні електричних схем	67
3.2. Приклад створення електричної схеми	69
3.3. Дослідження створеної електричної схеми	72
4. Практична частина.....	74
Бібліографічний список.....	86

Навчальне видання

**Сисоєв Юрій Олександрович
Степаненко Денис Романович**

**ОСНОВИ РОБОТИ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
ELECTRONICS WORKBENCH**

Редактор О. Ф. Серьожкіна

Зв. план, 2025

Підписано до друку 03.06.2025

Формат 60x84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4,9. Обл.-вид. арк. 5,5. Наклад 50 пр.

Замовлення 85-25. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Вадима Манька, 17
<http://www.khai.edu>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001