

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Запорізька державна інженерна академія



Світанько М.В.

Верьовкін Л.Л.

Кісельов Є.М.

АВТОМАТИЗАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Навчально-методичний посібник

для студентів ЗДІА

напряму 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка»

Запоріжжя

2012

*М.В. Світанько, к.ф.-м.н., доцент
Л.Л. Верьовкін, к.т.н., доцент
Є.М. Кісельов, к.т.н., доцент*

Відповідальний за випуск : *зав. кафедри ФБМЕ,
професор Є.Я. Швець*

Рецензенти:

***Г.В. Корніч, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри обчислювальної математики
Запорізького національного технічного університету;***

***І.Ф. Червоний, д.т.н., професор, завідувач кафедри металургії кольорових металів
Запорізької державної інженерної академії***

Світанько М.В.

Автоматизація схемотехнічного проектування: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА напрямку 6.050801 «Мікро- та нанoeлектроніка»/Світанько М.В., Верьовкін Л.Л., Кісельов Є.М.; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 120 с.

У посібнику викладені основні теоретичні відомості стосовно процесів автоматизації схемотехнічного проектування електронних пристроїв. Приведені описи основних програмних пакетів проектування електронних схем. Посібник містить приклади виконання лабораторних робіт та питання для самоконтролю і підготовки до тестування з основних розділів відповідної навчальної програми.

ЗМІСТ	Стор.
ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ І ПОНЯТТЯ.....	6
2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ (САПР) В ОБЛАСТІ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ.....	10
2.1 Основні види забезпечення функціонування САПР.....	10
2.2 Загальні відомості про об'єкти і завдання проектування схемотехніки (моделювання).....	16
2.3 Основні завдання проектування схемотехніки.....	16
2.4 Типи об'єктів проектування схемотехніки.....	18
3. ОСНОВНІ ЕТАПИ АСхП РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ.....	19
4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОМПОНЕНТІВ І ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ В ЦІЛОМУ.....	24
4.1 Поняття математичної моделі компонента і схеми.....	24
4.2 Питання класифікації математичних моделей реальних електронних компонентів і їх параметрів.....	27
5. СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ПАКЕТИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ (МОДЕЛЮВАННЯ) СХЕМОТЕХНІКИ.....	30
5.1 Основні вимоги до пакетів проектування.....	30
5.2 Коротка історична довідка.....	32
6. ОСНОВИ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	37
6.1 Постановка задачі.....	37
6.2 Основні принципи моделювання конструкцій та схем.....	39
6.3 Критерії алгоритмів компоновки.....	44
6.4 Критерії алгоритмів розміщення.....	45
6.5 Критерії алгоритмів трасування.....	46
7. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ P-CAD 2001.....	49
7.1 Склад системи P-CAD 2001.....	49
7.2 Основні технічні характеристики системи.....	50
7.3 Запуск системи.....	51
7.4 Організація інтерфейсу користувача.....	51
7.5 Порядок проектування друкарських плат.....	53

8. ПРОГРАМА ELECTRONICS WORKBENCH (EWB) ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ АНАЛОГОВИХ І ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ.....	55
8.1 Підготовка схем.....	55
8.2 Контрольно-вимірювальні прилади.....	72
8.3 Моделювання електронних схем	80
9. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	102
Лабораторна робота №1 Зняття характеристик ідеального джерела постійної ЕРС (напруги).....	102
Лабораторна робота №2 Зняття характеристик навантажень ідеального джерела струму.....	106
Лабораторна робота №3 Модель джерела обмеженої потужності. Зняття характеристик навантажень.....	108
Лабораторна робота №4 Залежні джерела напруги і струму. Зняття характеристик навантажень.....	110
Лабораторна робота №5 Індуктивність.....	112
Лабораторна робота №6 Ємність.....	116
Питання для самоконтролю і підготовки до тестування.....	118
Рекомендована література.....	119

ВСТУП

Навчальний посібник з дисципліни «Автоматизація схемо технічного проектування» відповідає вимогам навчального плану з напрямку 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка» і змісту навчальної програми дисципліни «Автоматизація схемотехнічного проектування».

Дисципліна «Автоматизація схемотехнічного проектування» є важливою для вирішення проблем проектування нових пристроїв електронної техніки. На даний момент ефективним інструментом для проектування електронних схем є ЕОМ. Сучасні програмні комплекси дозволяють проводити автоматизоване проектування радіоелектронної апаратури (РЕА) від завдання вихідних даних, до виготовлення документації на реальний пристрій. Для реалізації таких програмних комплексів використовуються традиційні або нові методи розрахунку і проектування РЕА. Ці методи мають свої особливості, які повинні знати проектувальники РЕА.

Метою навчального посібника є засвоєння основ автоматичного проектування РЕА, зокрема, ознайомлення студентів з особливостями розв'язання конкретних задач на ЕОМ, навчання формулюванню задач проектування РЕА, встановлення зв'язку теорії і практики проектування радіотехнічних пристроїв. розвиток підходу, ознайомлення студентів з основними методами проектування фізичних систем шляхом проектування їх математичних моделей, вивчення прикладних методів аналізу лінійних і нелінійних моделей пристроїв.

Навчальний посібник призначений для студентів денної та заочної форми навчання.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ І ПОНЯТТЯ

Предметом вивчення лекційного курсу, якщо виходити з його назви: “Автоматизація схемотехнічного проектування” є розробка радіоелектронних пристроїв за допомогою сучасних схемотехнічних комп’ютерних програм і алгоритмів автоматизованого проектування.

У основі курсу можна виділити наступні ключові поняття:

- радіоелектронні пристрої (РЕП);
- автоматизоване проектування схемотехніки.

По-перше, що ми будемо розуміти під поняттям РЕП? Взагалі існує досить загальне поняття – радіоелектронний засіб (РЕЗ).

За ознакою функціональної складності розрізняють декілька рівнів РЕЗ:

- радіоелектронний вузол;
- радіоелектронний пристрій;
- радіоелектронний комплекс;
- радіоелектронна система.

Найменшою складністю відрізняються функціональні радіоелектронні вузли. Приклади: генератори, модулятори, підсилювачі, детектори, тригери, логічні елементи І-НІ, АБО-НІ і ін. У їх склад, у свою чергу, входять “будівельні цеглини” – електронні компоненти: транзистори, напівпровідникові діоди, резистори, конденсатори, напівпровідникові структури і тому подібне.

Складнішими є радіоелектронні пристрої, які є функціонально закінченою складальною одиницею, виконаною на несучій конструкції, яка реалізує функції передачі, прийому і перетворення інформації. Приклади: тракт НВЧ- або ВЧ- приймача, тракт НЧ, регістри, лічильники, дешифратори, АЦП, ЦАП, суматори, мікропроцесори, мікроконтролери та ін.

І, нарешті, найскладніші по виконуваних функціях – це радіоелектронні комплекси і системи. Приклади: радіовимірювальні комплекси, керовані по радіо системи, системи наведення, системи стеження та ін.

По-друге, в чому основа процесу проектування РЕЗ (поки не автоматизованого)? Вона полягає в розробці конструкцій і технологічних процесів виробництва нових РЕЗ, які повинні з мінімальними витратами і максимальною ефективністю виконувати задані їм функції в необхідних умовах.

Слід підкреслити, що в результаті проектування створюються нові, досконаліші РЕЗ, які відрізняються від своїх аналогів і прототипів використанням нових фізичних явищ і принципів функціонування, досконалішої елементної (компонентної) бази, покращених конструкцій, прогресивних технологій і тому подібне. Для цього недостатньо створити досконалішу апаратуру, її ще необхідно оптимізувати по широкому спектру показників: функціональних, конструкторсько-технологічних, експлуатаційних і економічних. Вочевидь, що при рішенні цієї задачі розробники стикаються з необхідністю проаналізувати велику кількість варіантів, причому у міру зростання складності апаратури, що розробляється, кількість таких варіантів катастрофічно зростає. Ця ситуація отримала назву «Тиранії альтернатив» і призводила до затягування створення нових РЕЗ на довгі роки.

Все це дало потужний поштовх для інтенсивного розвитку нової технології проектування РЕЗ із застосуванням математичних методів і засобів обчислювальної техніки, комплексної автоматизації проектних робіт, що дозволило замінити макетування і натурне моделювання математичним моделюванням з використанням методів багатоваріантного проектування і оптимізації. Головним засобом автоматизації проектування є персональні ЕОМ (комп'ютери) і керовані ними технічні засоби.

Тепер дамо визначення терміну «автоматизоване проектування» в широкому сенсі цього слова:

це науково-технічний напрям, який полягає в застосуванні поєднання досягнень обчислювальної математики, теорії проектування і засобів обчислювальної техніки до завдань проектування реальних об'єктів тієї або іншої фізичної природи.

Підкреслимо, що в нашому курсі йдеться про автоматизоване проектування, тобто про комп'ютерне проектування за участю людини. Автоматичне проектування (без участі людини), в повному об'ємі, від формулювання технічного завдання (ТЗ) до створення проектної технічної документації, на сучасному рівні розвитку в загальному випадку неможливо. Хіба лише в разі дуже простих проектів, оскільки це творчий процес, доступний лише людині.

Тому зараз прийнято говорити про проектування як системну креативну (тобто творчу) людську діяльність. Ця діяльність, результат якої завжди залежить від особи, що виконує цей проект, від її інтелекту, професіоналізму, досвіду і, нарешті, успіху!

Ось декілька прикладів реальних об'єктів проектування з області енергетики, радіотехніки і електроніки:

- проектування високовольтних електричних мереж, теплових і атомних електростанцій;
- проектування радіотехнічних систем і пристроїв, у тому числі систем дистанційного екологічного і енергетичного моніторингу, складних електронних схем;
- трасування друкарських плат і ін.

Особливо інтенсивний розвиток автоматизоване проектування отримало в радіoeлектроніці. Це пояснюється наступними основними причинами:

По-перше, необхідністю розробки складних ІМС з високою мірою інтеграції – ВІС (великих інтегральних схем) і НВІС (надвеликих ІМС), коли кількість елементів (компонентів) досягає декількох мільйонів на одному кристалі. Наприклад, на початку 2008 року компанія INTEL анонсувала

надмініатюрний процесор “Atom”. Ядро цієї НВІС площею 25 мм² вміщає в себе 47 мільйонів транзисторів, при цьому тактова частота складає приблизно 2 ГГц.

По-друге, високою економічною ефективністю методів автоматизованого проектування ІМС, оскільки для них вартість проектування складає значну долю загальних витрат на виробництво.

В даний час в теорії автоматизованого проектування (АП) стосовно радіoeлектроніки виділяють п'ять функціональних рівнів проектування, які створюють наступну ієрархію:

- перший рівень – рівень автоматизованого структурного проектування (АСтП);
- другий рівень – рівень автоматизованого функціонально-логічного проектування (АФЛП);
- третій рівень – рівень автоматизованого проектування схемотехніки (АСхП);
- четвертий рівень – рівень автоматизованого компонентного проектування (АКП);
- п'ятий рівень – рівень автоматизованого конструкторсько-технологічного проектування (АКТП).

Ці рівні розрізняються перш за все сутністю вирішуваних завдань і витікаючою звідси відмінністю математичних апаратів. Так на рівні АСтП займаються більшою мірою системотехнічним проектуванням; наприклад, розробкою принципів побудови радіовимірювальних і керованих по радіо систем, а також систем і мереж телекомунікацій, при цьому широко застосовуються теорія ігор, теорія масового обслуговування, математичний апарат чисельних методів, статистичне моделювання.

У АФЛП займаються, наприклад, розробкою на функціонально-логічному рівні радіопередавальних і радіоприймальних пристроїв, а також цифрових автоматів різної функціональної складності, при цьому широко

використовуються спектральний аналіз, теорія цифрових автоматів, логічна математика і чисельні методи моделювання і перетворення сигналів.

У АСхП розробляють складні електронні пристрої і вузли, для чого широко використовують теорію електричних ланцюгів із зосередженими параметрами разом з чисельними методами вирішення звичайних диференціальних рівнянь.

У АКП розробляються нові пасивні і активні компоненти, у тому числі пристрої на розподілених структурах і з використанням нових фізичних принципів, наприклад, пристрою на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), на приладах із зарядовим зв'язком та ін. Для цього широко застосовуються методи математичної фізики і фізики твердого тіла, а також чисельні методи вирішення рівнянь в частинних похідних.

Нарешті, в АКТП займаються конструкторсько-технологічним проектуванням; тут використовуються математичні апарати теорії ухвалення рішень, направлених графів, а також багатокритерійні підходи до конструювання.

Надалі в нашому курсі в основному викладатимуться питання, пов'язані з третім функціональним рівнем, тобто АСхП, і головним чином з комп'ютерним моделюванням електричних схем.

2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ (САПР) В ОБЛАСТІ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

2.1 Основні види забезпечення функціонування САПР

Слід підкреслити, що процес автоматизації проектування пройшов декілька етапів, перш ніж від вирішення окремих завдань проектування розробники РЕЗ дістали можливість перейти до такого досконалого інструменту для виконання системного проектування, як системи автоматизованого проектування (САПР).

Основні принципи відмінності САПР від методів автоматизації, які вирішують лише окремі завдання:

- 1) можливість комплексного рішення загальної задачі проектування, наприклад, комп'ютерне моделювання складної електронної схеми і далі - рішення задачі розміщення компонентів і трасування друкарської монтажною плати;
- 2) реалізація інтерактивного режиму проектування, при якому здійснюється безперервний процес діалогу “людина – машина (комп'ютер)”;
- 3) можливість імітаційного моделювання радіоелектронних систем і комплексів в умовах роботи, близької до реальної;
- 4) значне ускладнення програмного і інформаційного забезпечення проектування, а також значне ускладнення технічних засобів систем автоматизованого проектування (САПР).

Сучасні САПР є складними комплексами математичних, програмних, технічних і інших засобів. Тому в складі САПР прийнято виділяти наступні основні види забезпечення їх функціонування (всього 7): математичне, лінгвістичне (мовні засоби), програмне, інформаційне, технічне, організаційне і методичне.

Дамо коротку характеристику кожного із перерахованих видів забезпечення, маючи на увазі радіотехнічні застосування.

Математичне забезпечення включає теорію, методи і алгоритми для організації обчислень в САПР. Наприклад, можна виділити наступні два типи алгоритмів:

- 1) алгоритми вирішення загальних завдань обчислювальної математики, а саме: вирішення систем лінійних рівнянь алгебри, вирішення звичайних диференціальних рівнянь і рівнянь в частинних похідних і тому подібне.
- 2) алгоритми вирішення статистичних завдань: обчислення статистичних характеристик випадкового процесу, побудова гістограм, апроксимація гістограм теоретичним законом і так далі.

Лінгвістичне забезпечення включає мовні засоби. Мови, використовувані в САПР, можна розбити на дві групи: мови програмування і мови проектування (див. рис.2.1).

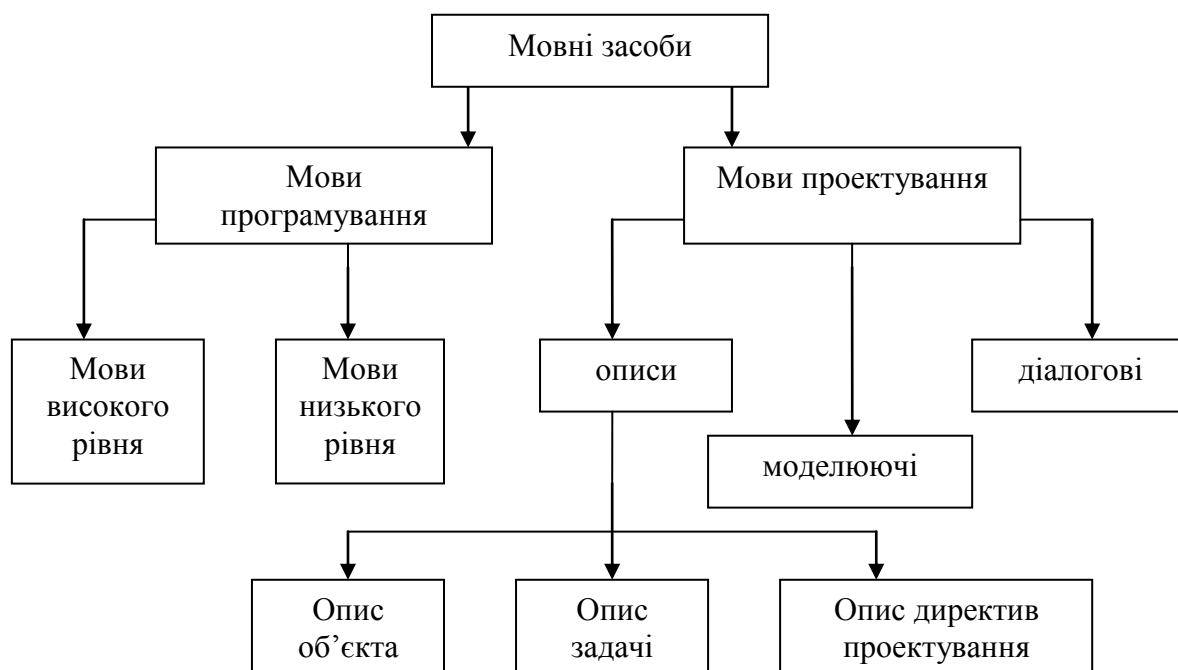


Рисунок 2.1 – Мови програмування і мови проектування САПР

Спочатку відносно мов програмування. Вони призначені для написання текстів програм. До них відносяться мови високого рівня (Фортран, Паскаль, С++ та ін.) і машинно-орієнтовані мови – асемблери (або мови низького рівня). Останні дозволяють створювати найбільш ефективні програми з точки зору обчислювальних витрат (необхідних об'ємів пам'яті і часу рахунку). Їх істотний недолік: програміст повинен дійти до рівня машинних кодів.

Мови проектування (або вхідні мови) можна розділити на три групи: мови опису, мови моделювання і діалогові мови.

Мова опису, у свою чергу, складається зазвичай з трьох частин: опис об'єкту, опис завдання і опис директив проектування. Наприклад, опис об'єкту типа транзистора включає тип транзистора, тип його моделі в програмі (оскільки один і той же транзистор можна моделювати різними схемами заміщення), параметри цієї моделі, а також топологічні зв'язки транзистора, тобто номери вузлів його підключення, записані в певній

послідовності (наприклад, спочатку номер вузла бази, потім вузла колектора, потім – емітера).

У мові опису завдання входять опис вихідних параметрів, що розраховуються, опис умов аналізу параметрів (наприклад, тип варійованих внутрішніх параметрів, крок і діапазон варіювання і тому подібне), опис алгоритмів розрахунку, аналізу і оптимізації, опис завдання на вивід результатів проектування (наприклад, що і в якому вигляді виводити: таблиця, графік, креслення; параметри вихідного документа: крок друку, масштаб, діапазон та ін.).

Мова опису директив проектування. У простому випадку вона складається з перерахування режимів, в яких повинна послідовно працювати САПР. Наприклад, перелік таких директив при проектуванні схемотехніки: «Статика», «Частотний аналіз», «Часовий аналіз» і тому подібне.

Мови моделювання описують не лише структуру і параметри об'єкту проектування, але і алгоритм його функціонування, тобто зв'язки між сусідніми об'єктами в складній системі. Наприклад, процес передачі і перетворення сигналу від одного блоку до іншого. Як правило, мови моделювання застосовуються лише на першому і другому функціональних рівнях проектування: структурному і функціонально-логічному.

Нарешті, мови діалогу призначені для організації ефективної взаємодії користувача і САПР в процесі проектування. Приведемо типовий фрагмент такого діалогу:

ПЕВМ: Введіть інформацію про схему.

Користувач: (за допомогою клавіатури і дисплея вводить опис схеми).

ПЕВМ: Неправильно введена інформація про транзистор T5.

Користувач: (коректування інформації про транзистор T5).

ПЕВМ: Інформація про схему введена.

Вибрати режим: Статика

 Динаміка

 Частотний аналіз

Оптимізація

Друк

Користувач: (вибирає, наприклад, режим «Статика»).

ПЕВМ: Вкажіть параметри режиму:

алгоритм.

точність.

максимальне число ітерацій

початкові умови.

Користувач: (вказує параметри, після чого дає директиву на виконання розрахунку: «Дані введені, виконати режим»)

і так далі.

Інформаційне забезпечення САПР складається з двох частин, які включають:

- відомості про типові елементи РЕА і їх параметри, типові матеріали, типові фрагменти електронних схем;
- способи, алгоритми і програми, які призначені для впорядкованого запису, зберігання, переміщення даних і їх використання.

Перша частина зрозуміла і особливого обговорення не вимагає.

З другою частиною інформаційного забезпечення пов'язано три важливі поняття: база даних (БД), система управління базою даних (СУБД) і банк даних.

База даних – це сукупність масивів даних, організованих так, щоб забезпечити швидкий і зручний пошук будь-яких даних за запитом або їх переміщення і кодування. Наприклад, телефонний довідник з адресами абонентів в м. Київ.

Система управління базою даних (СУБД) – це сукупність мовних засобів і програм, призначених для пошуку потрібних даних, їх переміщення незалежно від прикладних програм різних користувачів. Наприклад, база

даних «Цифрові ВІС», яка працює під СУБД «FoxPro», а також «Сучасні АЦП і ЦАП», яка працює під СУБД «Access»).

В сукупності БД і СУБД утворюють банк даних.

Програмне забезпечення. У програмне забезпечення входять тексти програм і документи, необхідні для їх експлуатації: інструкції для користувача, текстові програми для діагностики помилок і збоїв та ін. Сюди входять операційні системи, а також наочні програми. Приклади наочних програм САПР для проектування схемотехніки: програми складання математичних моделей радіотехнічних пристроїв (РТП), програми розрахунку перехідних процесів і частотних характеристик, моделювання логічних і цифрових схем і тому подібне.

Оскільки програмне забезпечення займає одне з центральних місць, то часто систему автоматизованого проектування (САПР) називають ще пакетом прикладних програм.

Нарешті, дамо коротку характеристику останнім трьом видам забезпечення: технічному, організаційному і методичному, які мають очевидний зміст.

Технічне забезпечення. До складу технічного забезпечення САПР входять комп'ютери (у тому числі спеціалізовані – робочі станції і сервери) і периферійне допоміжне устаткування, яке забезпечує зручність взаємодії проектувальника і САПР. До периферійних засобів належать: пристрої графічного введення, сканери, принтери, плоттери (графічні пристрої).

Організаційне забезпечення САПР – це сукупність правил, інструкцій і документів, що регламентують склад груп обслуговування САПР, їх обов'язки і взаємодію.

Методичне забезпечення САПР – це описи програм, баз даних, мов проектування і різні інструкції по використанню всіх видів забезпечення САПР.

2.2 Загальні відомості про об'єкти і завдання проектування схемотехніки (моделювання)

Спочатку визначимо деякі загальні поняття, які відносяться до проектування будь-яких пристроїв незалежно від їх фізичної природи.

Введемо поняття параметрів елементів (або компонентів), параметрів пристрою і параметрів зовнішнього середовища.

Параметри елементів (або компонентів), з яких складається проєктований пристрій, називатимемо внутрішніми; параметри пристроїв, за якими оцінюється його якість – вихідними; параметри зовнішніх інформаційних сигналів, що діють на пристрій – вхідними; параметри зовнішнього середовища – зовнішніми.

Приклад (стосовно проектування транзисторного підсилювача): параметри самих транзисторів і пасивних елементів, що входять до складу цього підсилювача – внутрішні параметри; споживана потужність, коефіцієнт гармонійних спотворень – чисельні вихідні параметри; АЧХ і ФЧХ – функціональні вихідні параметри (вихідні характеристики); частота і амплітуда вхідного сигналу – чисельні вхідні параметри; спектральна характеристика вхідного сигналу – функціональний вхідний параметр; температура навколишнього середовища – зовнішній параметр.

2.3 Основні завдання проектування схемотехніки

Кожен з п'яти функціональних рівнів проектування: АСтП, АФЛП, АСхП, АКП і АКТП – включає вирішення наступних завдань: розрахунку, аналізу, оптимізації, синтезу і випуску технічної документації. Ці завдання називають також проектними процедурами. Розглянемо ці завдання на прикладі проектування схемотехніки, які мають тут наступний вміст.

Розрахунок – визначення вихідних параметрів і характеристик пристроїв при незмінних значеннях його внутрішніх параметрів і постійній

структурі. Приклад: розрахунок широкосмугового підсилювача, включаючи розрахунок режиму по постійному струму, смугу пропускання, площу посилення і тому подібне.

Аналіз – визначення зміни вихідних параметрів і характеристик пристрою залежно від зміни його внутрішніх і вхідних параметрів. В разі вживання ПЕОМ завдання розрахунку часто називається одноваріантним аналізом, а завдання аналізу – багатоваріантним аналізом. Наприклад, варіація (stepping) номіналів пасивних компонентів оцінює їх вплив на функціональні вихідні характеристики (АЧХ і ФЧХ) підсилювача.

Оптимізація – визначення найкращих, в тому або іншому сенсі, значень вихідних параметрів і характеристик шляхом цілеспрямованої зміни внутрішніх параметрів пристрою (при параметричній оптимізації) або структури пристрою (при структурній оптимізації). При цьому велике значення має досвід розробника або використовується спеціальний математичний апарат теорії чутливості.

Підкреслимо, що найбільш складними процедурами є завдання параметричного і структурного синтезу. У загальному випадку синтезом називається генерація вихідного варіанту пристрою, включаючи його структуру (структурний синтез) і значення внутрішніх параметрів (параметричний синтез). Вказана генерація може виконуватися різними способами: вибором із уже відомих пристроїв, побудовою на основі певних теоретичних співвідношень, шляхом винахідництва, евристичного рішення та ін. Приклади: подвійний RC-міст Віна, схема RC-генератора Сифорова, автогенератор за схемою Клаппа, та ін. Отриманий в результаті синтезу пристрій не обов'язково має бути найкращим, але обов'язково працездатним, тобто мати практичний сенс. Якщо ж отриманий пристрій – найкраще в якому-небудь сенсі, то такий синтез називається оптимальним. Підкреслимо, що завдання синтезу – це вельми складне завдання і в більшості випадків не може бути вирішене автоматично без участі і допомоги фахівця-розробника.

Врешті-решт будь-який складний алгоритм і відповідна йому програма розробляються людиною.

Рішення **задачі розробки і випуску технічної документації** необхідне для виготовлення і подальшої експлуатації конкретного радіоелектронного пристрою. На цьому етапі виконується компоновка і розміщення елементів і вузлів, розводка друкарських і дротяних з'єднань, а також вирішуються завдання тепловідводу, електричної міцності, захисту від зовнішніх дій і тому подібне. Потім проводиться технологічна підготовка виробництва, яка передбачає розробку технологічних процесів виготовлення окремих блоків і всієї системи в цілому.

2.4 Типи об'єктів проектування схемотехніки

Як правило, всі РЕП, що проектуються на ПЕОМ, розділяють на три типи: аналогові, дискретні і цифрові.

До аналогових відносяться пристрої, в яких використовуються аналогові сигнали, або сигнали аналогічні фізичному процесу, який їх викликав. Ці сигнали є безперервними в часі. Приклади: сигнал гармонійної форми, пилкоподібні, трикутні та ін.

У дискретних пристроях використовуються дискретні сигнали, які утворюються з аналогових шляхом дискретизації за часом.

До цифрових відносять пристрої, робочі сигнали яких закодовані у вигляді чисел, що зазвичай представляються в двійковому коді цифрами 0 і 1 (тригери, лічильники, регістри, мікропроцесори, мікроконтролери і тому подібне). Ці сигнали отримують з аналогових шляхом використання двох операцій: дискретизація (здобуття вибірок, відліків) і квантування.

Нарешті, існують проміжні класи пристроїв: аналого-дискретні і аналого-цифрові.

У аналого-дискретних пристроях використовують дискретний спосіб зміни параметрів аналогових пристроїв без явного дискретизатора. Наприклад, електронні схеми на перемикачих МОН - конденсаторах.

До аналого-цифрових пристроїв відносяться різного типу перетворювачі: аналого-цифрові (аналог – код, АЦП), цифро-аналогові (код – аналог, ЦАП), спецобчислювачі, процесори з аналоговими пристроями введення і виводу та ін.

3. ОСНОВНІ ЕТАПИ АСхП РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Розглянемо в декілька спрощеному вигляді процес автоматизованого проектування схемотехніки радіоелектронних пристроїв. Він складається з декількох етапів (див. рис.3.1).

На першому етапі (1) складний проєктований пристрій розбивається на функціонально закінчені блоки і виробляються приватні технічні завдання (ТЗ) на кожен окремий блок. ТЗ передбачає опис зовнішніх і внутрішніх параметрів: входних і вихідних сигналів, діапазону частот, споживаної потужності, умов експлуатації, граничних допусків на основні характеристики і тому подібне. На цьому етапі дуже багато що залежить від особи розробника-конструктора: від його знань, інтуїції, інтелекту і кругозору.

На другому етапі (2) після формулювання ТЗ на блок, що розробляється, складається його принципова електрична схема початкового (нульового) наближення. Це зазвичай робиться розробником також на підставі власного досвіду і досвіду попередніх розробок. Тут же вибираються компоненти схем: транзистори, діоди, ІМС, резистори, конденсатори, котушки індуктивності та ін., а також номінальні значення і допуски на параметри компонентів.

Далі на третьому етапі (3) вибирається система автоматизованого проектування (моделювання) схемотехніки, а в ній програма, яка

щонайкраще підійде для аналізу даної електронної схеми і дозволить провести відповідність ТЗ вибраній схемі. Часом у вибраному пакеті потрібна не одна, а група програм для проведення всіх необхідних обчислень. Наприклад, аналіз по постійному струму, аналіз в тимчасовій і частотній областях.

Потім принципова схема проєктованого блоку готується для проведення комп'ютерного аналізу і вводиться в пам'ять ПЕОМ текстовим або графічним способом (етап 4).

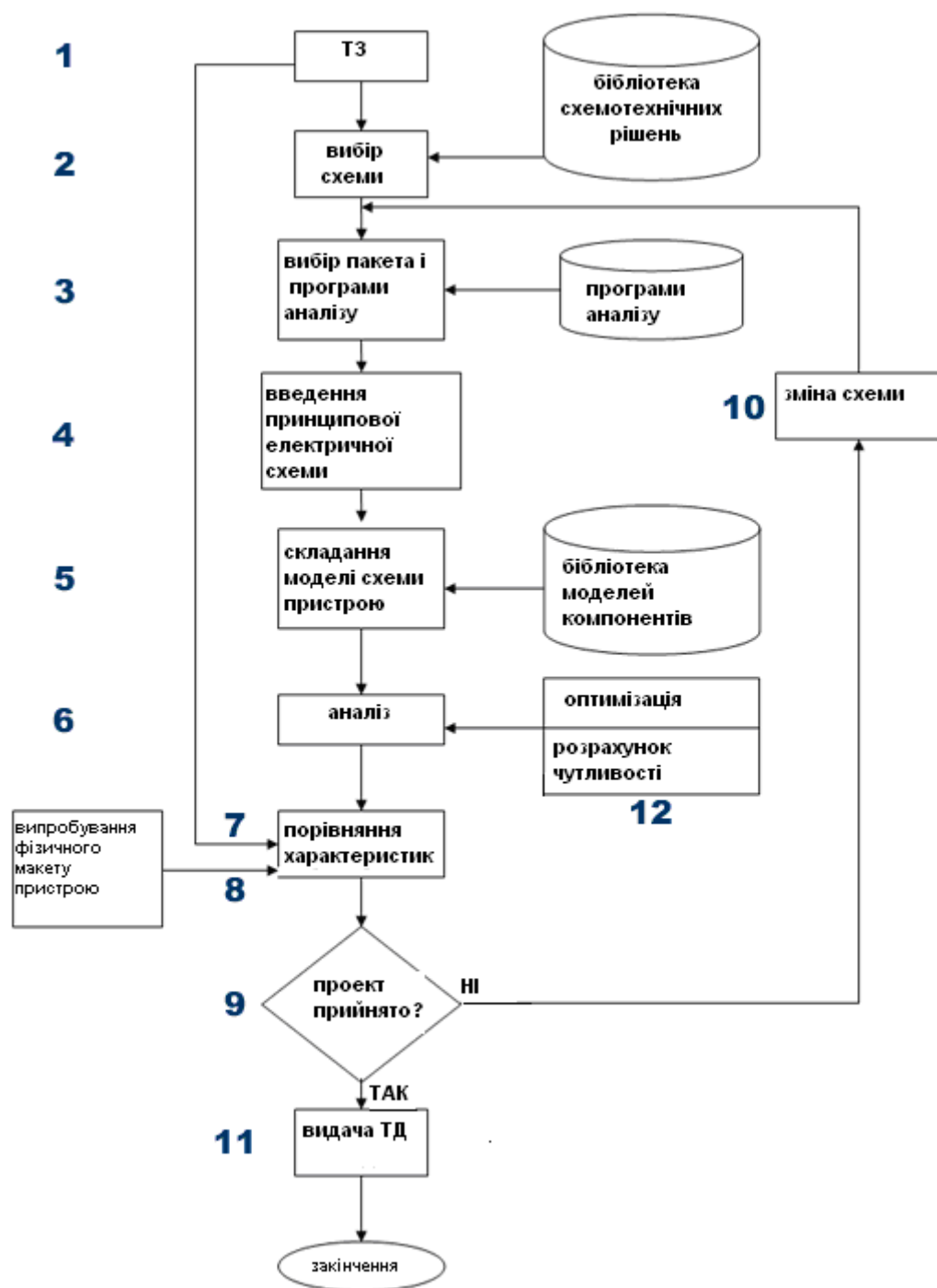


Рисунок 3.1 - Основні етапи автоматизованого проектування електронних схем

Далі на підставі вбудованої бібліотеки моделей компонентів автоматично складається математична модель аналізованого пристрою за введеною принциповою схемою (етап 5).

На етапі 6 виробляється аналіз математичної моделі електронної схеми в діалоговому режимі. Наприклад, в разі аналізу схеми аналогового пристрою передбачається виконання наступних видів розрахунків:

- розрахунок схеми по постійному струму;
- розрахунок схеми в частотній області; наприклад, обчислення АЧХ і ФЧХ, спектральної щільності шуму;
- розрахунок в тимчасовій області; наприклад, визначення перехідних і імпульсних характеристик, проведення спектрального аналізу.

Отримані в результаті аналізу характеристики схеми порівнюються з даними ТЗ і (або) з результатами випробувань макету (етапи 7 і 8).

На підставі цього порівняння приймається рішення про прийняття або відхилення розглянутого варіанту проекту (етап 9). Таке рішення проводиться неформально, оскільки в деяких випадках інженерне розуміння суті справи дозволяє нехтувати деякою розбіжністю результатів комп'ютерного аналізу з ТЗ. Після прийняття проекту розробляється технічна документація для подальшого виготовлення розробленого пристрою і проведення випробувань (етап 11).

Якщо характеристики незадовільні, то принципова схема і (або) моделі компонентів мають бути змінені (етап 10).

Цикл аналізу потім повторюється знову. Саме тут, при проведенні багатоваріантних розрахунків, комп'ютерні програми аналізу електронних схем особливо корисні: вони дають можливість автоматично протягом короткого часу провести аналіз багатьох варіантів. Модифікація схеми може вироблятися також за допомогою спеціальних програм оптимізації на ПЕОМ (етап 12), в яких широко застосовуються методи оптимізації проектних рішень, заснованих на вирішенні завдань математичного (лінійного і нелінійного) програмування. У цих завданнях виробляється пошук мінімуму або максимуму деякої цільової функції, залежної від багатьох змінних за наявності обмежень на ці змінні. При проектуванні РЕА ця цільова функція відображає якість роботи, вартість апаратури і інші характеристики, залежні

від параметрів компонентів, оптимальні значення яких потрібно знайти в результаті рішення задачі. Обмеження ж формулюються у вигляді системи співвідношень, що звужують допустиму область зміни параметрів компонентів при рішенні задачі оптимізації РЕП.

Після закінчення оптимізації можна розрахувати чутливість схеми, оцінити вплив розходження параметрів компонентів і отримати інші важливі характеристики. Таким чином, при такому процесі проектування вирішуються завдання, пов'язані з розрахунком, аналізом і оптимізацією схемних рішень.

Що стосується завдання синтезу, то це вельми складне завдання, його можна жорстко алгоритмізувати лише для деяких окремих випадків, наприклад, існує методика класичного синтезу пасивних і активних аналогових і цифрових частотних фільтрів, класичного синтезу широкосмугових пристроїв, синтезу цифрових автоматів. У інших випадках, зазвичай, завдання синтезу вирішується евристичним шляхом, ґрунтуючись на попередньому досвіді, шляхом винахідництва.

Підкреслимо, що в процесі конструювання і розробки технології також може бути потрібна корекція принципів схем, структури системи і навіть вихідних даних. Тому процес проектування є не лише багатоетапним, але і багато разів коректованим, у міру його виконання, тобто процес носить ітераційний характер.

Відзначимо, що автоматизоване проектування електронних схем за допомогою ПЕОМ має ряд переваг перед традиційним способом проектування “вручну” з подальшим доведенням на фізичному макеті. Розробник може використовувати можливості ПЕОМ в декількох областях. По-перше, за допомогою прикладних програм набагато легше спостерігати ефект варіювання параметрів схеми, чим за допомогою експериментальних досліджень. По-друге, є можливість аналізувати критичні режими роботи пристрою без фізичного руйнування його компонентів. По-третє, програми аналізу дозволяють оцінити роботу схеми при найгіршому поєднанні

параметрів, що важко і не завжди можливо здійснити експериментально. По-четверте, програми дають можливість провести такі виміри на моделі електронної схеми, які важко виконати експериментально в лабораторії. Особливо це твердження справедливо для ВІС і НВІС.

4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОМПОНЕНТІВ І ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ В ЦІЛОМУ

Електронна схема складається з пасивних і активних компонентів, сполучених відповідно до її функціонального призначення. Спосіб з'єднання компонентів в схемі (або її структура) називається топологією.

4.1 Поняття математичної моделі компонента і схеми

У загальному випадку під математичною моделлю реального об'єкту розуміється будь-який математичний опис, що відображає з необхідною точністю поведінку цього об'єкту в заданих (реальних) умовах.

Якщо об'єктом є компонент електронної схеми або ціла схема, то математичною моделлю називатимемо математичний опис зв'язків між струмами і напругою, що виникають в компоненті або схемі в статичному і динамічному (перехідному) режимах роботи.

Математична модель компонента (ММК) зазвичай описує функціонування даного компонента на макрорівні, тобто визначаються лише ті властивості і закономірності компонента, які характеризують його взаємодію з іншими компонентами пристрою. Такі моделі оперують із зосередженими параметрами і встановлюють зв'язок між напругою на компонентах $u(t)$ і струмами $i(t)$, що протікають через них.

ММК називають ще компонентними рівняннями. Розрізняють математичні моделі ідеальних і реальних компонентів. Так, наприклад, для ідеальних пасивних компонентів такі рівняння мають вигляд:

для ідеального резистора

$$u(t) = R \cdot i(t) = \frac{i(t)}{G},$$

для ідеального конденсатора

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt},$$

для ідеальної котушки індуктивності

$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt},$$

де R і G – опір і провідність резистора відповідно

C – ємність конденсатора, L – індуктивність котушки.

Математична модель ідеального активного електронного компонента – підсилювального приладу - представляється схемою заміщення з джерелом струму, керованою напругою.

Математичні моделі реальних компонентів повинні враховувати їх нелінійні, частотні і шумові властивості, залежність параметрів від температури і інших чинників. Таким чином, математичними моделями реальних компонентів можуть бути рівняння ВАХ або диференціальні рівняння перехідних процесів в компоненті. Наприклад, ММК реального транзистора відповідає схема заміщення, що складається з лінійних і нелінійних опорів, нелінійних ємностей і нелінійних керованих джерел.

Програми моделювання, що реалізуються в системах автоматизованого проектування схемотехніки, містять вбудовані бібліотеки ММК різних рівнів складності для реальних типових компонентів.

Математична модель схеми (ММС) – це звичайна система рівнянь, що описує статичний або динамічний режим, які формуються на основі компонентних рівнянь і характеризують спільне функціонування компонентів, залежне від конкретного чину їх з'єднання – топології схеми.

Об'єднання компонентних рівнянь в ММС здійснюється за допомогою так званих топологічних рівнянь, які складаються на основі законів Кірхгофа:

для будь-якого вузла схеми

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0 \quad (\text{перший закон Кірхгофа});$$

для любого контуру

$$\sum_{i=1}^m u_i(t) = 0 \quad (\text{другий закон Кірхгофа}).$$

Рівняння законів Кірхгофа інваріантні для сигналів, які представлені функціями часу, зображеннями по Лапласу або комплексними амплітудами.

Для формування ММС аналогового радіоелектронного пристрою використовується декілька методів, які розрізняються складом незалежних змінних і виглядом вихідних топологічних рівнянь. До їх числа відносяться: табличний метод, метод вузлових потенціалів і метод змінних стану. Проте найбільш широкого поширення в САПР набув метод вузлових потенціалів і його модифікації. Метод вузлових потенціалів дозволяє формувати ММС у вигляді системи рівнянь, які складаються на основі першого закону Кірхгофа для внутрішніх вузлів схеми.

Для формування ММС цифрових радіоелектронних пристроїв використовуються алгоритми фізичного і логічного моделювання. При фізичному моделюванні окремі елементи, з яких складається цифровий пристрій (ЦП), представляються їх електричними макромоделями, що складаються з базових елементів теорії ланцюгів (плівкових резисторів і конденсаторів, дифузійних резисторів і конденсаторів, біполярного або МОН-ТРАНЗИСТОР, напівпровідникового діода і так далі). На підставі системи цих макромоделей формується повна електрична модель ЦП. Фізичні моделі ЦП дозволяють якнайповніше представити роботу пристрою в часі з врахуванням реальних затримок спрацьовування елементів. Ці моделі доцільно використовувати на завершальному етапі проектування РЕП із-за

великих витрат часу на моделювання, коли необхідно мати дані про пристрій, який не можна отримати за допомогою простіших моделей.

При логічному моделюванні кожен елемент ЦП представляється спрощеною формальною моделлю у вигляді логічного співвідношення, яке отримано за допомогою булевої алгебри і описує логіку його функціонування. При меншій деталізації роботи, порівняно з фізичними, логічні моделі володіють у багато разів великою швидкістю і дозволяють вирішувати ряд важливих практичних завдань, зокрема, перевіряти правильність логічного функціонування ЦП і порівнювати характеристики різних варіантів схемних рішень.

4.2 Питання класифікації математичних моделей реальних електронних компонентів і їх параметрів

Всі параметри цих моделей діляться на два класи: зовнішні і внутрішні.

Кожен з цих класів підрозділяється на два підкласи: первинні і вторинні параметри.

Первинні зовнішні параметри моделей – струми і напруга.

Вторинні зовнішні (їх інколи називають вихідними, або схемними) – параметри, що обчислюються на основі струмів і напруги: тривалості фронтів, імпульсів і затримок, розсіювані і споживані потужності, нерівномірності частотних характеристик, характерні значення струмів і напруги в окремих вузлах схеми.

Первинні внутрішні параметри – це електрофізичні і конструктивно-технологічні параметри; наприклад, розміри окремих областей компонентів, контактна різниця потенціалів, рухливість носіїв заряду, характеристики напівпровідникових матеріалів (ширина забороненої зони, температурні коефіцієнти та ін.).

Вторинні внутрішні (або електричні) – параметри, які можуть бути визначені на основі лише електричних вимірів на виводах компонента: вхідні і вихідні опори, коефіцієнти посилення і так далі.

Слід підкреслити, що, виходячи із завдань конкретного етапу проектування, математична модель реального компонента повинна відповідати самим різним вимогам. Ці вимоги, в своїй більшості, являються суперечливими, і вдале компромісне задоволення цих вимог в одних завданнях може виявитися далеким від оптимальності в інших. З цієї причини для одного і того ж компонента, або пристрою, часто доводиться мати не одну, а декілька моделей. У зв'язку з цим класифікація моделей РЕП повинна виконуватися по безлічі ознак, аби охопити всі можливі випадки.

По названих причинах розглянемо класифікацію ММК (реальних компонентів) детальніше. Зазвичай їх розрізняють по шести ознаках:

- по характеру зображуваних процесів
- за способом представлення моделі
- по характеру залежностей, які використовуються для моделювання
- по діапазону робочих сигналів
- по діапазону робочих частот
- по кількості параметрів моделі.

По характеру зображуваних процесів - діляться на статичні (на постійному струмі) і динамічні.

За способом представлення розрізняють моделі аналітичні, графічні і табличні.

Аналітичні моделі компонентів представляються зазвичай у вигляді рівнянь вольтамперних характеристик (ВАХ) або у формі диференціальних рівнянь перехідних процесів. Диференціальні рівняння характеризують інерційність компонента.

Графічні моделі можуть бути задані у вигляді графіків ВАХ, а також у вигляді схем заміщення (або еквівалентних схем). Часто виключення

реактивних елементів з динамічної схеми заміщення перетворює її на статичну. Такі схеми заміщення називають сепарабельними. Приклад: еквівалентна схема Еберса-Молла для біполярних транзисторів.

Табличні моделі задаються у вигляді цифрових таблиць; їм зазвичай відповідають графіки експериментальних ВАХ, для яких важко знайти аналітичне вираження.

Практично будь-яку модель (аналітичну, графічну і табличну) можна оформити у вигляді комп'ютерної підпрограми, яка називається цифровою моделлю.

По характеру залежностей, які використовуються для моделювання, моделі діляться на два великі класи: лінійні і нелінійні.

По діапазону робочих сигналів розрізняють моделі для малого (малосигнальні) і великого сигналів. Зазвичай малосигнальні моделі – лінійні, оскільки вони виходять при розгляді малих відхилень струмів і напруги від стаціонарної робочої точки. Моделі для великого сигналу, як правило, є нелінійними.

По діапазону робочих частот розрізняють низькочастотні і високочастотні моделі. У низькочастотних моделях інерційність компонентів на високих частотах не враховується. У високочастотних моделях інерційність врахована або диференціальним рівнянням, що описує перехідний процес усередині компонента, або введенням додаткових зовнішніх ємностей.

По кількості параметрів в моделі компонента виділяють:

- прості - характеризуються малою кількістю параметрів, частину з яких можна безпосередньо вказати на схемі; наприклад, R4 10k, C10 5nF;
- складні - характеризуються великою кількістю параметрів. Вони заносяться в бібліотеку моделей (наприклад, модель біполярного транзистора має 52 параметри).

Підкреслимо, що основна вимога до моделі – адекватність (повна відповідність) реальному об'єкту. Воно визначає точність розрахунків, що проводяться.

Проте вимога до точності моделі залежить від типу схеми. Наприклад, одні і ті ж активні компоненти працюють в схемах диференціального підсилювача і в схемах логічних транзисторних ключів. Але їх моделі мають бути різними. Наприклад, різними мають бути моделі біполярного транзистора, оскільки в диференціальному підсилювачі режим насичення принципово не використовується, а логічний транзисторний ключ використовує саме цей режим.

Тому доцільно для одного і того ж компонента мати набір вбудованих моделей різної складності і точності. Наприклад, для біполярного транзистора відомі зарядова модель Гуммеля – Пуна, нелінійна високочастотна модель Еберса – Молла, лінійні моделі – Т-подібна і гібридна П-образна.

Такий набір потрібний не лише для окремих компонентів, але і для типових функціональних вузлів. Наприклад, для операційного підсилювача, компаратора, АЦП, ЦАП, тригера, ЗП та ін. Спрощені моделі таких типових функціональних елементів отримали назву «макромоделі».

5. СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ПАКЕТИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ (МОДЕЛЮВАННЯ) СХЕМОТЕХНІКИ

5.1 Основні вимоги до пакетів проектування

Спочатку про вимоги до структури таких пакетів. Сучасний пакет прикладних програм повинен забезпечити проведення всіляких розрахунків РЕП широкого призначення.

Аналіз нелінійних схем (необов'язково чисто аналогових) включає вирішення наступних завдань:

- розрахунок режиму по постійному струму при відключених джерелах змінного сигналу;
- розрахунок перехідних процесів під дією джерел змінного періодичного сигналу;
- пошук періодичних рішень при дії періодичного сигналу;
- пошук періодичних вирішень автоколивальних систем у відсутності зовнішніх сигналів;
- спектральний аналіз періодичних рішень;
- розрахунок чутливості, облік статистичного відхилення параметрів, аналіз найгіршого випадку;
- параметрична оптимізація.

Аналіз лінійних аналогових схем включає вирішення наступних завдань:

- розрахунок комплексного коефіцієнта підсилення (або передавальної функції), входних і вихідних опорів (провідності);
- розрахунок рівня внутрішніх шумів;
- дослідження стійкості;
- побудова перехідного процесу при гармонійній і довільній зовнішній дії;
- розрахунок чутливості, облік статистичного розкиду параметрів, розгляд найгіршого поєднання параметрів;
- параметрична оптимізація.

Передбачається взаємодія програм аналізу лінійних і нелінійних схем: вихідна схема описується як нелінійна, потім розраховується режим по постійному струму і в зоні знайденої робочої точки програмно виробляється лінеаризація характеристик, після цього проводиться аналіз лінійного режиму.

Аналого-цифрові (АЦП, ЦАП, компаратори, таймери) і чисто цифрові пристрої моделюються в режимі розрахунку перехідних процесів, тобто в тимчасовій області. Проте інші режими також доступні. Наприклад, в режимі Dynamic DC (аналіз по постійному струму) тимчасові затримки сигналів в цифрових пристроях ігноруються і розраховуються лише вихідні логічні рівні (логічна “1” і логічний “0”) в стаціонарному режимі.

Крім того в режимі AC (розрахунок частотних характеристик: АЧХ і ФЧХ) цифрові компоненти не беруть участі в аналізі малосигнальних частотних характеристик. Але для аналогових частин АЦ- і ЦА- інтерфейсів складаються лінеаризовані схеми заміщення їх вхідних і вихідних комплексних опорів.

5.2 Коротка історична довідка

Провідною компанією на ринку автоматизованого проектування схемотехніки аналогової, аналого-цифрової і цифрової радіоелектронної апаратури на платформі персональних комп'ютерів до недавнього часу була корпорація Microsim.

Перша програма моделювання схемотехніки SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) була розроблена фахівцями цієї компанії на початку 70-х років минулого століття в Каліфорнійському університеті (м. Берклі).

Вона виявилася настільки вдалою, що з тих пір інтенсивно розвивається, і де-факто стала еталонною програмою моделювання чисто аналогових пристроїв.

Модифікація цієї програми під назвою PSPICE, перша версія якої для IBM PC була створена в 1984 році, стала основою всіх розроблених САПР для моделювання схемотехніки (проектування).

Далі компанією Microsim в 1990 році на основі загального обчислювального ядра PSPICE був створений програмний пакет Design

Center в середовищі Windows. Він дозволяв реалізувати не лише текстове, але і графічне введення електричних принципових схем, а також проектування не лише аналогових, але і аналого-цифрових (компаратори, АЦП, ЦАП) і чисто цифрових пристроїв (вентилі, тригери, лічильники, пристрої пам'яті і тому подібне).

Подальші версії Design Center 6.0, 6.1 і 6.2 (1994 – 1996р.) були доповнені програмами для проектування програмованих логічних матриць (ПЛМ) і розробки топології друкарських плат.

Починаючи з 1996 р., корпорація Microsim стала розробляти нове покоління САПР для моделювання схемотехніки під назвою Design Lab 8.0 (1997 р.), яка вже мала ряд додаткових можливостей, у тому числі:

- можливість моделювання програмованих логічних ІС (ПЛІС) фірми Xilinx;
- синтез аналогових і аналого-дискретних фільтрів на конденсаторах з перемиканням;
- можливість створення нових моделей компонентів;
- підвищену надійність алгоритмів розрахунку перехідних процесів.

Нарешті, на початку 1998 р. сталося об'єднання корпорацій Microsim і ORCAD, яке стимулювало розвиток їх провідних проектів Design Lab і ORCAD. Нова фірма отримала назву ORCAD.

У березні 2000 р. ця об'єднана фірма випустила чергову версію ORCAD 9.2, яка дозволяє проводити моделювання аналогових, аналого-цифрових і цифрових пристроїв, параметричну оптимізацію, а також ефективну розробку топології і трасування друкарських плат, тобто наскрізне проектування.

Також широко використовується система проектування (моделювання) схемотехніки типа Micro-Cap (Microcomputer Circuit Analysis Program) компанії Spectrum Software. Цей пакет прикладних програм також в значній мірі розвивався на основі обчислювального ядра SPICE.

Перша версія цієї програми (найбільш проста) MC-1 була створена у вересні 1982 року. Вона дозволяла здійснити графічне введення лінійних і

нелінійних схем лише аналогових пристроїв і їх моделювання, а також отримати динамічне відображення графіків характеристик в процесі моделювання.

Версія MC-7 (2001 року) володіє наступними основними характеристиками:

1. Наявність графічного редактора принципів схем.
2. Можливість проведення параметричної оптимізації в режимах розрахунку пристроїв по постійному струму, а також в тимчасовій і частотній областях.
3. Засоби синтезу пасивних і активних аналогових фільтрів.
4. Велика бібліотека компонентів, що включає найбільш популярні цифрові IC і аналогові компоненти типу діодів, БТ, ПТ, магнітних сердечників, НВЧ-ліній передач з втратами, датчиків Холу та ін.
5. Забезпечення інтерфейсу з програмами розробки друкарських плат ORCAD, P-CAD та ін.
6. Багатоваріантний аналіз при варіації параметрів, статистичний аналіз по методу Монте-Карло і інші характеристики.

Для пакету MC-7 є студентська (демонстраційна) і професійна версії. Наприклад, перша призначена для моделювання простих схем, що містять не більше 50 компонентів або 100 зв'язків (число вузлів + число індуктивностей + число джерел сигналів). Крім того, можливості демоверсії обмежені: у ній відсутня програма MODEL складання математичних моделей компонентів за експериментальними даними, недоступна команда доставлення списку з'єднань схеми для їх передачі в системі розробки друкарських плат, обмежені можливості засобів синтезу аналогових фільтрів, побудови тривимірних графіків і ряду інших.

У професійній версії MC-7 максимальний об'єм схеми збільшений до 10 тисяч вузлів, але її вартість набагато вища. Відзначимо, що моделювання в студентській версії виконується у декілька разів повільніше, ніж в професійній.

Студентську версію можна отримати по Інтернету, звернувшись на сайт www.spectrum-soft.com (дистрибутив демоверсії займає 3,9 Мб). Пакет Micro-Cap7 випускається для платформ IBM, NEC і Macintosh.

В даний час фахівці цієї компанії розробили нові версії родини: Micro-Cap 8 і 9.

З інших систем автоматизованого моделювання схемотехніки слід виділити:

Electronics Workbench, версія 5.0 (див. сайт www.interactiv.com) – на відміну від інших систем на екрані дисплею зображуються вимірювальні прилади (осцилографи, вольтметри і ін.) з органами управління, максимально наближеними до реальності. Користувач звільняється від вивчення досить абстрактних правил складання завдань на моделювання. Досить на схему помістити двоканальний осцилограф і генератор сигналів – і програма сама повідомить, що потрібно аналізувати перехідні процеси. Якщо ж на схемі розмістити аналізатор спектру, то буде спочатку розрахований режим по постійному струму, виконана лінеаризація нелінійних компонентів і потім вироблений розрахунок характеристик схеми в частотній області. Діапазон аналізованих частот, коефіцієнт посилення і характер оцифровування даних (у лінійному або логарифмічному масштабі) встановлюються на лицьовій панелі за допомогою миші. Проте практика показує, що точність розрахунків, отримуваних за допомогою такого пакету, на жаль, невелика.

Protel DXP (на сайті www.protel.com) – система наскрізного проектування аналогових і цифрових електронних пристроїв, що інтенсивно розвивається, яка розроблена фірмою Protel International (нова назва Altium).

Microwave Office 2002 (на сайті www.mwoffice.com) – дозволяє моделювати НВЧ пристрої, задані як у вигляді принципів, так і у вигляді функціональних схем. Тут моделювання стаціонарних режимів нелінійних пристроїв виконується методом гармонійного балансу, а в разі слабких нелінійних пристроїв використовуються функціональні ряди Вольтерри-

Вінера. Можна проводити також аналіз шумів і синтез топології мікросмужних ліній.

Слід зазначити, що для проектування складних радіоелектронних пристроїв і систем на рівні функціонально-логічного проектування використовують наступні програмні пакети:

System VIEW фірми Elanix (www.elanix.com) - призначений для системотехнічного моделювання систем аналогової, цифрової і аналого-цифрової обробки сигналів, систем зв'язку, систем автоматичного регулювання і управління та ін. Він є “конструктором”, що дозволяє із стандартних “чорних ящиків” (якось: підсилювачів, помножувачів, модуляторів, демодуляторів, генераторів, джерел різних сигналів і ін.) створювати функціональні схеми пристроїв і виконувати моделювання при дії на них різних сигналів і перешкод.

ADS (Advanced Design System) фірми Agilent – це пакет, призначений для моделювання з метою аналізу характеристик сучасних радіосистем, що містять блоки аналогової і цифрової обробки сигналів різного функціонального призначення.

Необхідно також згадати про існування сучасних інтегрованих САПР для проектування надвеликих ІМС (НВІС), наприклад, НВІС типу систем на одному кристалі – “system on chip”. Такі НВІС містять до 10^6 і більш електронних компонентів на одному кристалі. Вони виконуються по поєднаній BiCMOS-технології і містять, як правило, три частини: аналогову, аналого-цифрову (АЦП і ЦАП) і цифрову (на процесорах цифрової обробки сигналів). Ці САПР складаються з великого числа програм, що розрізняються орієнтацією на різні проектні процедури і різних типів схем. Найбільш відомими розробниками інтегрованих САПР є фірми Synopsys, Cadence Design Systems, Mentor Graphics.

6. ОСНОВИ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ПРОЕКТУВАННЯ

6.1 Постановка задачі

На етапі конструкторського проектування радіоелектронної апаратури (РЕА) необхідно розглядати розміри ІС, транзисторів, резисторів, конденсаторів та інших радіокомпонентів, розміри провідників та відстані між ними, розміри замінюваних блоків, число контактів роз'єму на замінюваних блоках, вид монтажу для проведення з'єднань. Крім того, слід забезпечити задані вимоги до надійності роботи пристроїв у заданих фізичних та кліматичних умовах, можливість ремонту, оптимальну вартість виготовлення та обслуговування, витримати габаритні та вагові показники.

Основним принципом конструювання РЕП є модульність виготовлення пристроїв, причому модульна структура має, як правило, ієрархічний характер. Найбільш яскраво це проявляється при конструюванні ЕОМ, яка має відносно високу ступінь уніфікації схемних рішень. Модулі різного рівня складності об'єднуються в пристроях у відповідності до їх функціональної ієрархії (рис. 6.1)

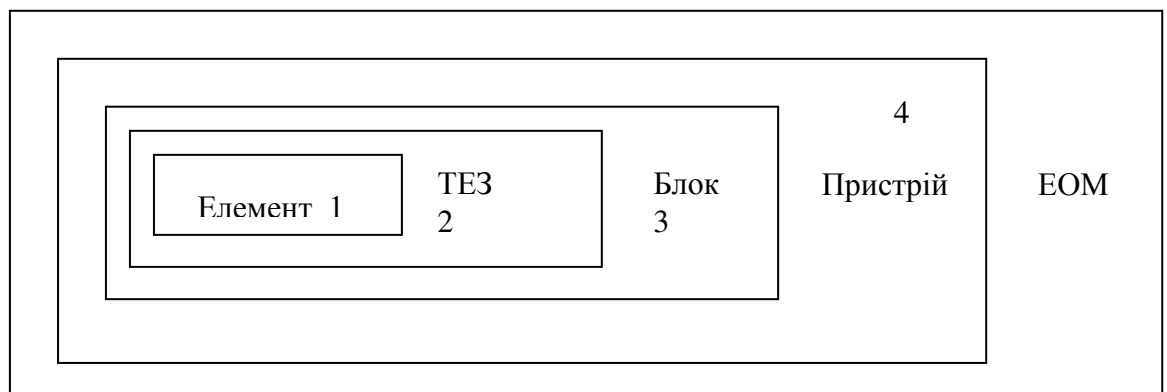


Рисунок 6.1 - Ієрархія конструктивних модулів

Модуль рівня 1 представляє собою або ІС, яка містить декілька логічних елементів типу І, АБО, НІ, або фрагмент ВІС – тригер, регістр. Модуль рівня 2 об'єднує на одній печатній платі (як правило двосторонній) декілька

десятків ІС або декілька ВІС і є типовим елементом заміни (ТЕЗ), який використовується для оперативної заміни при виникненні несправностей у пристрої. Модуль рівня 3 поєднує ТЕЗи у блоки, які конструктивно можуть бути оформлені у вигляді касети з панеллю, яка має провідний або печатний монтаж. Модуль рівня 4 представляє собою окремий пристрій і містить ряд касет, які конструктивно об'єднані в стійку або шафу, у якій міжпанельні з'єднання виконуються джгутовим монтажем.

З'єднання в РЕП в значній мірі визначають їх основні технічні параметри, такі як вагу, об'єм, надійність, швидкодію. Наприклад, при переході від вузлів найнижчого конструктивного рівня до найвищого (ІС – печатні плати – панелі) виникають значні втрати щільності компоновки елементів, що збільшує час розповсюдження електричних сигналів.

Системи автоматизованого конструкторського (технічного) проектування у першу чергу були реалізовані для проектування двошарових та багатошарових печатних плат, а також для випуску технічної документації, до складу якої входять електричні схеми і складальні креслення, таблиці кіл та таблиці специфікацій, технологічна документація.

При технічному проектуванні перевага надається автоматичним системам, коли по початковому опису схеми забезпечується проектування і випуск документації без участі людини. Це значно зменшує вірогідність внесення помилок та підвищує ефективність праці проектувальників.

Задачі конструювання РЕП мають загальну природу з точки зору автоматизації проектування. Вони вирішуються із використанням загальної родини алгоритмів, при конкретній реалізації яких на ЕОМ в САПР враховується використовувана технологія виготовлення пристроїв. Такими типовими задачами виступають компоновка блоків, розміщення компонентів та трасування монтажних з'єднань. Ці задачі є оптимізаційними.

Серед алгоритмів конструкторського проектування вирізняють два основних класи: конструктивні та операційні.

Конструктивні алгоритми формують проектне рішення протягом послідовних кроків: обирається один елемент схеми рівня, який розглядається, до нього за встановленими правилами приєднується другий, до отриманого комплексу елементів – третій і т.д. Алгоритми, які використовують таку методологію називаються послідовними. Алгоритми, у яких формується декілька груп елементів в межах одного кроку, називаються паралельними. Розроблено також комбіновані послідовно-паралельні конструктивні алгоритми.

Ітераційні алгоритми вимагають завдання початкового вирішення задачі конструкторського проектування, яке потім покращується. Початкове рішення задається конструктором-проектувальником або отримується на ЕОМ як результат роботи конструктивного алгоритму.

Виділення трьох основних етапів конструкторського проектування – компоновки, розміщення, трасування – спрямоване на пониження розмірності загальної задачі. Остання задача конструкторського проектування – трасування – є найбільш важливою, але в деяких випадках вона не має повного автоматизованого рішення. Після роботи програм автоматичного трасування залишається близько 5-10% нерозведених з'єднань, які потім доопрацьовуються конструкторами.

6.2 Основні принципи моделювання конструкцій та схем

Найбільш загальною моделлю конструкцій є монтажний простір. Математична модель монтажного простору зазвичай дискретна. У цьому випадку вона представляє собою опис координатної сітки з рівномірним або нерівномірним кроком. Можливі позиції елементів характеризуються цілочисельними індексами, а не дійсними значеннями координат, що є зручним для алгоритмізації задач конструювання. Зазвичай проектуються і реалізуються двохшарові та багатошарові конструктивні елементи, до того ж кожен шар має свій номер. Тому для опису місцеположення елемента у шарі

достатньо двох індексів. При цьому відстань визначається у відносних одиницях. Прикладами фізичного відображення плоского монтажного простору можуть служити печатна плата, підложка мікрозборки, шар кристалу ВІС.

Оскільки завдання конструкторського проектування практично завжди пов'язані з оцінкою довжини з'єднань, то в монтажному просторі задаються різні метрики. Наприклад, відстань d_{ij} між i -им та j -им компонентами схеми визначають наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} d_{ij}^{(1)} &= \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \\ d_{ij}^2 &= |x_j - x_i| + |y_j - y_i| \\ d_{ij}^3 &= |x_j - x_i|^S + |y_j - y_i|^S \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

Перший спосіб дає оцінку довжини з'єднання між двома точками з координатами (x_i, y_i) , (x_j, y_j) по найкоротшій відстані (Рис. 6.2, а, б). Другий спосіб призначений для оцінки довжини ортогональних з'єднань, які прокладено паралельно вісям координат (Рис. 6.2, в-д), коли з'єднання проводяться по магістралям або каналам. Третій спосіб є корисним, коли в задачах оптимізації виникає потреба у зменшенні не тільки сумарної, але і максимальної довжини провідників.

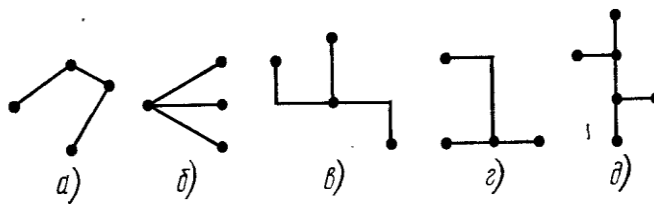


Рисунок 6.2 – Види монтажних з'єднань: а – ланцюг, б – зірка, в – д – ортогональне з'єднання

Любу вихідну схему (функціонально-логічну або принципову електричну) представляють як комутаційну. Комутаційна схема – набір елементів, пов'язаних між собою з'єднаннями, по яким подаються сигнали на полюси елементів (Рис. 6.3).

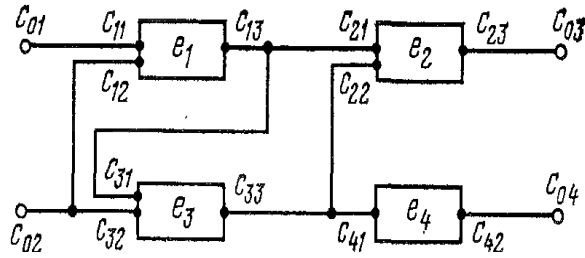


Рисунок 6.3 – Комутаційна схема

Елементи схеми і зовнішні комутації кожного елемента пронумеровуються, а з'єднання схеми, які мають однаковий потенціал, об'єднують в комплекси з'єднань, які також пронумеровують (Рис. 6.4).

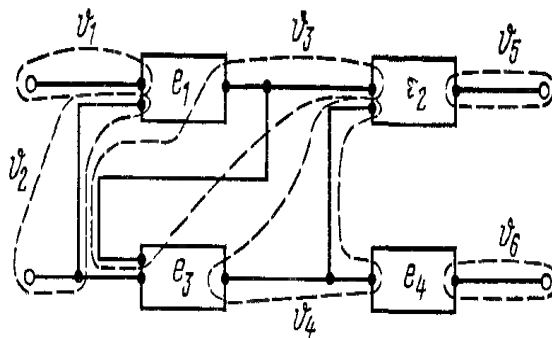


Рисунок 6.4 – Комплекси з'єднань на схемі

Пронумеровані n елементів схеми складають множину $E = \{e_i, i=0,1,2,\dots,n\}$. Зовнішні комутації елементів складають сімейство множин $\{C_i = \{c_{ij}, j=1,2,\dots, k_i\}, i=0,1,2,\dots, n\}$, де i – номер елемента; j – номер вивода у даному елементі, k_i – число виводів i -го елемента. Також слід відмітити, що елементи множини C_0 відносять до зовнішніх виводів схеми, утворюючи спеціальну групу. Комплекси з'єднань, виділені на Рис. 6.4 пунктирними лініями, утворюють сімейство множин $V = \{v_i, i=1,2, \dots, M\}$, де v_i – множина еквіпотенціальних виводів схеми; M – число комплексів.

$$C = \bigcup_{i=0}^n c_{ij} = \bigcup_{j=1}^M v_j, v_j \neq \emptyset, v_i \cap v_j = \emptyset (i \neq j) \quad (6.2)$$

Такий опис може бути представлений у вигляді графа (Рис. 6.5), якщо елементи множин E, C, V розглядати як вершини, а також ввести ребра, які визначають приналежність виводів елементам (елементні ребра F) і приналежність виводів комплексам з'єднань (сигнальні ребра W). Подібна

математична модель у вигляді графа широко використовується у задачах дискретної оптимізації.

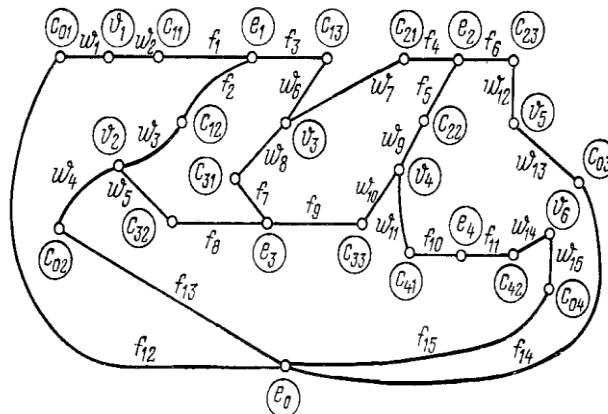


Рисунок 6.5 – Граф схеми

Граф з вершинами трьох типів (E,C,V) та ребрами двох типів (F,W) дає найбільш детальне представлення схеми. Цей граф використовується при завданні повної інформації про схему в процесі автоматизованого проектування. Однак, у деяких задачах та алгоритмах можливо скористатись меншим обсягом інформації про схему, наприклад, використовуючи граф, отриманий після витягування вершин C_i у вершини E та видалення елементних ребер F (Рис. 6.6).

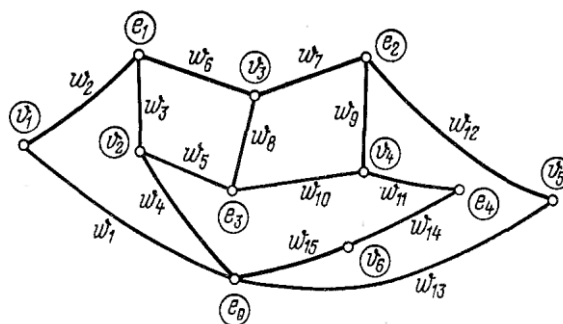


Рисунок 6.6 – Граф елементарних комплексів з'єднань

Для відображення комутаційної схеми в ЕОМ використовується як матричне, так і списочне представлення розглянутого графа. У матричному представленні використовуються матриці інценденцій «номер комплексу – номер виводу елемента» або «номер елемента – номер виводу елемента»

розмірності $(M \times \sum_{i=0}^n k_i)$ та $(n \times \sum_{i=0}^n k_i)$. Списочне представлення, яке містить ту

саму інформацію, дозволяє скоротити об'єм вихідних даних, а також підвищити ефективність алгоритмів як по пам'яті, так і за часом.

Приклад матричного та списочного опису повної моделі (Рис. 6.5) комутаційної схеми представлений на Рис. 6.7.

	c_{01}	c_{02}	c_{03}	c_{04}	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{41}	c_{42}
v_1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
v_3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
v_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
v_5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
v_6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

$v_1\{(0,1),(1,1)\}; v_2\{(0,2),(1,2),(3,2)\}; v_3\{(1,3),(2,1),(3,1)\};$

$v_4\{(2,2),(3,3),(4,1)\}; v_5\{(0,3),(2,3)\}; v_6\{(0,4),(4,2)\}$

Початкові елементи комплексів - $\{1, 3, 6, 9, 12, 14\}$

$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$

Рисунок 6.7 - Матричний та списочний опису комплексів з'єднань

Найбільш компактний спосіб запису інформації про комутаційну схему дає опис графа за допомогою звернутої матриці, рядки якої відповідають елементам схеми, стовбці – номерам виводів елементів, а елементами матриці виступають номери комплексів з'єднань, яким належать виводи (Рис. 6.8).

$$T = \|t_{ij}\|_{n \times k} = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} l_0 \\ l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} 1 & 2 & 5 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & - \\ 3 & 4 & 5 & - \\ 3 & 2 & 4 & - \\ 4 & 6 & - & - \end{matrix} \right\| \end{matrix}$$

Рисунок 6.8 – Скорочений табличний опис графа схеми

Останнє представлення є зручним для підготовки вихідної інформації, так як забезпечує отримання любого іншого графа схеми шляхом програмного перетворення.

6.3 Критерії алгоритмів компоновки

Задача компоновки елементів пристрою в блоки, зазвичай, ставиться як задача оптимального розбиття пристрою, для якого задана функціональна, логічна або принципова схема. Це означає, що відомо набір елементів та їх з'єднань в апаратурі, що проектується.

При формулюванні задачі компоновки використовуються наступні умови (критерії оптимізації або обмеження):

1. Кожен блок містить не більше P компонентів і не більше Q виводів.
2. Кожен блок розміщується у заданому об'ємі V_i і має довжину зовнішніх зв'язків не більше E_i .
3. Загальна кількість з'єднань між блоками N мінімальна.
4. Число блоків N мінімальне.
5. Блоки обираються із числа стандартних еталонних елементів, які складають бібліотеку.
6. Число типів блоків, які використовуються, є мінімальним.
7. Число блоків Q_i у кожному блоці мінімальне.
8. Виконуються задані обмеження на затримки розповсюдження сигналів.
9. Забезпечується зручність тестування, доступність елементів у блоках і низька вартість ремонту.

При розв'язанні задач компоновки використовуються математичні формулювання задач цілочисельного (дискретного) лінійного або нелінійного програмування. Комбінаторні алгоритми, як правило, не використовуються із-за великого розміру задачі. Тому використовуються наближені алгоритми компоновки послідовного, послідовно-паралельного або ітераційного типу.

Після виконання компоновки і визначення реальних затримок, а також корегування схеми бажано провести тимчасове логічне або схемотехнічне

моделювання з ціллю перевірки функціонування пристрою, який проектується.

6.4 Критерії алгоритмів розміщення

Після компоновки РЕП потрібно здійснити для кожного стандартного та унікального блоків оптимальне розміщення компонентів в монтажному просторі.

В задачах розміщення використовуються наступні критерії якості:

1. Мінімальна сумарна довжина провідників з'єднання.
2. Мінімальна довжина провідників, які з'єднують дві найбільш віддалені точки кожного кола.
3. Мінімальна довжина провідників, які з'єднують джерело сигналу із найбільш віддаленим навантаженням.
4. Мінімальна сумарна площа зон реалізації усіх кіл.
5. Мінімальна кількість провідників, довжина яких перевищує задану величину.
6. Мінімальна найбільша довжина провідників з'єднання.
7. Максимально близьке розміщення компонентів, які мають найбільшу кількість спільних кіл з урахуванням допустимої відстані між елементами.

У регулярному монтажному просторі із числом позицій m при наявності у схемі n компонентів ($n \leq m$), кожний із котрих займає одну позицію, число можливих розміщень визначається наступним чином:

$$N_p(m, n) = n! C_m^n = \frac{m!}{(m-n)!} \quad (6.3)$$

При вирішенні практичних завдань розміщення широко використовуються евристичні процедури, алгоритми яких мають конструктивний або ітераційний характер.

Конструктивні алгоритми формують розміщення, починаючи від деякого заданого послідовним додаванням елементів із урахуванням критерію

оптимальності і заданих обмежень до тих пір, поки усі елементи не буде встановлено. Конфігурація розміщення при використанні конструктивних алгоритмів визначається тільки після повного завершення роботи алгоритму.

Ітераційні алгоритми мають перевагу перед конструктивними алгоритмами. Ця перевага проявляється в тому, що на будь-якому етапі роботи ітераційного алгоритму вже існує закінчений варіант розміщення, що відповідає практичним цілям.

Як правило, на практиці використовують комбінацію методів, а також враховують специфіку технології виготовлення схем, що призводить до збільшення кількості як постановок задач, так і програмних реалізацій, які мають достатньо складний характер.

6.5 Критерії алгоритмів трасування

Задача трасування полягає в побудові з'єднань між виводами розміщених в заданому монтажному просторі елементів у відповідності із принциповою схемою пристрою з урахуванням конструктивних обмежень. Зазвичай траса формується у вигляді множини пов'язаних відрізків, які з'єднують точки електричного кола.

При розв'язанні задачі трасування використовують наступні критерії та умови:

1. Мінімальна сумарна довжина з'єднань.
2. Мінімальна кількість з'єднань, довжина яких перевищує задане значення.
3. Мінімальне число переходів між шарами.
4. Мінімальна кількість шарів
5. Мінімальні шкідливі перешкоди.
6. Максимальна віддаленість трас з'єднань.
7. Число шарів не перевищує задане значення.
8. Довжина з'єднання не перевищує заданого значення.

9. Рівень шумів, які наводяться на кожній трасі, не перевищую допустимого значення.

10. Число з'єднань (припоїв) до одного вивода не перевищує заданого значення.

11. Встановлюється переважаючий напрямок трас у кожному шарі.

Алгоритмічні методи трасування, незважаючи на їх різноманітність, не гарантують проведення 100% з'єднань. По способу побудови трас методи трасування розділяються на конструктивні та ітераційні.

У послідовних конструктивних алгоритмах траси кіл проводяться в установленому порядку одна за іншою. Вибір черговості – евристичний. Зазвичай розпочинають прокладку трас або із самих довгих з'єднань, так як у сильно заповненому монтажному просторі їх важче формувати, або із самих коротких з'єднань, які щільніше заповнюють монтажний простір. Розташування траси фіксується і при подальшому трасуванні розглядається як перешкода. Таким чином, у послідовних алгоритмах здійснюється локальна оптимізація при прокладенні кожної траси. Але в результаті після проведення ряду трас деякі ділянки можуть бути заблоковані, що не дозволяє виконати трасування автоматично.

У ітераційних алгоритмах після формування усіх трас, яке здійснювалось без урахування взаємного впливу трас, визначається функція якості трасування. Ця функція представляє собою зважену суму параметрів траси (довжина, число перетинань, число перегинань). Найгірші траси видаляються, і процес трасування повторюється з урахуванням множини кращих з'єднань як перешкод. Останнє відображення є зручним для підготовки вихідної інформації, так як забезпечує отримання любого іншого представлення графа схеми шляхом програмного перетворення.

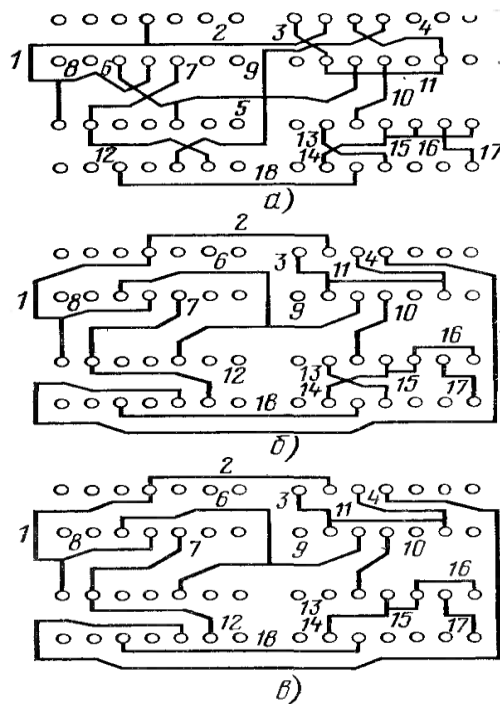


Рисунок 6.9 - Приклад трасування елементів: а) найкоротшими шляхами; б) мінімізація числа перетинань; в) усунення перетинань.

Більшість відомих універсальних алгоритмів трасування базуються на хвильовому алгоритмі визначення шляху.

Інший відомий алгоритм – це променевий алгоритм. Існують також алгоритми, що використовують каналний вигляд магістралей з'єднань.

Але великим недоліком систем автоматизованого конструкторського проектування є потреба у великій кількості вихідної інформації, яка може готуватися деякий час. Для подолання цього недоліку виникає потреба у САПР, які поєднують усі етапи проектування РЕП та мають інтегровані бази даних. Інформація цих баз постійно поповнюється у процесі розробки. Також необхідно проводити стандартизацію раціональних схемотехнічних та конструктивних рішень. Однією із таких систем є система проектування РЕП P-CAD.

7. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ P-CAD 2001

7.1 Склад системи P-CAD 2001

Система P-CAD 2001 є інтегрованим пакетом програм, призначеним для проектування багат шарових друкарських плат (ДП) радіоелектронних засобів (РЕЗ). Вона адаптована до операційного середовища Windows і використовує всі налаштування і можливості останнього.

P-CAD 2001 включає наступні програмні модулі: P-CAD Library Executive, P-CAD Schematic, P-CAD PCB, P-CAD Autorouters, Symbol Editor, Pattern Editor, InterPlace PCS, Relay, Signal Integrity.

Утиліта Library Executive (Адміністратор бібліотек) складається з програми Library Manager (Менеджер бібліотек), редактора символів елементів Symbol Editor і редактора посадочних місць Pattern Editor електрорадіоелементів (ЕРЕ) на ДП.

P-CAD Schematic — графічний редактор електричних схем. Він призначений для розробки електричних принципових схем і може застосовуватися для створення умовних графічних позначень (УГП) окремих ЕРЕ (файли з розширенням .sch).

P-CAD PCB — графічний редактор ДП. Він призначений для проектування конструкторсько-технологічних параметрів ДП. До них відносяться: завдання розмірів ДП, ширина провідників, величина зазорів, розмір контактних майданчиків, діаметр перехідних отворів (ПО), завдання екранних шарів, маркіровка, розміщення ЕРЕ, неавтоматичне трасування провідників і формування файлів, які управляють технологічним устаткуванням.

P-CAD Autorouters призначений для автоматичного трасування провідників ДП. Він включає два автотрасувальники: програму Quick Route для проектування малюнка ДП складних, і не дуже, електричних схем, Також

до P-CAD Autorouters входить і безсітковий трасувальник Shape-Based Router, призначений для проектування багат шарових ДП з високою щільністю розташування ЕРЕ.

Symbol Editor — редактор символів елементів (файли з розширенням .sym). Призначений для створення умовних графічних позначень символів ЕРЕ електричних схем.

Pattern Editor — редактор посадочних місць (файли з розширенням .pat). Призначений для розробки посадочних місць для конструктивних ЕРЕ на ДП.

InterPlace PCS — програма інтерактивного розміщення ЕРЕ.

Relay — програма перегляду ДП, розставляння ЕРЕ на ній, завдання основних атрибутів, контролю технологічних обмежень.

Signal Integrity — програма аналізу електричних параметрів ДП.

SPECSTRA — програма розміщення ЕРЕ на ДП, ручного, інтерактивного і автоматичного трасування провідників. Завдяки безсітковій технології є дуже ефективним трасувальником ДП високої міри складності і з високою щільністю розміщення ЕРЕ. Інформація про ДП в SPECSTRA передається через редактор РСВ.

7.2 Основні технічні характеристики системи

Система P-CAD 2001 встановлюється на комп'ютер з процесором не менше Pentium 486. Працює під управлінням Microsoft Windows 95/98/2000/NT. На жорсткому диску вона разом з бібліотеками і утилітами займає близько 350 Мб. Мінімальний об'єм ОЗУ складає 16 Мб, але рекомендується 32 Мб, мінімальна роздільна здатність монітора 800x600.

Система P-CAD 2001 дозволяє виконувати проекти:

- на друкарських платах, що не перевищують розмір 60x60 дюймів;
- з шириною траси не більше 1 см;
- з мінімальним кроком сітки 0,001 мм = 1 мкм в метричній системі.

Проекти включають:

- не більше 99 листів схем в проекті з максимальним розміром аркуша 60х60 дюймів;
- не більше 64 000 ланцюгів в проекті;
- не більше 999 виводів в компоненті;
- не більше 255 секцій в компоненті;
- не більше 20 000 компонентів в одній бібліотеці;
- не більше 99 шарів в базі даних ДП (включаючи сигнальні шари, шари металізації і допоміжні шари);
- не більше 64 000 типів контактних майданчиків в проекті;
- не більше 64 000 стилів стеків контактних майданчиків в проекті.

7.3 Запуск системи

Запуск програм системи P-CAD 2001 виконується наступним чином.

Клацанням по кнопці «Пуску» у меню команд «Програм» знайти «P-CAD 2001» і клацнути по ній. У меню, що відкрилося, ряд назв починатиметься з P-CAD. Це і є програмні модулі P-CAD 2001. Для запуску будь-якого з них досить клацнути по потрібному, і програма відкриється.

У тому випадку, якщо на комп'ютері запущена одна з програм P-CAD 2001, необхідно ЛК (ліва кнопка) миші клацнути по команді Utils (Службові команди) в другому рядку зверху. Відкриється меню, в якому декілька пунктів починаються з аббревіатури P-CAD. Клацання ЛК миші по необхідній назві запустить програму. При цьому програма, що діє, не закриється, а лише згорнеться, і до неї завжди можна буде повернутися.

7.4 Організація інтерфейсу користувача

Екрани програмних модулів P-CAD 2001 організовані по єдиному зразку. Невеликі відмінності стосуються лише специфіки вирішуваних модулями завдань, що спрощує процес вивчення і роботи з системою. Тому,

загальний вигляд екрану програмних модулів P-CAD 2001 розглянемо на прикладі екрану графічного редактора P-CAD Schematic (Рис. 7.1).

У верхній частині екрану на синьому фоні вказується назва запусненої програми та ім'я проекту, з яким ведеться робота. У наступному рядку розміщено меню основних команд редактора.

Вибрана команда виконується установкою на неї курсору і клацанням лівою кнопкою (ЛК) миші. В результаті відкривається відповідне викидне меню.

Після нього слідує рядок із стандартною панеллю інструментів. Тут же можуть бути різні панелі інструментів програмного модуля, місце розташування яких визначається користувачем.

В центрі екрану знаходиться робоче поле програми, на якому ведеться проектування. У лівій частині екрану вертикально розміщені кнопки управління командами (піктограми), призначені для швидкого виклику команд, що найбільш часто вживаються. З правої сторони і знизу від цього поля є смуги прокрутки, призначені для переміщення зображення на екрані.

У нижній частині екрану під смугою прокрутки розташований рядок повідомлень, на який виводиться інформація, пов'язана з виконуваною командою. У нижній частині екрану розташовано рядок станів.

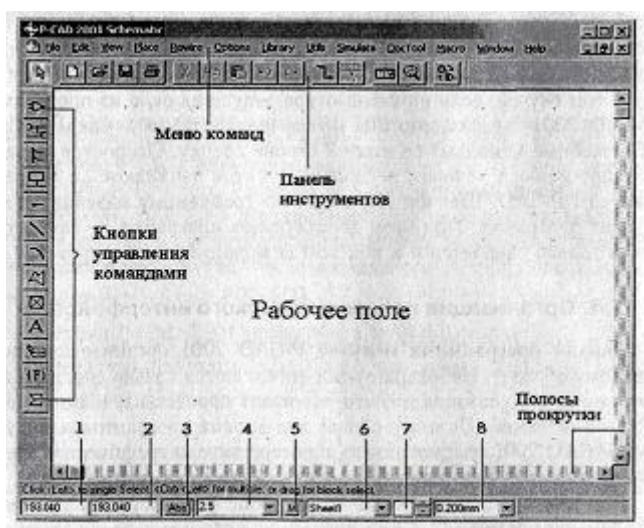


Рисунок 7.1 - Робоче поле програми

На ньому зліва направо виводиться наступна інформація:

1. Координати X і Y (поз. 1 і 2 на Рис. 7.1), вказує поточне місце розташування курсору при його переміщенні по робочому полю. На місце цих координат можна ввести з клавіатури необхідні значення координат і курсор переміститься у вказану точку.

2. Тип сітки (поз. 3) має два значення: абсолютне і відносне. Абсолютна сітка (Abs) має початок координат в нижньому лівому кутку робочого поля, а для відносної сітки (Rel) початок координат можна задавати в будь-якій точці поля.

3. Крок сітки (поз. 4). Клацання ЛК по кнопці вибору розвертає список значень кроків сітки, в якому можна курсором вибрати потрібне значення.

4. Запис макрокоманд (M) (поз. 5). Клацання по ній ЛК починає запис в тимчасовий файл всіх виконуваних команд.

5. Поточний аркуш схеми (Sheet1) (поз. 6) і відкриття цього вікна (поз. 7). Після клацання по кнопці вибору з'являється список всіх листів проекту, а кнопками прокрутки відкривається необхідний аркуш.

6. Ім'я поточного шару ДП (лише у P-CAD PCB).

7. Ширина лінії (у мм — міліметрах, mil — мілах або in — дюймах) (поз. 8). Клацання ЛК по кнопці вибору відкриває список значень ширини лінії.

8. Радіус заокруглення (Grid) (лише у P-CAD PCB) дозволяє вибрати радіус заокруглення вершин полігонів.

9. Рядок інформації, куди виводиться поточна інформація про об'єкт, ланцюги і тому подібне

7.5 Порядок проектування друкарських плат

Проектувальник вузла ДП РЕЗ, зазвичай разом з технічним завданням на проектування, отримує на паперовому носіїві і вихідну електричну схему. При цьому склад електронної бібліотеки з умовними схемними

позначеннями елементів в проектному підрозділі може бути або неповним, або взагалі бути відсутнім. В цьому випадку така бібліотека повинна поповнюватися силами співробітників самого підрозділу. Тому, проектувальник повинен володіти всім арсеналом засобів системи (від створення умовних графічних елементів схем до здобуття рисунка друкарської плати) і уміти в потрібний момент використовувати той або інший програмний модуль.

У одному з варіантів використання модулів системи P-CAD 2001 при виконанні процедур проектування вузлів друкарських плат порядок виконання наступний.

1. Створення умовних графічних позначень окремих елементів електричних схем за допомогою редактора символів P-CAD Symbol Editor.

2. Розробка посадочних місць для всіх конструктивних електрорадіоелементів (EPE) електричної принципової схеми за допомогою редактора корпусів P-CAD Pattern Editor.

3. Упаковка виводів конструктивних елементів (перенесення схеми на ДП) засобами програми P-CAD Library Executive.

4. Розробка схеми електричної принципової за допомогою графічного редактора P-CAD Schematic.

5. Формування контуру друкарської плати і розміщення конструктивних елементів на ній за допомогою графічного редактора друкарських плат P-CAD PCB.

6. Трасування провідників друкарських плат:

- у ручному і інтерактивному режимах засобами графічного редактора друкарських плат P-CAD PCB;

- у автоматичному режимі програмами модуля P-CAD Autorouters, що викликається з керованої оболонки P-CAD PCB.

8. ПРОГРАМА ELECTRONICS WORKBENCH (EWB) ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ АНАЛОГОВИХ І ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

8.1 Підготовка схем

Головне робоче вікно EWB представлено на Рис. 8.1

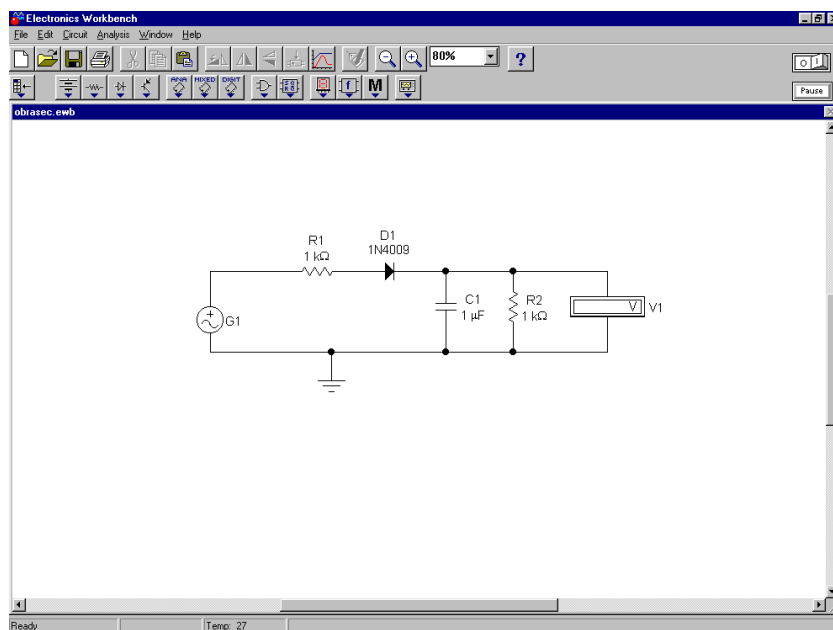


Рисунок 8.1 - Головне вікно EWB

Створення схем починається з розміщення на робочому столі компонентів з бібліотек програми. Перш ніж створювати креслення принципової схеми засобами програми EWB, доцільно на аркуші паперу підготувати її ескіз із попереднім розташуванням компонентів.

Тринадцять розділів бібліотек можуть бути викликані по черзі за допомогою кнопок:



Рисунок 8.2 - Кнопки виклику бібліотек елементів

Для цього необхідно підвести курсор до відповідної кнопки і клацнути лівою клавiшею миші. При цьому з'являється вікно, в якому змальовані

умовні позначення певної групи електронних компонентів і пристроїв. Нижче приведено меню (Рис. 8.3) для вибору компонентів при натисненні третьої клавіші (група діодів):



Рисунок 8.3 - Меню групи діодів

Призначення клавіш (зліва направо):

- 1) група Sources – джерела сигналів;
- 2) група Basic – пасивні компоненти і комутаційні пристрої;
- 3) група Diodes – діоди;
- 4) група Transistors – транзистори;
- 5) група Analog ICs – аналогові мікросхеми;
- 6) група Mixed Ics – мікросхеми змішаного типу;
- 7) група Digital Ics – цифрові мікросхеми;
- 8) група Logic Gates – логічні цифрові мікросхеми;
- 9) група Digital – цифрові мікросхеми;
- 10) група Indicators – індикаторні пристрої;
- 11) група Controls – аналогові обчислювальні пристрої;
- 12) група Miscellaneous – компоненти змішаного типу;
- 13) група Instruments – контрольно-вимірювальна апаратура.

Як приклад розглянемо етапи створення схеми, приведеної на Рис. 8.1.

Для цього відкриємо меню відповідних груп необхідних компонентів, а саме: групи Sources – джерела сигналів (1 кнопка), групи Basic – пасивні компоненти і комутаційні пристрої (кнопка 2), групи Diodes – діоди (кнопка 3) і групи Indicators – індикаторні пристрої (кнопка 10).

Необхідний для створення схеми значок (символ) компонента переноситься з меню на робоче поле рухом миші при лівій натиснутій кнопці, після чого кнопка відпускається. При цьому символ фіксується на

робочому полі. Після вибору необхідних компонентів меню можна закрити (Рис.8.4).

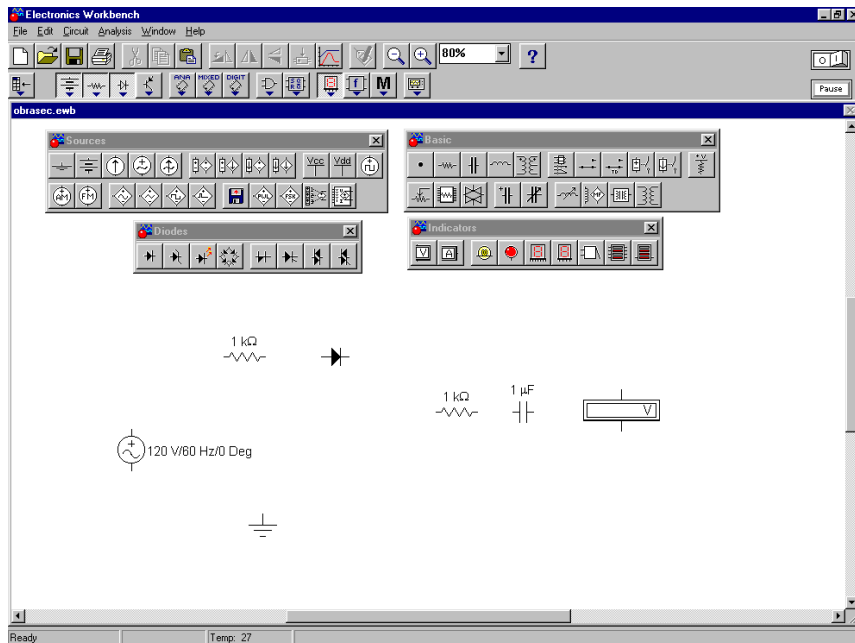


Рисунок 8.4 - Перший етап створення схеми

При розміщенні компонентів схеми на робочому полі програми EWB можна скористатися динамічним меню. Для цього необхідно клацнути лівою клавiшею миші на вільному полі. При цьому на екрані з'явиться меню, показане на Рис. 8.5.

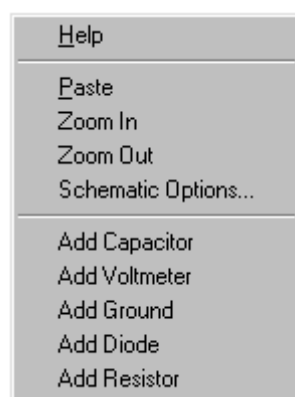
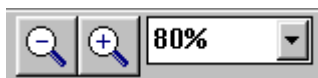


Рисунок 8.5 - Динамічне меню

У цьому меню є наступні опції:

– Paste – вставка вмісту буфера обміну на робоче поле;

– Zoom In, Zoom Out – збільшення або зменшення зображення. Ці опції продубльовані в меню Circuit і кнопками у верхньому ряду панелі інструментів



– Add [назва компоненти] – додавання на робоче поле вказаних компонентів. Кількість таких команд в списку меню визначається кількістю типів компонентів, що є на робочому полі. При виборі, наприклад, команди Add Capacitor на робочому полі з'являється копія конденсатора, вже присутнього на полі.

Вибір опції Schematic Option наводить до появи вікна Schematic Option:



Рисунок 8.6 - Закладка Grid Меню Schematic Option (завдання елементів оформлення схем)

За допомогою цього вікна вибираються елементи оформлення для всієї схеми.

На закладці Grid вікна Schematic Option:

– Show grid – показувати сітку для зручності малювання схеми (за умовчанням ця опція вимкнена, останні включені); опція активна лише при включеній опції Use grid – використовувати сітку.

На закладці Show/Hide (Рис. 8.7):

– Show labels – показувати позиційні позначення компонентів, наприклад, C1, C2 для конденсаторів;

– Show models – показувати імена моделей компонентів, наприклад, типів транзисторів (КТ605 і т. п.);

– Show values – показувати номінали компонентів, наприклад, опору резисторів;

– Show nodes – показувати номери вузлових точок схеми, як показано на Рис. 8.7 (використовуване надалі при виконанні команд меню Analysis);



Рисунок 8.7 - Закладка Show/Hide меню Schematic Option

– Show Reference ID – показувати позиційне позначення компонента (використовуване надалі при виконанні команд меню Analysis);

– Autohide part bins – за умовчанням не показувати склад бібліотеки компонентів, що використовуються в даній схемі;

– Keep parts bin positions – зберігати положення використовуваної бібліотеки компонентів на екрані при оформленні схеми; зазвичай вибір нової бібліотеки компонентів наводить до виключення попереднього; для збереження на екрані відразу декількох бібліотек їх необхідно рознести по екрану, при цьому їх положення при виборі нової бібліотеки залишаться незмінним.

При виборі закладки Fonts (Рис. 8.9) можна встановити тип (Font name) і розмір (Font size) шрифту окремо для позначення компонента (кнопка Set label font) і номінального значення його параметра (кнопка Set value font).

Закладка Wiring приведена на Рис. 8.10 і призначена для визначення режиму прокладки на схемі провідників.

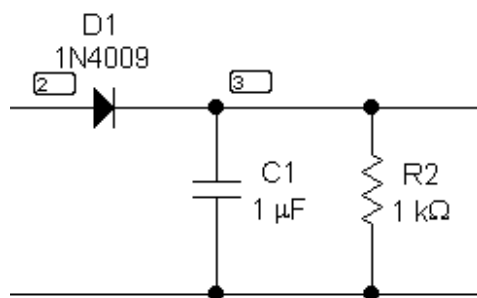
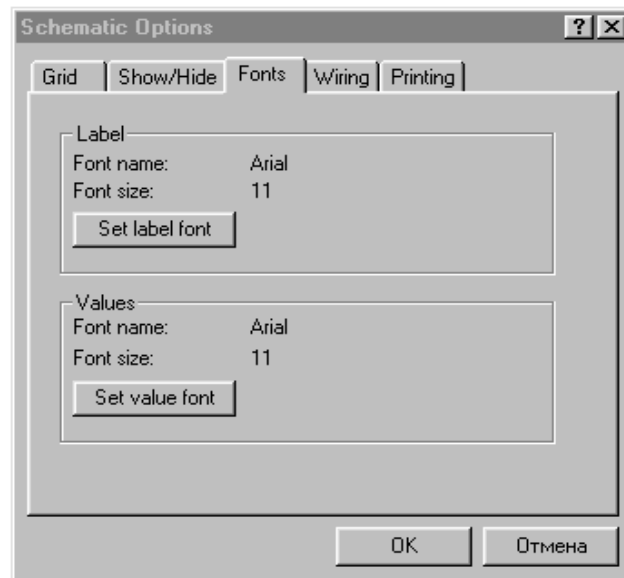


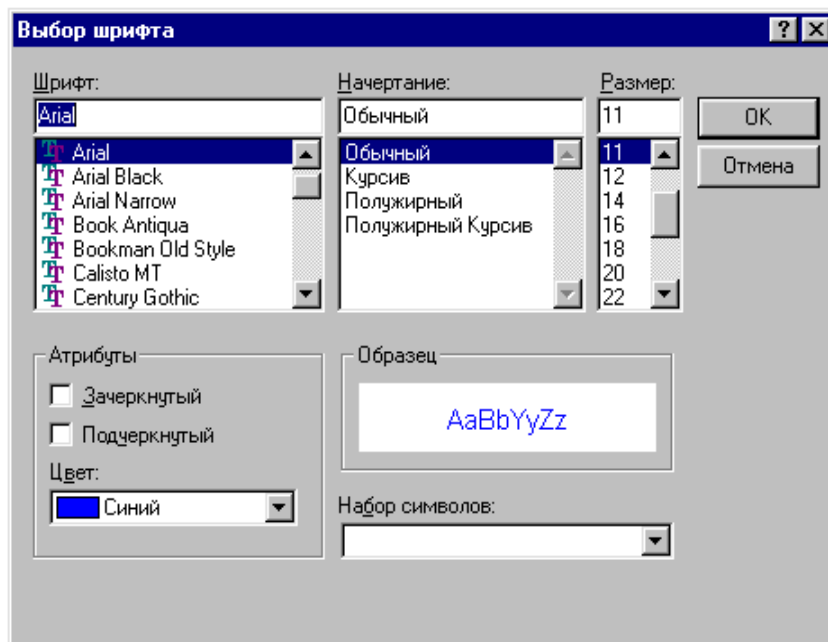
Рисунок 8.8 - Фрагмент принципової схеми з позначеними вузловими точками 2 і 3

На закладці Wiring:

- manual-route wires – ручна прокладка провідників (можна провести провідник по будь-якій бажаній траєкторії);
- auto-route wires – автоматична прокладка провідників (вказується початкова точка і лінія курсором тягнеться до бажаної точки з'єднання);
- drag to connect – автоматична поява точки з'єднання при пересіченні двох провідників під час їх прокладки;



а)



б)

Рисунок 8.9 - Закладка Fonts (а) і вікно вибору шрифту (б)

- Rewiring options – команди, пов'язані з видаленням провідників;
- Auto-delete connectors – автоматичне видалення невживаних з'єднань, наприклад, дублюючих один одного.



Рисунок 8.10 - Закладка Wiring для визначення режиму прокладки на схемі провідників

Закладка Printing використовується для завдання масштабу схеми (Рис. 8.11), що виводиться на друк. Тут же можна задати показ розбиття на сторінки схеми, що виводиться і її опис.

Опція Schematic Option продубльована рядком в меню Circuit.

Для завдання параметрів і форми представлення кожного компонента схеми використовуються наступні прийоми.

Якщо по зображенню елементу клацнути лівою клавiшею миші, на екрані з'явиться меню (Рис. 8.12), за допомогою якого можна провести ряд операцій:

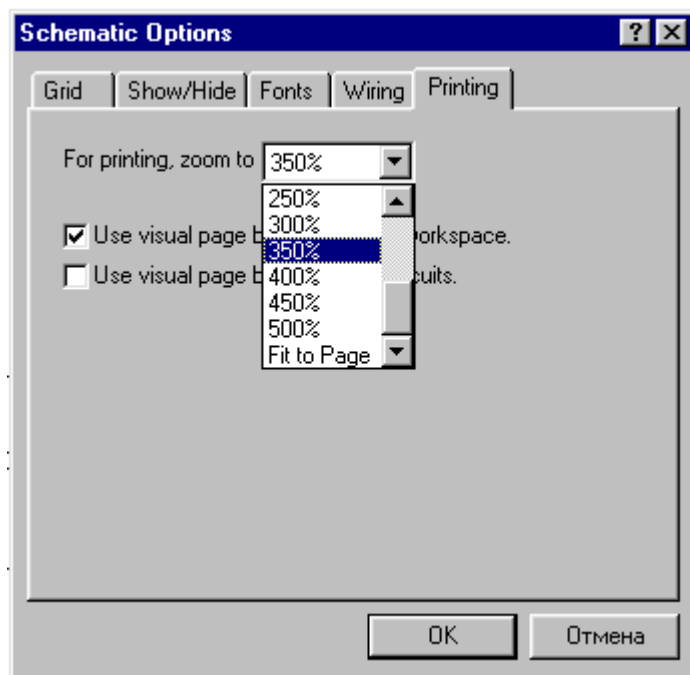


Рисунок 8.11 - Закладка Printing для завдання масштабу що виводиться на друк схеми

- Cut – вирізування вказаної частини схеми із збереженням її в буфері обміну. Виділення одного компонента виконується клацанням миші на зображенні компонента. Для виділення частини схеми, або декількох компонентів, необхідно поставити курсор миші в лівий кут уявного прямокутника, що охоплює частину, що виділяється, натискувати ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, протягнути курсор по діагоналі цього прямокутника, контури якого з'являються вже на початку руху миші, і потім відпустити кнопку. Виділені компоненти забарвлюються в червоний колір;
- Copy – копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну;
- Delete – стирання елемента або виділеної частини схеми;
- Rotate – обертання виділеного компонента; більшість компонентів обертаються проти годинникової стрілки на 90° при кожному виконанні команди, для вимірювальних приладів (амперметр, вольтметр та ін.) змінюються місцями клеми підключення;

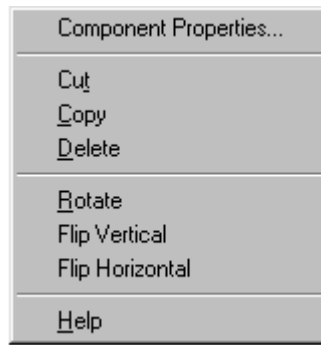


Рисунок 8.12 - Меню роботи з вибраним компонентом схеми

- Flip Vertical – дзеркальне відображення компонента по вертикалі;
- Flip Horizontal – дзеркальне відображення компонента по горизонталі.

Три останні команди дублюються кнопками у верхньому ряду панелі інструментів головного вікна, а також в меню Circuit.



Використовуючи команду Rotate, можна обернути у вертикальне положення резистор і конденсатор для здобуття бажаної схеми (Рис. 8.1).

Component Properties – властивості компонента. Ця команда виконується також після подвійного клацання лівою клавішею миші по компоненті або натиснення кнопки у верхньому ряду панелі інструментів.



Команда продубльована і в меню Circuit.

При виконанні команди відкривається діалогове вікно з декількома вкладками, призначене для завдання параметрів компонентів. Закладки декілька розрізняються для різних компонентів.

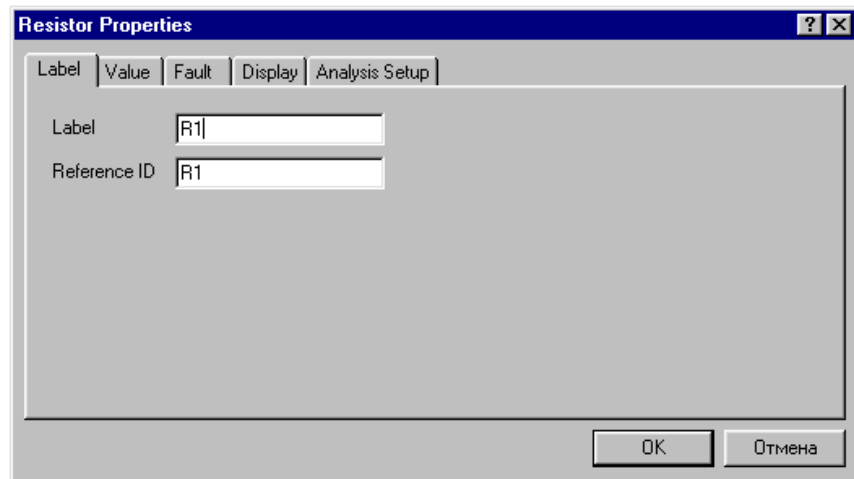


Рисунок 8.13а - Закладка Label (мітка) діалогового вікна завдання параметрів резисторів

У верхньому полі Label задається умовне позначення компонента, яке буде присутнє на схемі. У полі Reference ID вказується позиційне позначення компонента, використовуване надалі при виконанні команд меню Analysis.

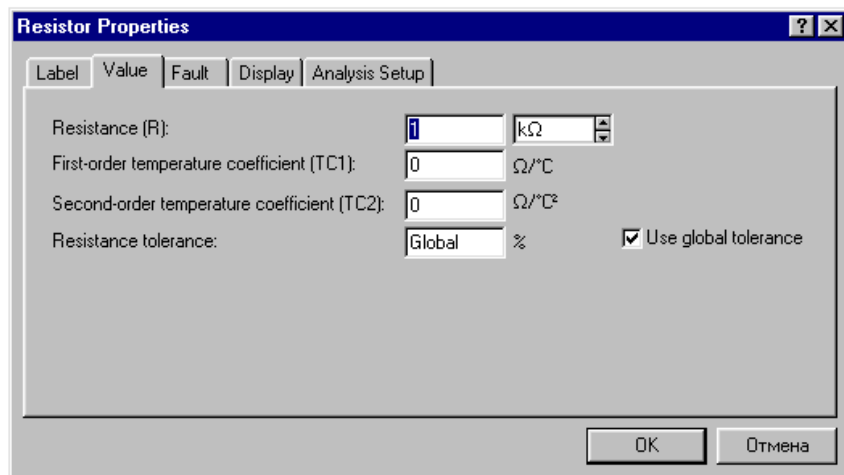


Рисунок 8.13б - Закладка Value (величина) діалогового вікна завдання параметрів резисторів

При виборі закладки Value (Рис. 8.13б) задаються номінальний опір компонента (резистора), значення лінійного (TC1) і квадратичного (TC2) температурних коефіцієнтів опору. Із врахуванням цих параметрів дійсне значення резистора R_t визначатиметься виразом:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + TC1 \cdot (T - T_n) + TC2 \cdot (T - T_n)^2],$$

де R_0 – номінальний опір резистора; $T_n = 27^\circ\text{C}$ – номінальна температура;
 T – поточне значення температури резистора.

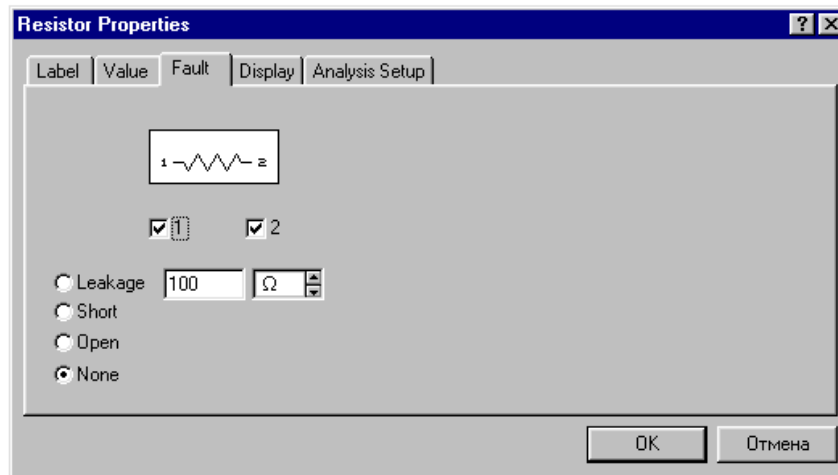


Рисунок 8.13в - Закладка Fault (несправність) завдання параметрів резисторів

При виборі закладки Fault (Рис. 8.13в) наводяться умови моделювання і набір можливих несправностей. Наприклад, якщо потрібно імітувати порушення контакту виведення 1 резистора, то в цьому випадку включаються опції 1 і Open (відкрито — обрив). Інші опції означають:

- Leakage – витік (у сусідньому полі можна задати опір витіку);
- Short – коротке замикання;
- None – несправності відсутні.

При виборі закладки Display (Рис. 8.13г) задається характер виводу на екран позначень компонента. При виборі опції Use Schematic Options global setting використовуються установки, прийняті для всієї схеми (опис опції Schematic Option приведений вище), інакше використовується індивідуальне налаштування виводу на екран умовного позначення (Show labels), номінального значення (Show values) і позиційного позначення (Show reference ID) для кожного компонента.

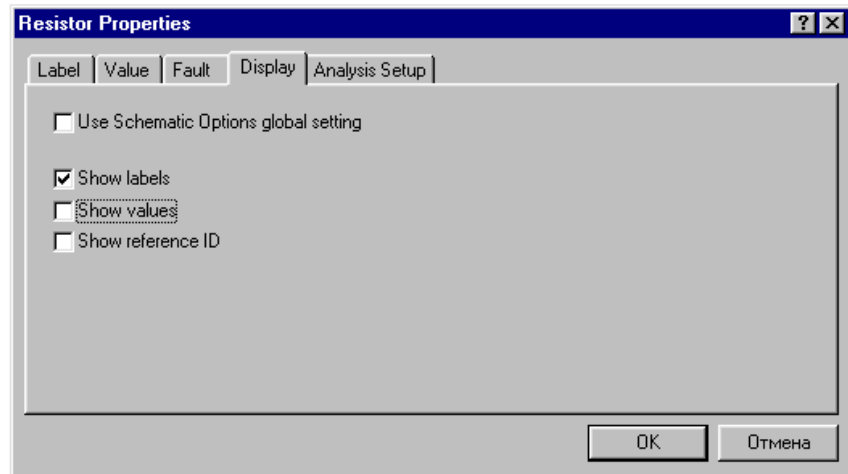


Рисунок 8.13г - Закладка Display (показ) завдання параметрів резисторів

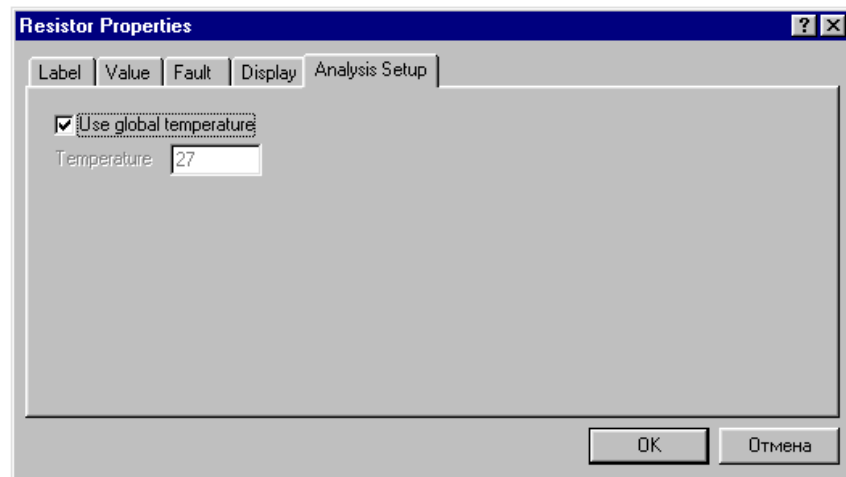


Рисунок 8.13д - Закладка Analysis Setup (налаштування для аналізу) завдання параметрів резисторів

При виборі закладки Analysis Setup (Рис. 8.13д) встановлюється температура для кожного компонента індивідуально або використовується її номінальне значення, прийняте для всієї схеми (Use global temperature).

Для активних компонентів з'являється ще одна закладка – Models (Рис. 8.13е), за допомогою якої вибирається бібліотека компонентів (Library), конкретний тип компонента (Model). За бажання параметри вибраного компонента можуть бути змінені (у режимі Edit), компонент може бути

перейменований (Rename). У режимі New Library може бути створена нова бібліотека компонентів.

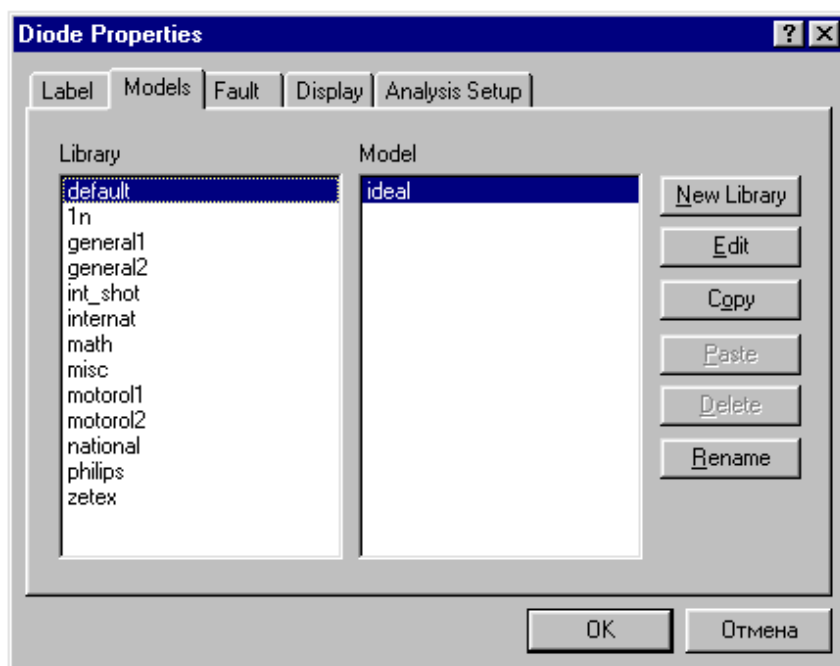


Рисунок 8.13е - Закладка Models (вибір моделі) завдання параметрів активних компонентів

За допомогою описаних операцій можна задати бажані значення параметрів і позначення всіх компонентів, використовуваних для створення схеми. В результаті на екрані отримаємо зображення всіх використовуваних для створення схеми компонентів з бажаними позначеннями (із заданим типом шрифту, розмірами і кольором) і параметрами (Рис. 8.14).

Після розміщення і завдання параметрів компонентів формується з'єднання їх виводів провідниками.

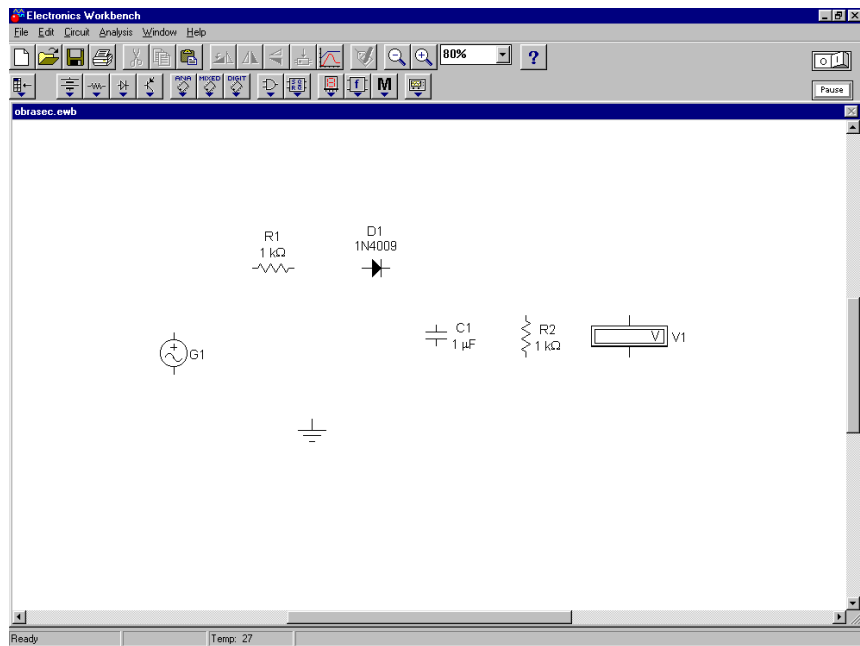


Рисунок 8.14 - Другий етап створення схеми

При цьому необхідно враховувати, що до виведення компонента можна підключити лише один провідник. Для виконання підключення курсор миші підводиться до виведення компонента і після появи великої крапки натискається ліва кнопка. Провідник, що з'являється при цьому, протягується до виведення іншого компонента до появи на ньому такої ж великої крапки, після чого кнопка миші відпускається і з'єднання готове. При необхідності підключення до цих виводів інших провідників в бібліотеці Basic вибирається крапка (символ з'єднання) і переноситься на раніше встановлений провідник. Аби крапка почорніла (спочатку вона має червоний колір), необхідно клацнути мишею по вільному місцю робочого поля. Якщо ця крапка дійсно має електричне з'єднання з провідником, то вона повністю забарвлюється чорним кольором. Якщо на ній видно слід від провідника, що пересікається, то електричного з'єднання немає і крапку необхідно встановити заново. Після вдалої установки до точки з'єднання можна підключити ще два провідники. Якщо з'єднання потрібно розірвати, курсор підводиться до одного з виводів компонентів або точки з'єднання і при появі великої крапки натискається ліва кнопка, провідник відводиться на вільне місце робочого поля, після чого кнопка відпускається. Якщо необхідно

підключити вивід до провідника, що є на схемі, то провідник від виведення компонента курсором підводиться до вказаного провідника і після появи точки з'єднання кнопка миші відпускається. Слід зазначити, що прокладка сполучних провідників виробляється автоматично, причому перешкоди – компоненти і інші провідники – огинаються по ортогональних напрямках (по горизонталі або вертикалі), або вручну (вибір способу описаний вище – Рис. 8.10, закладка Wiring для визначення режиму прокладки на схемі провідників).

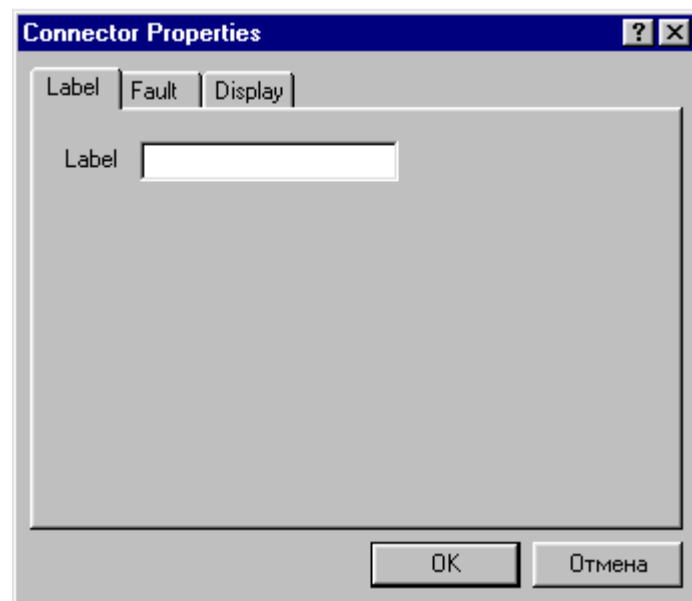


Рисунок 8.15 - Вікно для завдання позначення і властивостей точки з'єднання

Точка з'єднання може бути використана не лише для підключення провідників, але і для введення написів (наприклад, вказівки величини струму в провіднику, його функціонального призначення і т. п.). Для цього необхідно двічі клацнути по крапці і у вікні (Рис. 8.15), що розкрилося, ввести необхідний запис (не більше 14 символів), причому запис можна зміщувати управо шляхом введення зліва потрібної кількості пропусків. Ця властивість може бути використана і у тому випадку, коли позиційне позначення компонента (наприклад, C1, R10) накладається на провідник, що знаходиться поруч або інші елементи схеми.

Якщо необхідно перемістити окремий сегмент провідника, то до нього підводиться курсор, натискається ліва кнопка і після появи у вертикальній або горизонтальній площині подвійного курсору виробляються потрібні переміщення.

Подвійним клацанням лівою клавішею миші по провіднику (або одиночним клацанням правої клавіші через меню)



можна викликати вікно Wire Properties (Рис. 8.16) для редагування вигляду провідників.

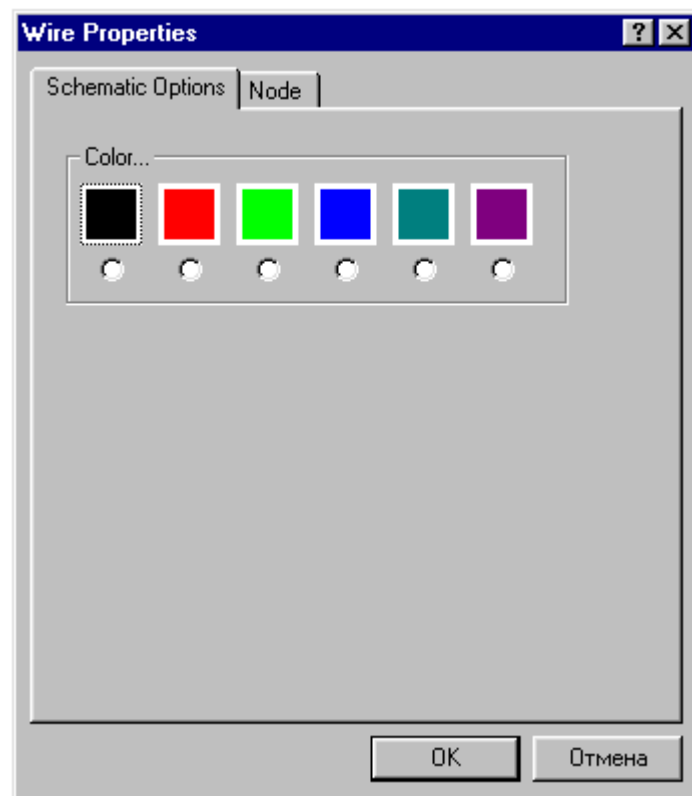


Рисунок 8.16 - Вікно редагування вигляду провідників і параметрів вузлових точок

Перша закладка дозволяє вибрати колір провідників, друга призначена для редагування параметрів вузлових точок схеми.

Кольоровими провідниками доцільно проводити з'єднання з приладами (осциллографом, логічним аналізатором і т. п.), оскільки колір провідників

визначає колір відповідної осцилограми. Кольорові провідники доцільні не лише для позначення провідників однакового функціонального призначення, але і для провідників, що знаходяться в різних частинах схеми (наприклад, провідники шини даних до і після буферного елементу).

Використовуючи описану методику, необхідно з'єднати всі компоненти, представлені на Рис. 8.14. В результаті отримаємо готову схему (Рис. 8.1).

8.2 Контрольно-вимірювальні прилади

Прості вимірювальні прилади (вольтметр і амперметр) знаходяться в групі Indicators – індикаторні пристрої. При натисненні кнопки



з'являється меню Indicators (Рис. 8.17), дві перші кнопки якого дозволяють отримати на робочому полі вольтметр і амперметр відповідно.



Рисунок 8.17 - Меню вибору елементів індикації

Число приладів, які можуть бути поміщені на робоче поле, практично не обмежене. Якщо по зображенню елемента клацнути правою клавішею миші, на екрані з'явиться меню (Рис. 8.12), за допомогою якого можна провести ряд операцій, описаних в розділі «Підготовка схем». Команда Component Properties (властивості компонента) виконується також після подвійного клацання лівою клавішею миші по компоненті або натиснення кнопки у верхньому ряду панелі інструментів:

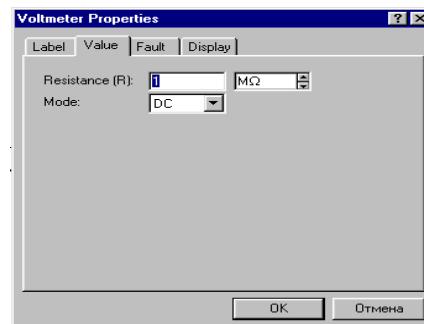


Команда продубльована і в меню Circuit.

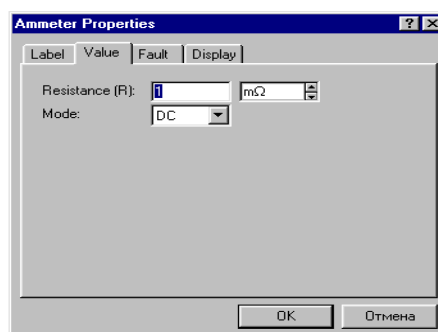
При виконанні команди відкривається діалогове вікно з декількома закладками, призначене для завдання параметрів компонентів (Рис. 8.18а для вольтметра і Рис. 8.18б для амперметра). На цих закладках в рядку Resistance необхідно встановити внутрішній опір вольтметра (повинен бути великим) і амперметра (має бути малим). У рядку Mode вибирається тип вимірюваної напруги (струму):

- DC – постійна напруга (струм);
- AC – змінна напруга (струм).

Останні налаштування приладів розглянуті в попередньому розділі (Рис. 8.13).



а)



б)

Рисунок 8.18 - Вікно для налаштування вольтметра (а) і амперметра (б)

Складніші контрольно-вимірювальні прилади знаходяться в групі Instruments – контрольно-вимірювальна апаратура. При натисненні кнопки



з'являється меню Instruments (Рис. 8.19), кнопки якого дозволяють отримати на робочому полі мультиметр, генератор сигналів, осцилограф, вимірник амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик (плоттер), генератор двійкових слів (кодовий генератор), 8-канальний логічний аналізатор і логічний перетворювач відповідно. Одночасно на робочому полі може бути присутнім лише по одному приладу кожного виду.

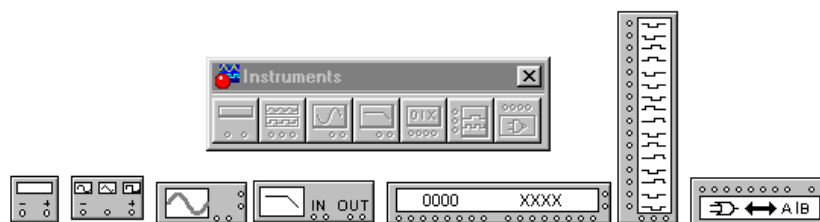


Рисунок 8.19 - Меню вибору контрольно-вимірювальної апаратури і її позначення на робочому полі

При побудові схем ікона приладу курсором переноситься на робоче поле і підключається провідниками до досліджуваної схеми. Для приведення приладу в робочий (розгорнуте) стан необхідно двічі клацнути курсором по його іконі. З'являється зображення передньої панелі приладу (на Рис. 8.20 – передня панель мультиметра).



Рисунок 8.20 - Передня панель мультиметра

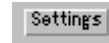
Мультиметр. На передній панелі мультиметра (Рис. 8.20) розташований дисплей для відображення результатів виміру, клеми («-» і «+») для підключення до схеми і кнопки управління:



- вибір режиму виміру струму, напруги, опору і ослаблення (загасання);



- вибір режиму виміру змінного або постійного струму;



- режим установки параметрів мультиметра.

Після натиснення на цю кнопку відкривається діалогове вікно (Рис. 8.21), на якому позначено:

- Ammeter resistance – внутрішній опір амперметра;
- Voltmeter resistance – вхідний опір вольтметра;
- Ohmmeter current – діапазон вимірюваного струму;
- Decibel standard – установка еталонної напруги V1 при вимірі ослаблення або посилення в децибелах (за умовчанням V1=1 В). При цьому для коефіцієнта передачі використовується формула:

$Do[дБ] = 20 \log(V2/V1)$, де V2 — напруга в контрольованій точці.

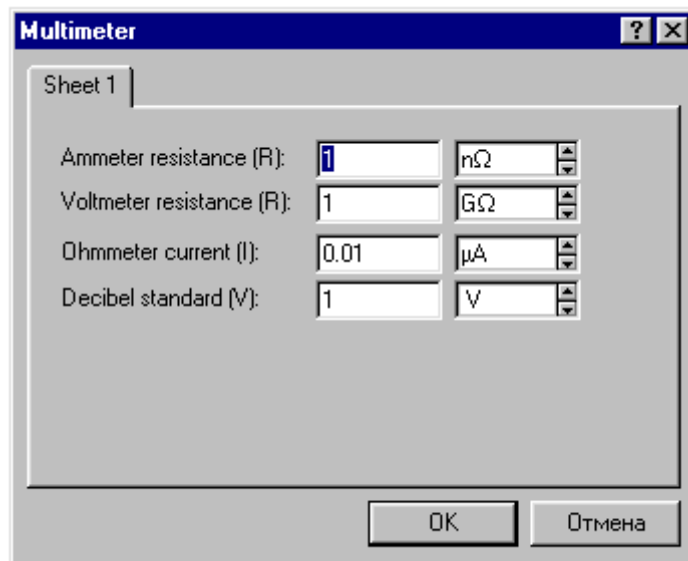
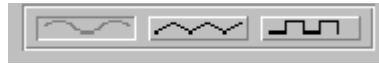


Рисунок 8.21 - Вікно налаштування параметрів мультиметра

Генератор. Передня панель генератора показана на Рис. 8.22. Управління генератором здійснюється наступними органами управління:



- вибір форми вихідного сигналу (синусоїдальної, трикутної або прямокутної форми);
- frequency – установка частоти вихідного сигналу;
- duty cycle – установка коефіцієнта заповнення в %. Для імпульсних сигналів це відношення тривалості імпульсу до періоду повторення, для трикутних сигналів – співвідношення між тривалістю переднього і заднього фронту;
- amplitude – установка амплітуди вихідного сигналу;
- offset – установка зсуву (постійною складовою) вихідного сигналу;



– вихідні затискачі. При заземленні клеми COM (загальний) на клеммах «-» і «+» отримуємо парафазний сигнал.

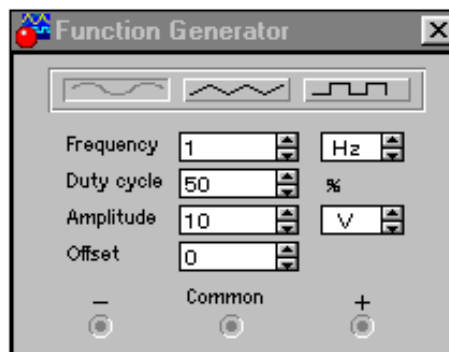


Рисунок 8.22 - Передня панель генератора

Осцилограф. Передня панель осцилографа показана на Рис. 8.23.

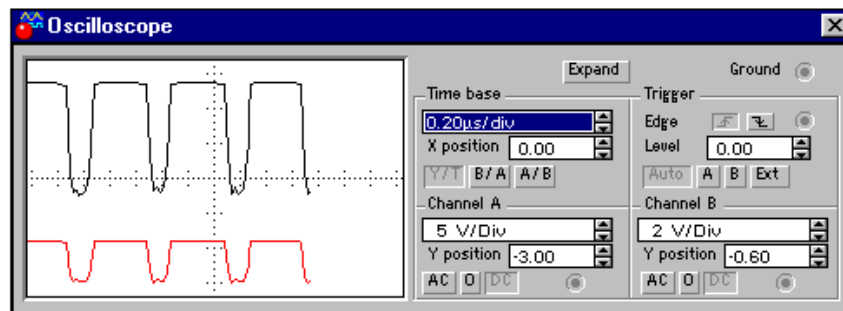


Рисунок 8.23 - Передня панель осцилографа

Осцилограф має два канали Channel A і B з роздільним регулюванням чутливості в діапазоні від 10 мкВ/под (mV/Div) до 5 кВ/под (kV/Div) і регулюванням зсуву по вертикалі (Y POS) .

Вибір режиму по входу здійснюється натисненням кнопок



Режим AC призначений для спостереження лише сигналів змінного струму (його ще називають режимом "закритого входу", оскільки в цьому режимі на вхід підсилювача включається розділовий конденсатор, який не пропускає постійну складову). У режимі 0 вхідний затискач замикається на землю. У режимі DC (включений за умовчанням) можна проводити осцилографічні виміри як постійного, так і змінного струму. Цей режим ще називають режимом "відкритого входу", оскільки вхідний сигнал поступає на вхід вертикального підсилювача безпосередньо. З правого боку від кнопки DC розташований вхідний затискач.

Режими розгортки:

- режим Y/T (звичайний режим, включений за умовчанням) – по вертикалі відображається напруга сигналу, по горизонталі – час;
- режим B/A – по вертикалі відображається сигнал каналу B, по горизонталі – сигнал каналу A;
- режим A/B – по вертикалі відображається сигнал каналу A, по горизонталі – сигнал каналу Ст.

У режимі розгортки Y/T тривалість розгортки (TIME BASE) може бути задана в діапазоні від 0,1 нс/под (ns/div) до 1 с/под (s/div) з можливістю установки зсуву в тих же одиницях по горизонталі, тобто по осі X (X POS). У режимі Y/T передбачений режим (TRIGGER), що також чекає, із запуском розгортки (EDGE) по передньому або задньому фронту запускаючого сигналу – вибирається натисненням кнопок



при регульованому рівні (LEVEL) запуску, а також в режимі AUTO (від каналу A або B), від каналу A, від каналу B або від зовнішнього джерела (EXT), що підключається до затискачів в блоці управління TRIGGER. Названі режими запуску розгортки вибираються кнопками

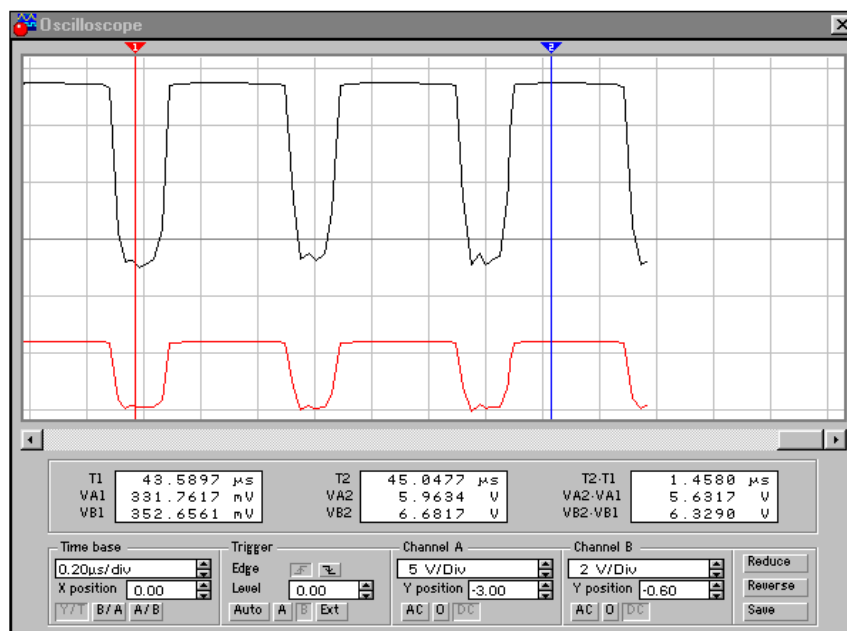


Рисунок 8.24 - Розгорнута передня панель осцилографа

Заземлення осцилографа здійснюється за допомогою клеми GROUND в правому верхньому кутку приладу. При натисненні на кнопку Expand передня панель осцилографа істотно змінюється (див. Рис. 8.24) – збільшується розмір екрану, з'являється можливість прокрутки зображення

по горизонталі і його сканування за допомогою вертикальних візирних ліній (синього і червоного кольору), які за трикутні вушка (вони позначені також цифрами 1 і 2) можуть бути встановлені курсором в будь-яке місце екрану. При цьому в індикаторних віконцях під екраном з'являться результати виміру напруги, тимчасових інтервалів і їх приростів (між візирними лініями). Зображення можна інвертувати натисненням кнопки REVERSE і записати дані у файл натисненням кнопки SAVE. Повернення до вихідного стану осцилографа відбувається при натисненні кнопки REDUCE.

Вимірник АЧХ і ФЧХ. Передня панель вимірника АЧХ-ФЧХ показана Рис. 8.25.

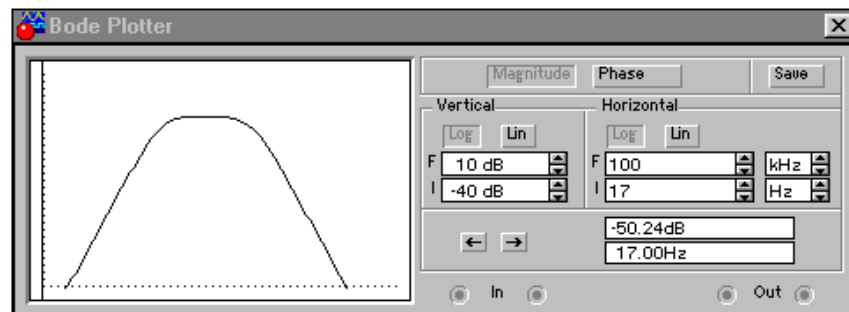


Рисунок 8.25 - Передня панель вимірника АЧХ і АФХ

Вимірник призначений для аналізу амплітудно-частотних (при кнопці MAGNITUDE, що натискає, включена за умовчанням) і фазо-частотних (при натиснутій кнопці PHASE) характеристик при логарифмічній (кнопка LOG включена за умовчанням) або лінійній (кнопка LIN) шкалі по осях Y (VERTICAL) і X (HORIZONTAL). Налаштування вимірника полягає у виборі меж виміру коефіцієнта передачі і варіації частоти за допомогою кнопок у віконцях F – максимальне і I – мінімальне значення. Значення частоти і відповідне їй значення коефіцієнта передачі або фази відображається у віконцях в правому нижньому кутку вимірника.

Підключення приладу до досліджуваної схеми здійснюється за допомогою затисків IN (вхід) і OUT (вихід). Ліві клема затискачів підключаються відповідно до входу і виходу досліджуваного пристрою, а праві – до загальної шини.

8.3 Моделювання електронних схем

Таким чином, програма EWB дозволяє будувати схеми різної міри складності за допомогою наступних операцій:

- вибору елементів і приладів з бібліотек;
- переміщення елементів і схем в будь-яке місце робочого поля;
- повороту елементів і груп елементів на кути, кратні 90 градусам;
- копіювання, вставок або видалення елементів, груп елементів, фрагментів схем і цілих схем;
- зміни кольору провідників;
- виділення кольором контурів схем для зручнішого сприйняття;
- одночасного підключення декількох вимірювальних приладів і спостереження їх показів на екрані монітора;
- призначення елементам умовного позначення;
- зміни параметрів елементів в широкому діапазоні.

Всі операції здійснюються за допомогою миші і клавіатури. Управління лише з клавіатури неможливе.

Шляхом налаштування приладів можна:

- змінювати шкали приладів залежно від діапазону вимірів;
- задавати режим роботи приладу;
- задавати вигляд вхідних дій на схему (постійні і гармонійні струми і напруга, трикутні і прямокутні імпульси).

Графічні можливості програми дозволяють:

- одночасно спостерігати декілька кривих на графіках;
- відображувати криві на графіках різними кольорами;
- вимірювати координати точок на графіках;
- імпортувати дані в графічний редактор, що дозволяє виробити необхідні перетворення малюнка і виведення його на принтер.

Можна вставити схему або її фрагмент у текстовий редактор і надрукувати пояснення або зауваження по роботі схеми.

Програма EWB дозволяє провести моделювання роботи зібраної схеми.
Для цього необхідно скористатися меню Analysis:

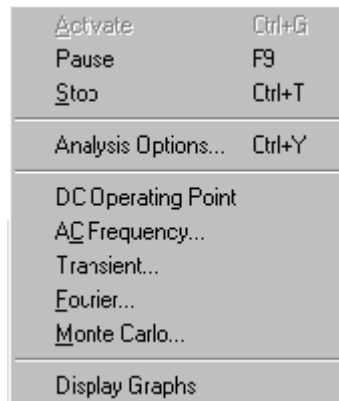


Рисунок 8.26 - Вікно меню Analysis

Позначення приведені на Рис. 8.26:

- Activate – запуск моделювання;
- Stop – зупинка моделювання;
- Pause – переривання моделювання.

Ці команди можуть бути виконані також натисненням кнопок, розташованих в правому верхньому кутку екрану:



Analysis Options – набір команд для установки параметрів моделювання. Зупинимося на цій команді детальніше.

При виборі команди відкривається вікно Analysis Options.

Зкладка Global служить для загальних налаштувань режиму моделювання (Рис. 8.27). Параметри мають наступне призначення:

- Abstol – абсолютна помилка розрахунку струмів;
- Gmin – мінімальна провідність гілки ланцюга (провідність гілки менша Gmin, вважається рівною нулю);

– Pivrel, Pivtol – відносна і абсолютна величини елементу рядка матриці вузлової провідності (наприклад, при розрахунку по методу вузлових потенціалів), необхідні для його виділення як провідного елементу;

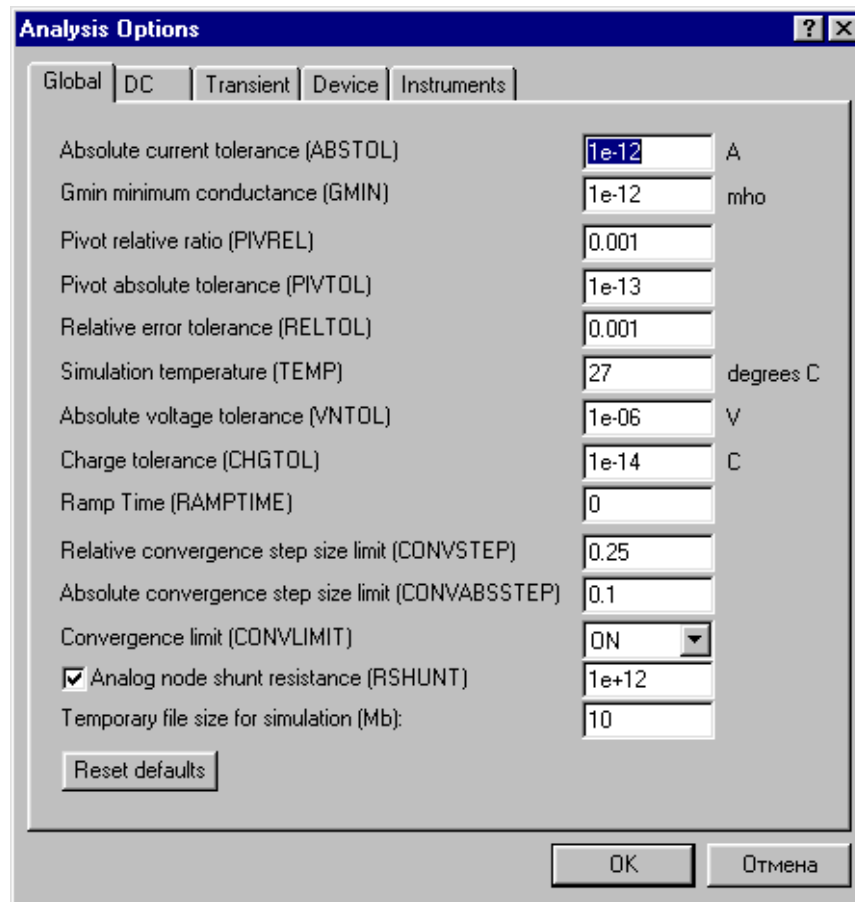


Рисунок 8.27 - Закладка Global установки параметрів моделювання Analysis Options

- Reltol – допустима відносна помилка розрахунку напруги і струмів;
- Temp – температура, при якій проводиться моделювання;
- Vntol – допустима помилка розрахунку напруги в режимі Transient (аналіз перехідних процесів);
- Chgtol – допустима помилка розрахунку зарядів;
- Ramptime – початкова точка відліку часу при аналізі перехідних процесів;
- Convstep – відносний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму;

- Convabsstep – абсолютний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму;
- Convlimit – включення або виключення додаткових засобів забезпечення збіжності ітераційного процесу;
- Rshunt – допустимий опір витoku для всіх вузлів відносно загальної шини (заземлення);
- Temporary... — об'єм дискової пам'яті для зберігання тимчасових файлів (у Мбайт).

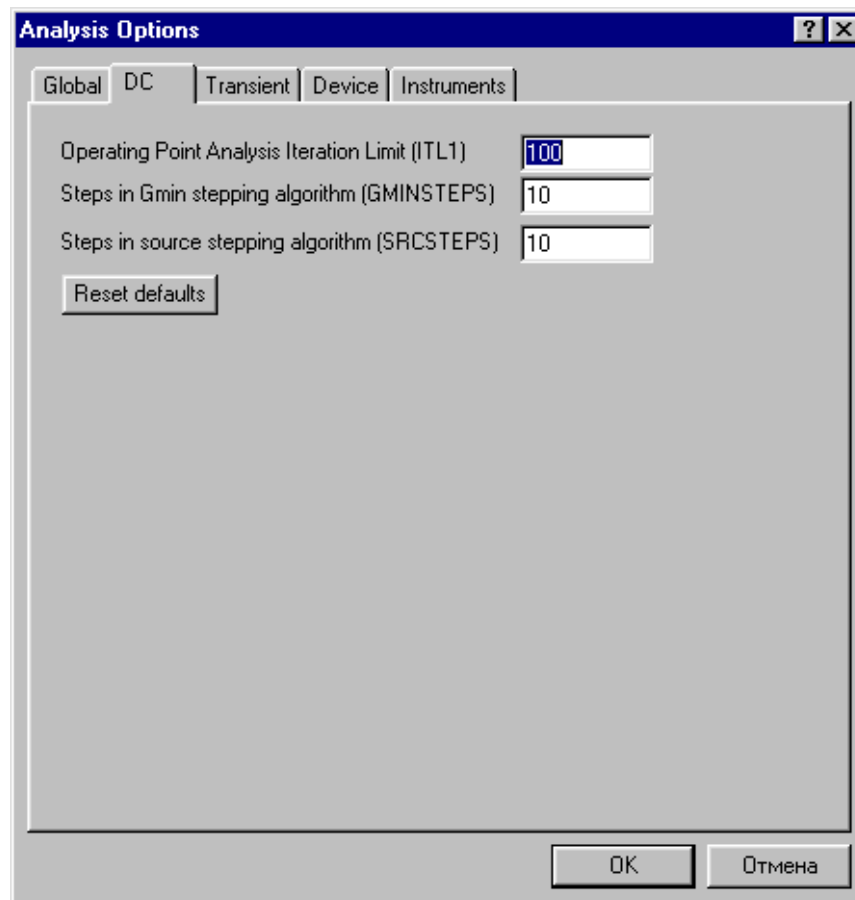


Рисунок 8.28 - Закладка DC установки параметрів моделювання Analysis Options

Закладка DC служить для налаштування режиму розрахунку по постійному струму (статичний режим). Для налаштування цього режиму використовується діалогове меню (Рис. 8.28), опції якого мають наступне призначення:

- Itl1 – максимальна кількість ітерацій наближених розрахунків;

- Gminsteps – розмір приросту провідності у відсотках від Gmin (використовується при слабкій збіжності ітераційного процесу);
- Srcsteps – розмір приросту напруги живлення у відсотках від його номінального значення при варіації напруги живлення (використовується при слабкій збіжності ітераційного процесу).

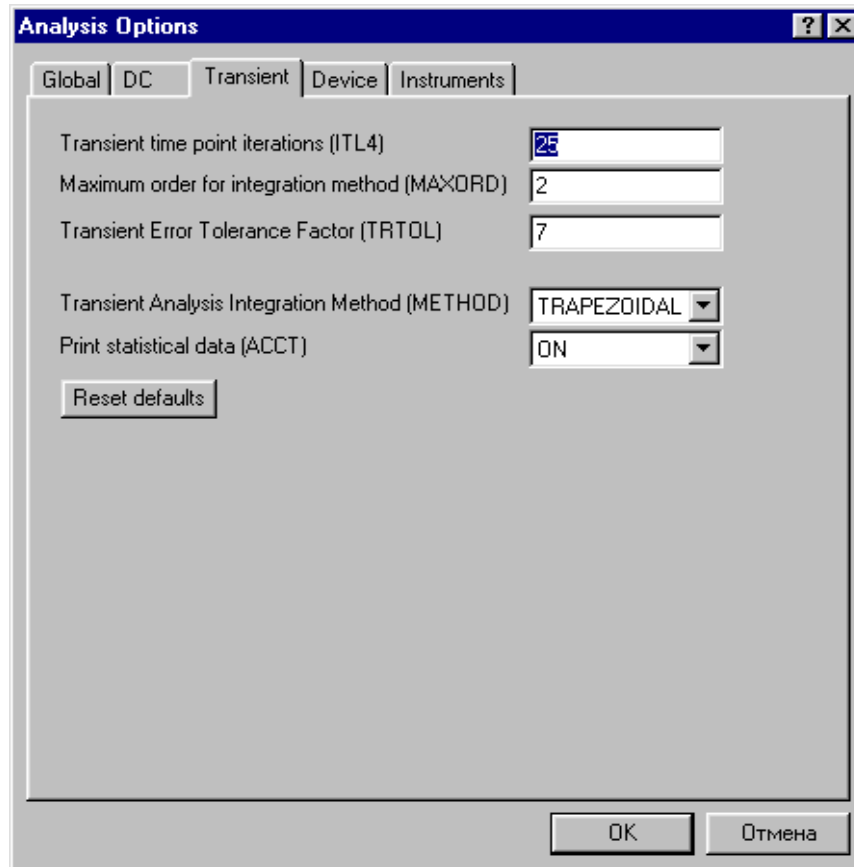


Рисунок 8.29 - Закладка Transient установки параметрів моделювання Analysis Options

Кнопка Reset Defaults призначена для установки за умовчанням параметрів, показаних на Рис. 8.28. Використовується в тому випадку, якщо після редагування необхідно повернутися до вихідних даних.

Закладка Transient служить для налаштування параметрів режиму аналізу перехідних процесів (Рис. 8.29).

На даній закладці:

- Itl4 – максимальна кількість ітерацій за час аналізу перехідних процесів;

- Maxord – максимальний порядок (від 2 до 6) методу інтеграції диференціального рівняння;
- Trtol – допуск на погрішність обчислення змінної;
- Method – метод наближеної інтеграції диференціального рівняння (Trapezoidal – метод трапецій, Gear – метод Гіра);
- Acct – дозвіл на виведення статистичних повідомлень про процес моделювання.

Закладка Device служить для вибору параметрів МОН-ТРАНЗИСТОР (діалогове вікно показане на Рис. 8.30):

- Defad – площа дифузійної області стоку, м^2 ;
- Defas – площа дифузійної області витoku, м^2 ;
- Defl – довжина каналу польового транзистора, м;
- Defw – ширина каналу, м;
- Tnom – номінальна температура компонента;
- Bypass – включення або виключення нелінійної частини моделі компонента;
- Trytocompact – включення або виключення лінійної частини моделі компонента.

Закладка Instruments служить для налаштування параметрів контрольно-вимірювальних приладів (Рис. 8.31):

- Pause after each screen – пауза (тимчасова зупинка моделювання) після заповнення екрану осцилографа по горизонталі (Oscilloscope);
- Generate time steps automatically – автоматична установка тимчасового кроку (інтервалу) виведення інформації на екран;
- Minimum number of time points – мінімальна кількість крапок, що відображуються, за період спостереження (реєстрації);
- Tmax – проміжок часу від початку до кінця моделювання;
- Set to Zero – установка в нульовий (початковий) стан контрольно-вимірювальних приладів перед початком моделювання;

- User-defined – управління процесом моделювання проводиться користувачем (ручний пуск і зупинка);
- Calculate DC operating point – виконання розрахунку режиму по постійному струму;

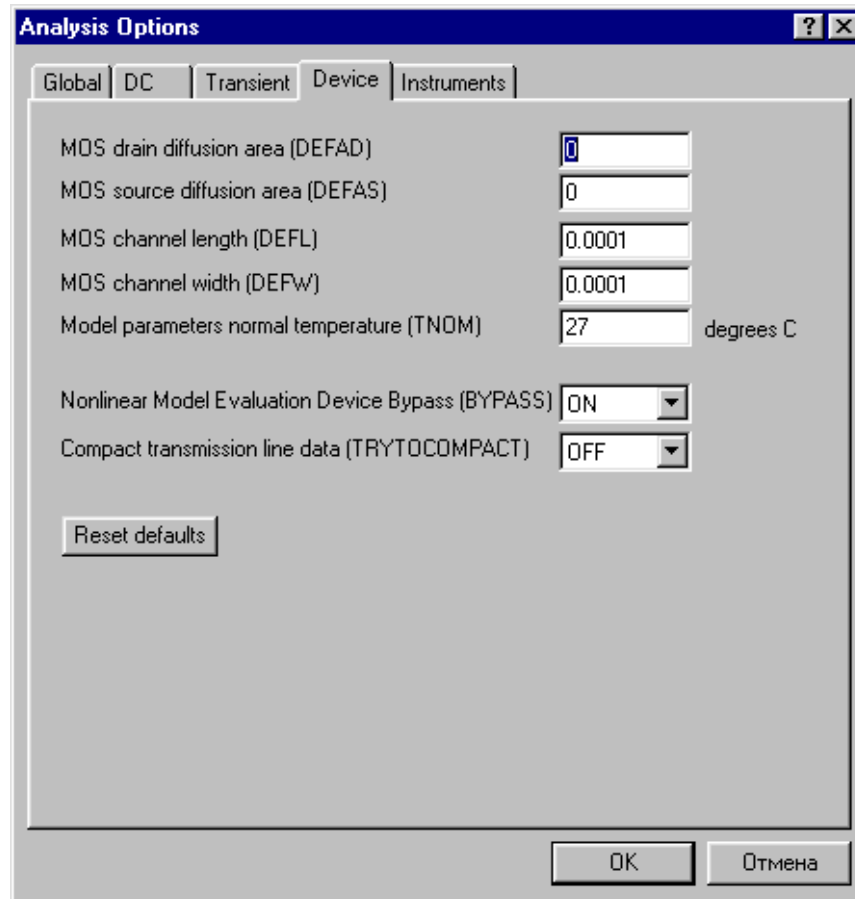


Рисунок 8.30 - Закладка Device установки параметрів моделювання Analysis Options

- Points per cycle – кількість точок, що відображується, при виведенні амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик (Bode plotter);
- Use engineering notation – використання інженерної системи позначень одиниць виміру (наприклад, напруга виводитиметься в мілівольтах (мВ), мікрвольтах (мкВ), нановольтах (нВ) і т. д.).

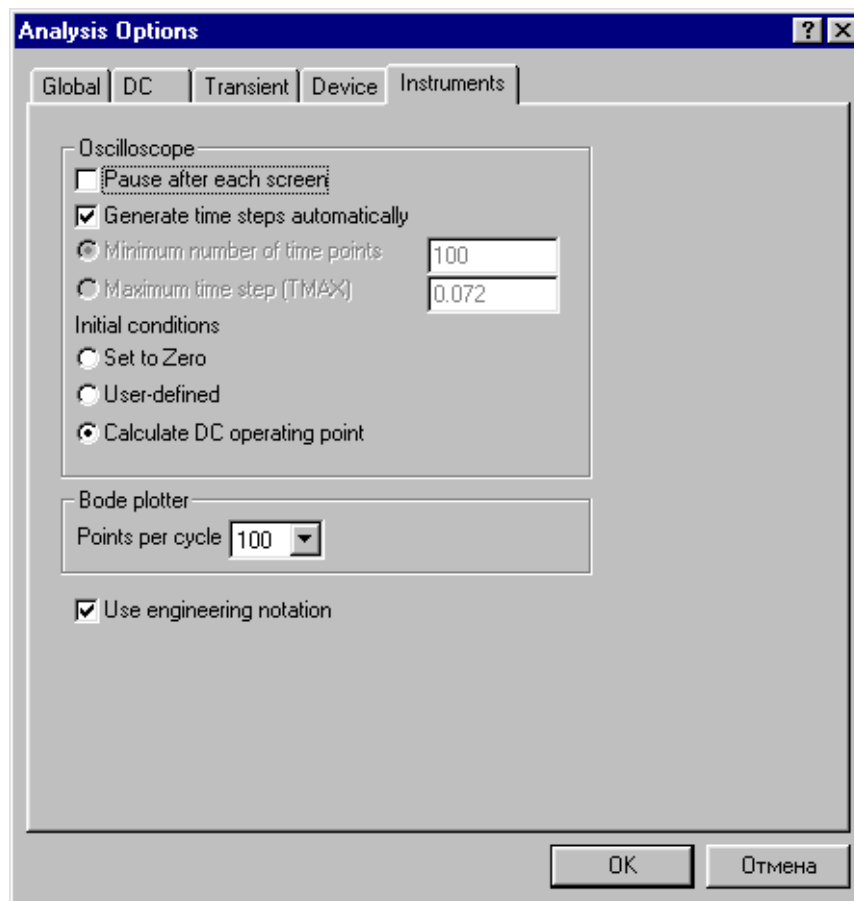


Рисунок 8.31 - Закладка Instruments установки параметрів моделювання Analysis Options

Команда DC Operating Point меню Analysis (Рис. 8.26) запускає розрахунок режиму по постійному струму (у режимі по постійному струму DC з модельованої схеми виключаються всі конденсатори і шунтуються всі індуктивності). На екрані з'являється вікно Analysis Graphs, закладка DC Bias (Рис. 8.32).

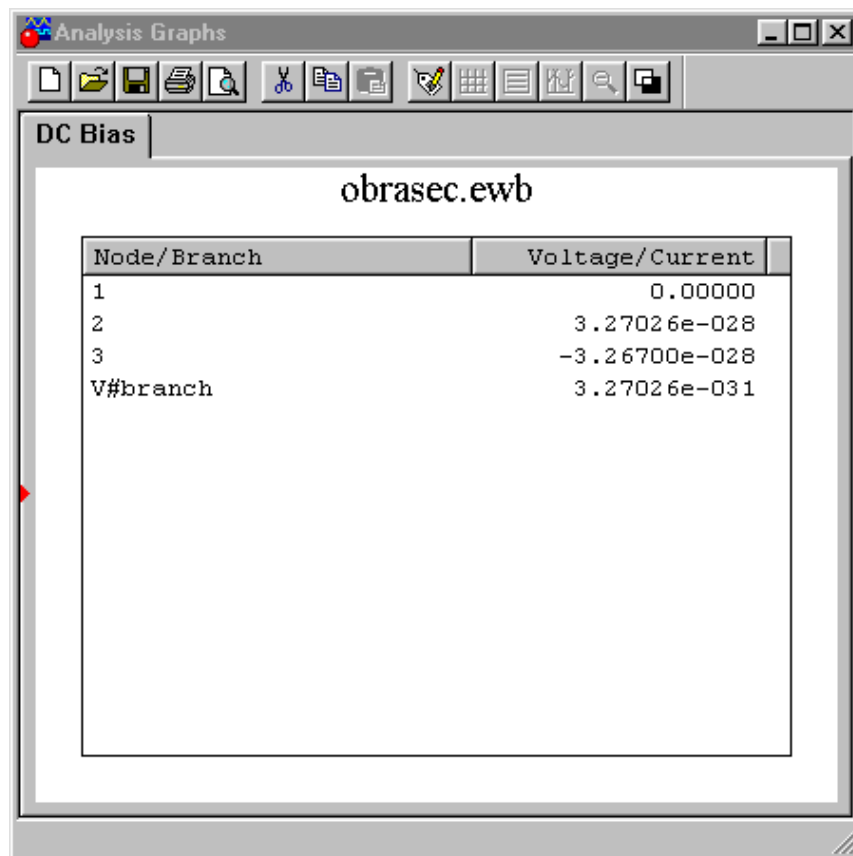


Рисунок 8.32 - Закладка DC Bias (результати розрахунку по постійному струму)

Відзначимо, що при використанні команд меню Analysis доцільно в меню Circuit>Schematic Options>Show/Hide включити опції Show Reference ID і Show Nodes (при цьому на схемі будуть позначені вузлові точки як на Рис. 8.8, ці ж точки відбиті в таблиці на Рис. 8.32). У верхній частині вікна вказано ім'я схемного файлу (для нашого прикладу це obrasec.ewb). Нижче приведені потенціали вузлів схеми в контрольних точках 1, 2, 3.

Якщо курсор миші помістити у вікно на Рис. 8.32 і натискувати праву кнопку, викликається діалогове вікно (Рис. 8.33), за допомогою якого можна відредагувати назву Title (за умовчанням приймається назва схемного файлу), змінити його шрифт Font і так далі.

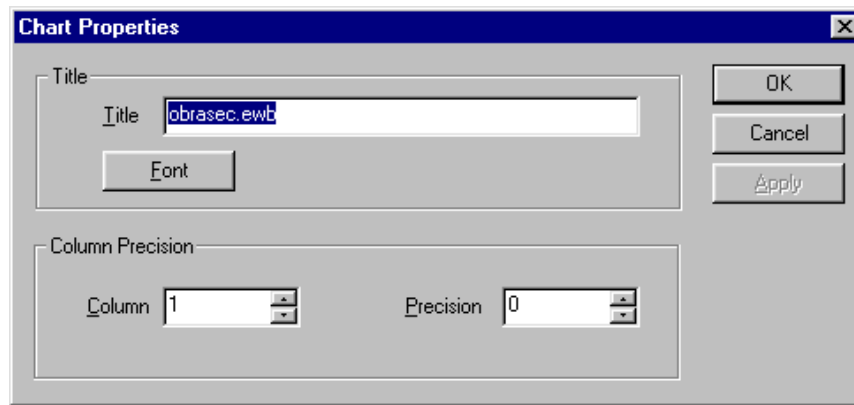


Рисунок 8.33 - Закладка редагування оформлення результатів розрахунку

Команда AC Frequency меню Analysis (Рис. 8.26) запускає режим розрахунку частотних характеристик.

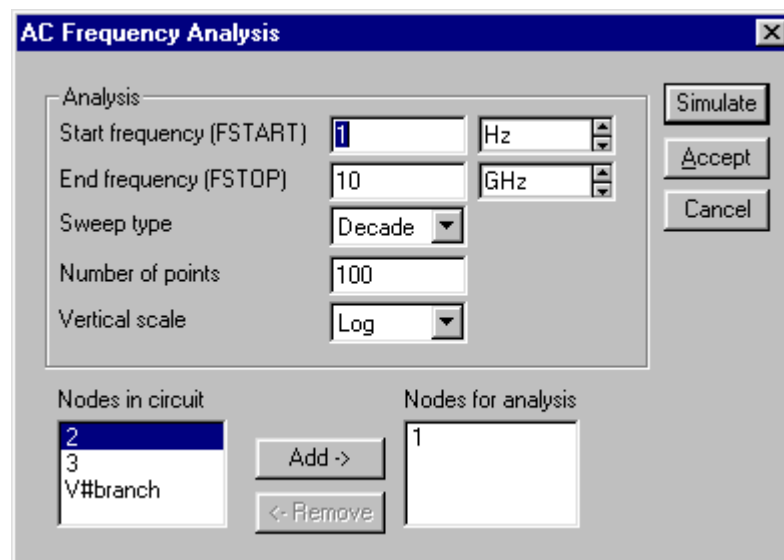


Рисунок 8.34 - Вікно завдання параметрів розрахунку частотних характеристик

Виконання команди починається із завдання в діалоговому вікні (Рис. 8.34) параметрів:

- Fstart, Fstop – границі частотного діапазону (мінімальне і максимальне значення частоти відповідно);
- Sweep type — масштаб по горизонталі: декадний (Decade), лінійний (Linear) і октавний (Octave);

- Number of points – число точок розрахунку;
- Vertical scale – масштаб по вертикалі: лінійний (Linear), логарифмічний (Log) і в децибелах (Decibel);
- Nodes in circuit – список всіх вузлів ланцюга;
- Nodes for analysis – номери вузлів, для яких розраховуються характеристики схеми. Перелік таких вузлів встановлюється натисненням кнопок Add (додати) і Remove (видалити);
- Simulate – кнопка запуску режиму моделювання. Результати моделювання схеми (Рис. 8.1) представлені на Рис. 8.35 у вигляді амплітудно-частотної (АЧХ — верхня крива) і фазочастотної (ФЧХ — нижня крива) характеристик. Аналогічні характеристики можна отримати також за допомогою вимірника АЧХ-ФЧХ, причому з вищою точністю за рахунок сканування АЧХ і ФЧХ у вибраних точках візирною лінійкою (Рис. 8.25). Додаткові маніпуляції з результатами розрахунку виконуються за допомогою командних кнопок, розташованих у верхній частині вікна (Рис. 8.35). Перші вісім кнопок є стандартними і пояснень не вимагають.

Кнопка Properties служить для завдання параметрів графічного зображення:



При її натисненні відкривається діалогове вікно (Рис. 8.36), що має закладки General, Left Axis, Bottom Axis, Right Axis, Top Axis і Traces. Це вікно можна викликати, помістивши курсор на полі малюнка і клацнувши правою клавішею миші. У меню, що з'явилося, вибрати опцію Properties.

Вікно General складається з чотирьох блоків:

- Title – редагування назви отриманого графіка з можливістю зміни шрифту;
- Grid – нанесення на графіки сітки з можливістю редагування товщини ліній і їх кольору;

– Trace Legend – відображення на екрані сигналу в контрольних точках схеми з вказівкою кольору відповідних графіків;

– Cursors – вивід на екран характеристик АЧХ і ФЧХ в табличному вигляді для одного або всіх вибраних вузлів схеми.

При виборі заставки Left Axis діалогове вікно оформлення результатів моделювання має вигляд, показаний на Рис. 8.37.

Воно складається з наступних блоків:

– Label – редагування позначення осі Y з можливістю зміни шрифту і його атрибутів (наприклад, можна замінити символ позначення напруги V на U);

– Axis – зміна товщини лінії осі Y і її кольори;

– Range – діапазон значень по осі Y;

– Scale – установка масштабу по осі Y (лінійний, логарифмічний і так далі);

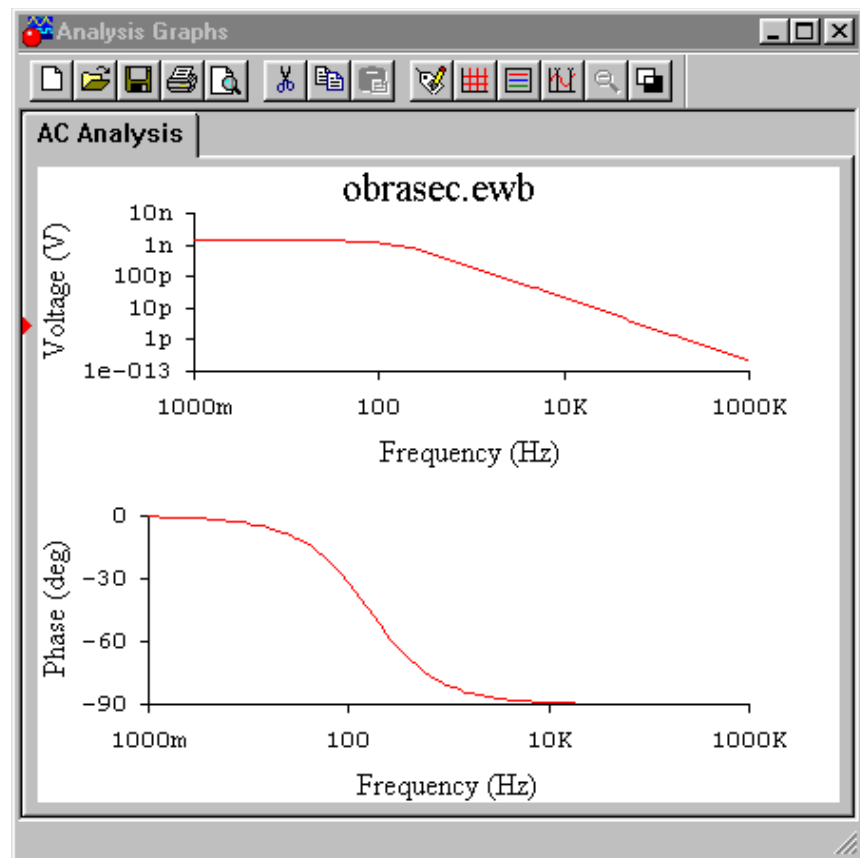


Рисунок 8.35 - Результати розрахунку АЧХ і ФЧХ

– Division – кількість розбиття в одному великому діленні сітки.

Для закладок Bottom Axis, Right Axis і Top Axis вікна налаштувань мають аналогічний вигляд.

Закладка Traces вікна налаштувань показана на Рис. 8.38.

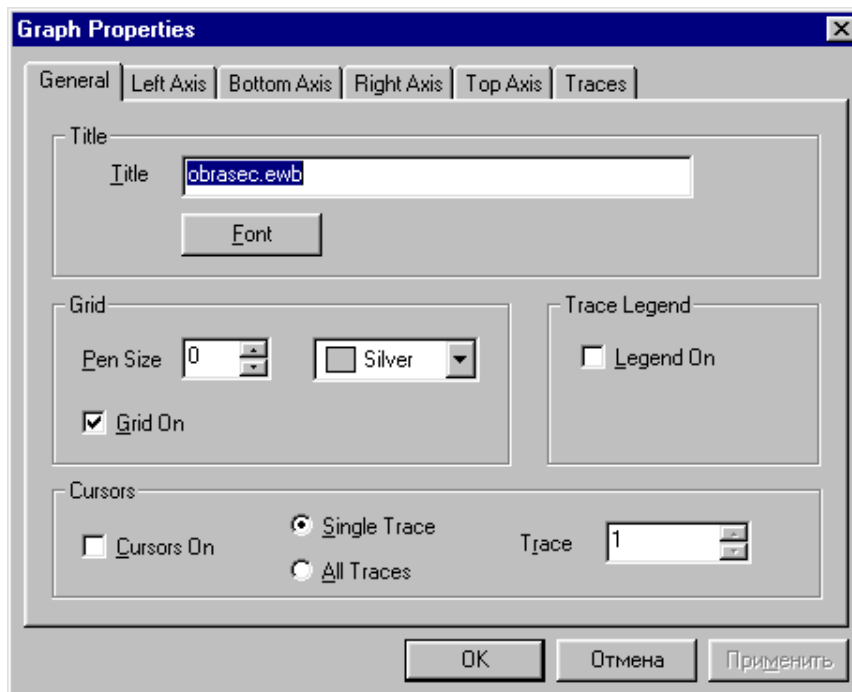


Рисунок 8.36 - Вікно для завдання параметрів графічного зображення
Воно складається з наступних блоків:

– Trace – вибір номера контрольної точки, для якої редагується зображення характеристики;

– Label – завдання мітки даної точки (на Рис. 8.38 вона збігається з номером контрольної точки, проте тут може бути розміщена і інша інформація у вигляді коментарів);

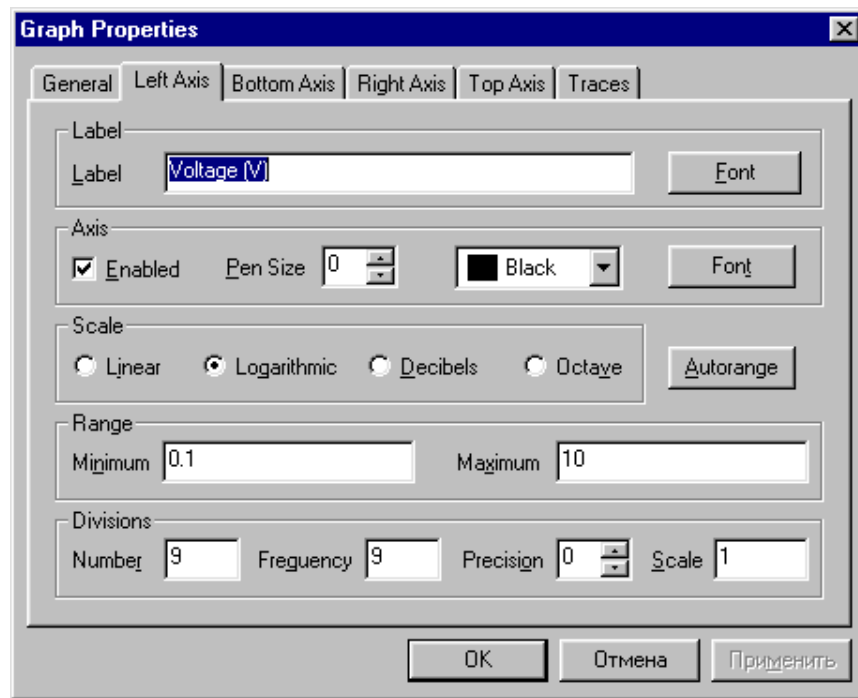


Рисунок 8.37 - Діалогове вікно оформлення результатів моделювання

- Pen Size – вибір ширини лінії для зображення характеристики;
- Color – вибір кольору лінії;
- Sample — зразок лінії;
- X Range – вибір оформлення для осі X, аналогічного вибраному на закладці Bottom Axis або Top Axis.
- Y Range – вибір оформлення для осі Y, аналогічного вибраному на закладці Left Axis (Рис. 8.37) або Right Axis;
- Offsets – установка зсуву координат по осях X і Y.

Кнопки



мають наступне призначення:

- вставити сітку (Toggle Grid);
- вставити позначення контрольної крапки (Toggle Legend);

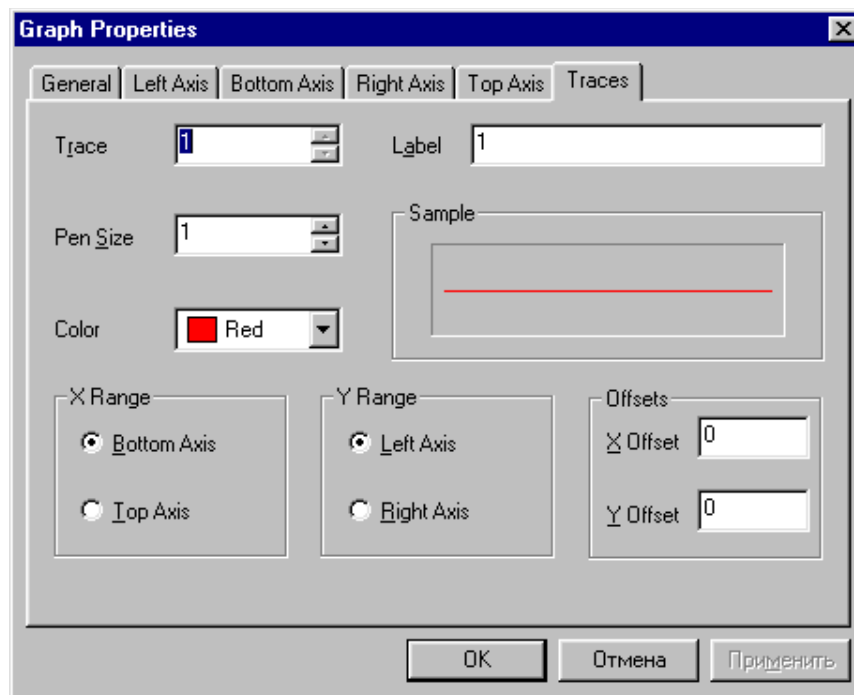


Рисунок 8.38 - Закладка Trace вікна для завдання параметрів графічного зображення

- вивести числові дані (Toggle Cursor);
- відновити графічне позначення, тобто проігнорувати введені зміни (Restore Graph);
- створити інверсний рисунок.

Команда Transient меню Analysis (Рис. 8.26) запускає режим розрахунку перехідних процесів. Діалогове вікно команд (Рис. 8.39) містить наступні налаштування:

- Initial conditions – установка початкових умов моделювання (призначення налаштувань цього блоку розглядалися при описі вікна на Рис. 8.31);
- Tstart – час початку аналізу перехідних процесів;
- Tstop – час закінчення аналізу;
- Generate time steps automatically – розрахунок перехідних процесів із змінним кроком, вибраним автоматично відповідно до допустимої відносної помилки RELTOL, що задається у вікні на Рис. 8.27 (якщо ця опція вимкнена,

то розрахунок ведеться з врахуванням двох інших опцій, описаних при розгляді вікна);

– Tstep – часовий крок виведення результатів моделювання на екран монітора.

Порядок використання параметрів Nodes in circuit описаний при розгляді вікна на Рис. 8.34.

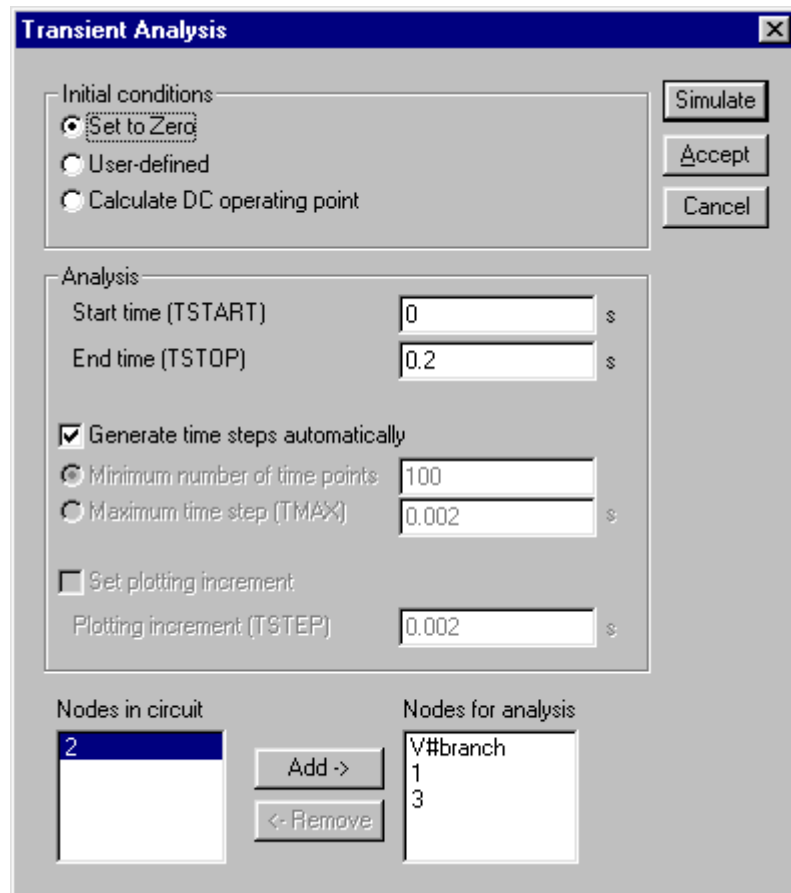


Рисунок 8.39 - Діалогове вікно завдання режиму розрахунку перехідних процесів

Результати моделювання перехідних процесів в схемі (Рис. 8.1) для параметрів, заданих у вікні на Рис. 8.39, представлені на Рис. 8.40.

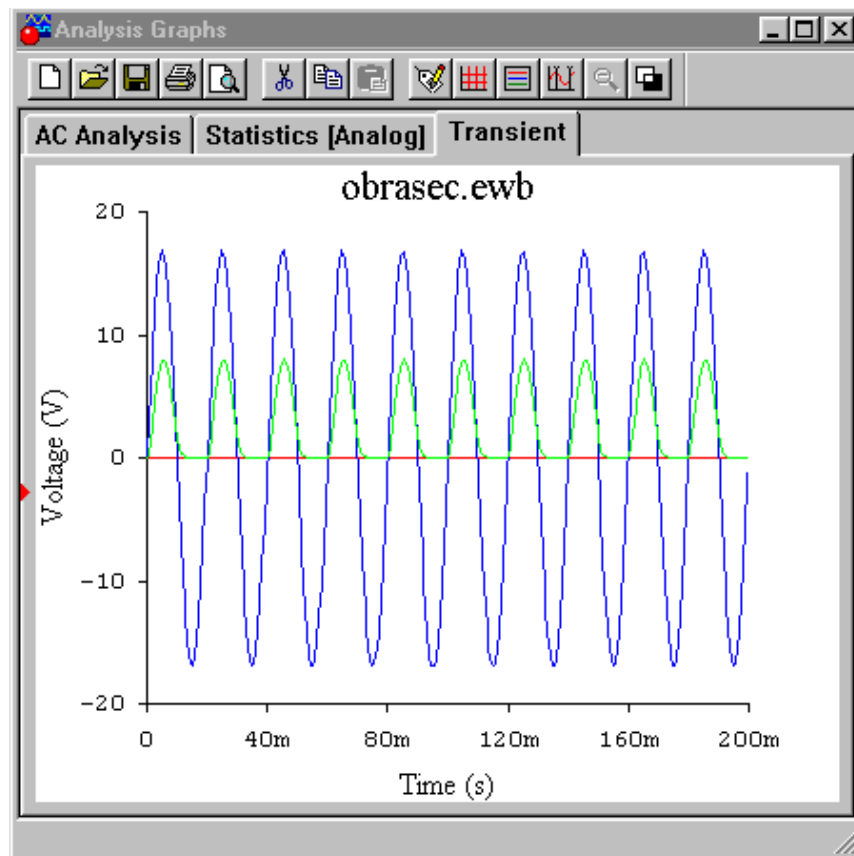


Рисунок 8.40 - Результати розрахунку перехідних процесів

Команда Fourier меню Analysis (Рис. 8.26) запускає режим Фурьє-аналізу (спектрального аналізу). При виборі цієї команди необхідно задати параметри моделювання за допомогою діалогового вікна (Рис. 8.41), в якому опції мають наступне призначення:

- Output node – номер контрольної точки (вузла), в якій аналізується спектр сигналу;
- Fundamental frequency – частота першої гармоніки;
- Number harmonic – число гармонік, що підлягають аналізу;
- Vertical scale – масштаб по осі Y (лінійний, логарифмічний, в децибелах);

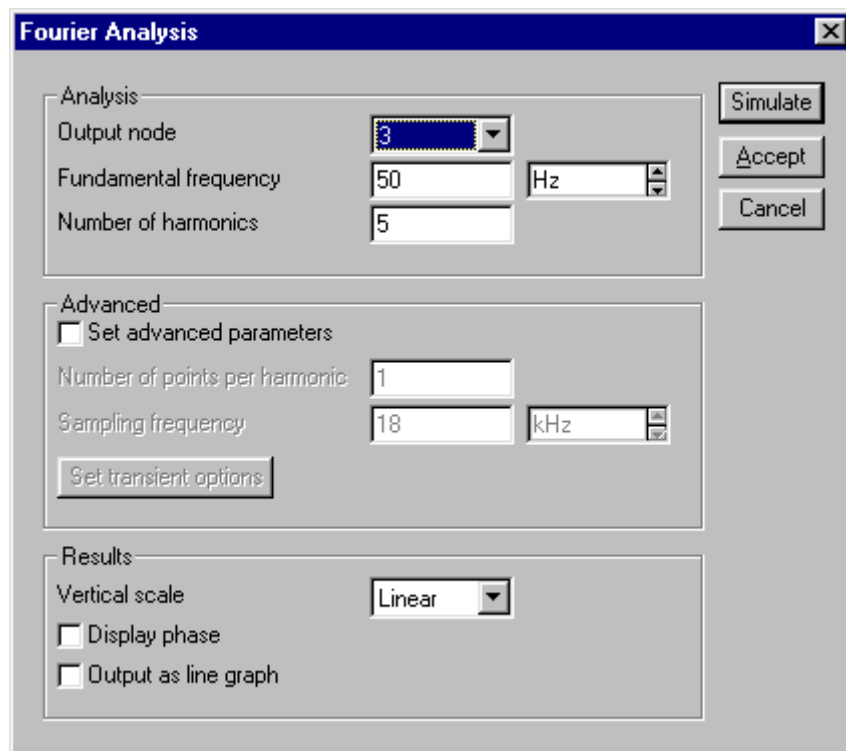


Рисунок 8.41 - Вікно завдання параметрів спектрального аналізу

- Advanced – набір опцій цього блоку призначений для визначення тоншої структури аналізованого сигналу шляхом введення додаткових вибірок (за умовчанням вимкнені);
- Number of points per harmonic – кількість відліків (вибірок) на одну гармоніку;
- Sampling frequency – частота дотримання вибірок.

В результаті спектрального аналізу отримуємо лінійчатий спектр досліджуваного сигналу, в нижній частині малюнка вказується коефіцієнт нелінійних спотворень у відсотках (Рис. 8.42 – результат аналізу сигналів в схемі на Рис. 8.1 при налаштуваннях, прийнятих на Рис. 8.41).

Якщо у вікні на Рис. 8.41 встановити останні опції (Display phase – показати розподіл фаз і Output as line graph – показати спектр у вигляді безперервного графіка), то результати аналізу набувають вигляду, показаного на Рис. 8.43 (верхня крива — розподіл амплітуд, нижня — розподіл фаз гармонійних складових).

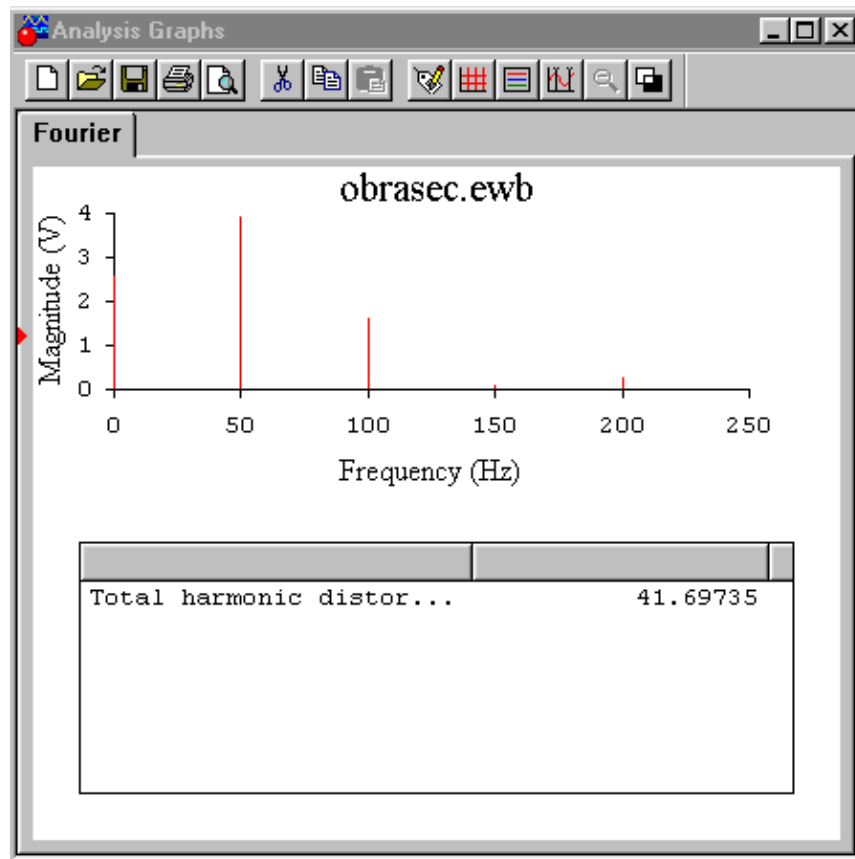


Рисунок 8.42 - Результати спектрального аналізу

Команда Monte Carlo меню Analysis (Рис. 8.26) запускає режим статистичного аналізу по методу Монте - Карло.

У діалоговому вікні установки параметрів моделювання (Рис. 8.44) задаються наступні параметри:

- Number of runs – кількість статистичних випробувань;

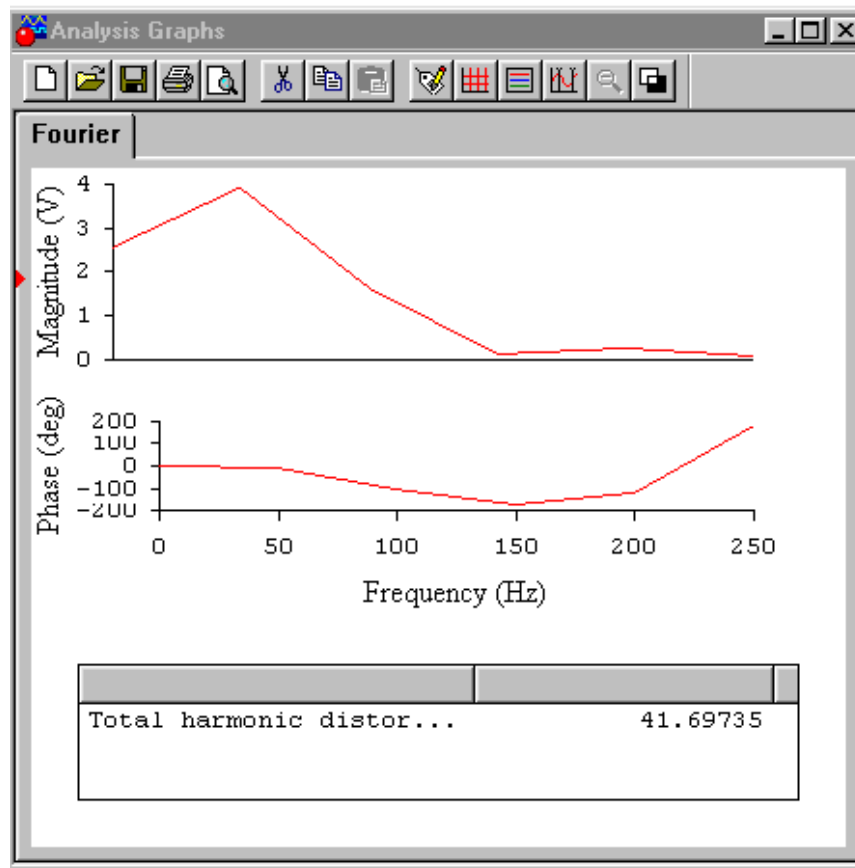


Рисунок 8.43 - Представлення результатів спектрального аналізу у вигляді безперервних графіків

- Tolerance – відхилення параметрів резисторів, конденсаторів, індуктивностей, джерел змінного і постійного струму і напруги;
- Seed – початкове значення випадкової величини (цей параметр визначає початкове значення датчика випадкових чисел і може задаватися в межах 1...32767);
- Distribution type – закон розподілу випадкових чисел (Uniform – рівноімовірний розподіл на відрізку $(-1, +1)$ і Gaussian – розподіл гауса на відрізку $(-1, +1)$ з нульовим середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням 0,25). Необхідний закон розподілу вибирається після натиснення кнопки в полі даної опції;

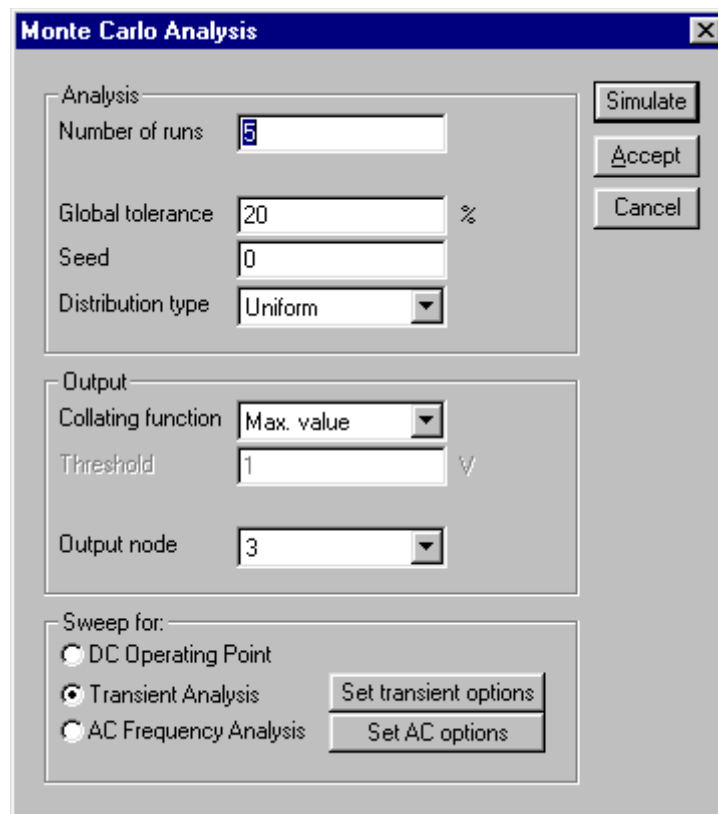


Рисунок 8.44 - Вікно налаштування параметрів режиму статистичного аналізу по методу Монте-Карло

- Collating function – характеристики схеми (максимальне і мінімальне значення величини Max. value, Min. value, максимальна і мінімальна частота Frequency at max, Frequency at min, значення частоти Rise edge frequency, Fall edge frequency, при якому відбувається пересічення заданого рівня порогової напруги Threshold від низу до верху і зверху вниз);
- Output node – вибір вихідної точки схеми;
- Sweep For – режими моделювання (описані вище) для яких може бути виконаний статистичний аналіз.

Результати статистичного аналізу схеми на Рис. 8.1, при вказаних на Рис. 8.44 значеннях параметрів, приведені на Рис. 8.45 для режиму аналізу перехідних процесів.

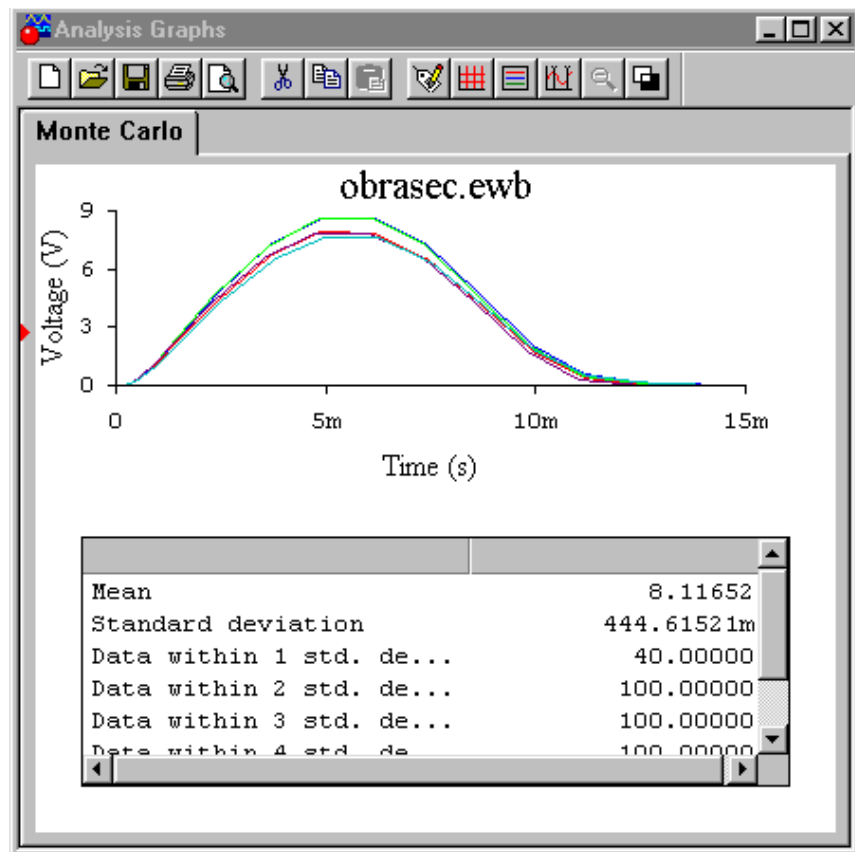


Рисунок 8.45 - Результати статистичного аналізу по методу Монте-Карло

Команда Display Graph меню Analysis (Рис. 8.26) служить для виклику на екран графіків результатів виконання однієї з команд моделювання. Якщо в процесі моделювання використано декілька команд цього меню, то результати їх виконання накопичуються і у вигляді закладок з найменуванням команд, які можуть переміщатися кнопками, розташованими в правому верхньому кутку вікна (Рис. 8.46). Це дозволяє оперативно переглядати результати моделювання без його повторного проведення. Відзначимо, що виклик команди відбувається автоматично при виконанні першої ж команди з меню Analysis. Якщо в схемі використовується осцилограф, то після запуску моделювання і заздалегідь встановленої команди Display Graph в її вікні з'являється закладка Oscilloscope із зображенням осцилограми; якщо використовується вимірник АЧХ-ФЧХ, то

з'являється закладка Bode із зображенням АЧХ і ФЧХ і так далі (Рис. 8.46). Одночасно графічна інформація виводиться також і на основні прилади.

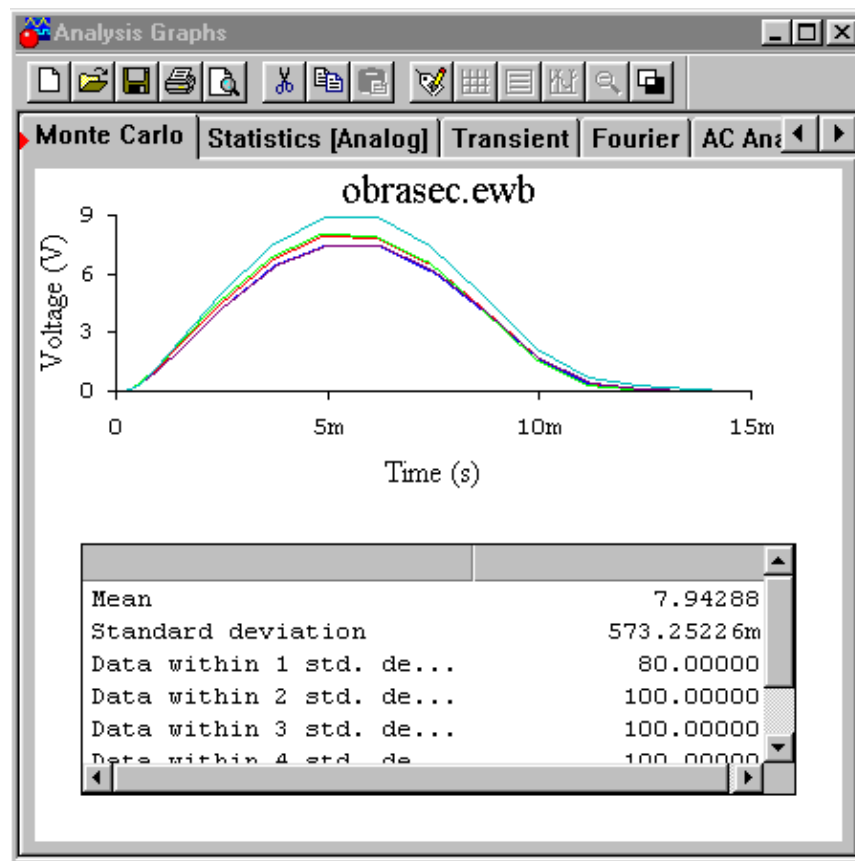


Рисунок 8.46 - Всі результати аналізу в одному вікні

9. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 1

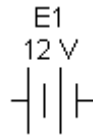
Зняття характеристик ідеального джерела постійної ЕРС (напруги)

1.1 Мета роботи: проаналізувати характеристики ідеального джерела постійної напруги

1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB зафіксувати вхідні та вихідні характеристики джерела постійної ЕРС

1.3 Теоретичні відомості

Ідеальним (з внутрішнім опором $R_i = 0$) джерелом напруги називають активний елемент, напруга на затисках якого не залежить від струму, що протікає через нього. Потужність, що віддається, не обмежена, напруга на затисках не змінюється при збільшенні струму. У EWB ідеальне джерело напруги знаходиться в групі Source і має наступне позначення:



1.4. Порядок виконання роботи

Зберіть схему, представлену на Рис. 9.1. Підключіть ідеальне джерело постійної ЕРС (E1) за допомогою ключа [1] на систему з резисторів навантажень (R1–R4). Розмикаючи і замикаючи ключі [5]–[8] резисторів і вимірюючи струм і напругу, заповните таблицю вимірів. Повторіть цей експеримент з другим (E2), третім (E3) і четвертим (E4) джерелом.

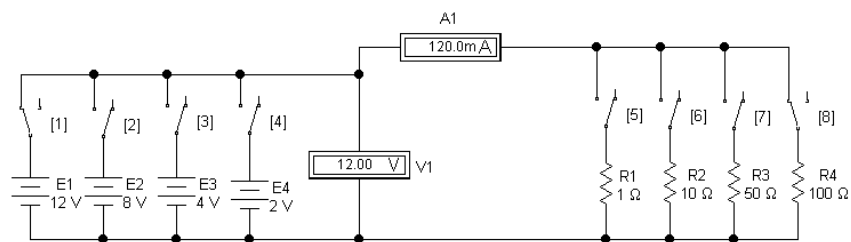


Рисунок 9.1 - Схема дослідження ідеального джерела напруги

З групи компонентів Source (Рис. 8.3)



вибрати 4 ідеальних джерела ЕРС і помістити їх на робочий стіл, розташувавши як показано на Рис. 9.1. Клацнувши правою клавішею миші по елементу і вибравши в меню (Рис. 8.12), що з'явилося, команду Component Properties, у вікні (Рис. 8.13), що з'явилося, задати величину ЕРС і позначення джерела (як вказано на Рис. 9.1). Повторити цю операцію для всіх компонентів. Вибравши опцію Schematic Options з меню Circuit (Рис. 8.4), або

з вікна динамічного меню (Рис. 8.5), встановити бажаний розмір, стиль і колір шрифту.

З групи компонентів Basic



вибрати 4 резистори і 4 перемикачі, помістити їх на робочий стіл, обернути командою Rotate (Рис. 8.12) і розташувати як показано на Рис. 9.1. За допомогою описаної вище процедури задати величину опорів і їх позначення відповідно до Рис. 9.1, а також параметр Value (Рис. 8.13) перемикачів. Значення параметра відповідає клавіші, за допомогою якої перемикатиметься перемикач.

З групи компонентів Controls



вибрати амперметр і вольтметр, помістити їх на робочий стіл і розташувати як показано на Рис. 9.1. За допомогою описаної вище процедури задати величини внутрішніх опорів приладів (дуже великий опір для вольтметра і дуже маленький опір для амперметра), вибрати вигляд вимірюваного струму DC (постійний) і їх позначення відповідно до Рис. 9.1. Після цього з'єднати компоненти провідниками відповідно до схеми на Рис. 9.1.

Перемикачем [1] підключити джерело E1, перемикачем [5] – опір R1. Запустити моделювання командою Activate меню Analysis (Рис. 26) або кнопкою



Отримані результати вимірів занести в таблицю. Повторити виміри по черзі за допомогою перемикачів [6]–[8], підключаючи резистори R2–R4. Результати вимірів занести в таблицю.

Повторити вказаний цикл вимірів для джерел E2–E4. Результати вимірів занести в таблицю:

Джерело EPC	Напруга V1, В	Струм A1, А			
		R1= 1 Ом	R2=10 Ом	R3=50 Ом	R4=100 Ом
E1					
E2					
E3					
E4					

За результатами вимірів побудувати характеристики навантажень ідеальних джерел постійною EPC.

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Джерело постійної напруги.
2. Основні прилади вимірювань електричних параметрів у редакторі EWB.
3. Принципова схема експерименту.
4. Визначення параметрів джерела EPC за допомогою вольтметра.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Лабораторна робота № 2

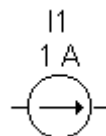
Зняття характеристик навантажень ідеального джерела струму

1.1 Мета роботи: проаналізувати характеристики ідеального джерела струму

1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB зафіксувати вхідні та вихідні характеристики джерела струму

1.3 Теоретичні відомості

Ідеальним джерелом струму називають активний елемент, сила струму якого не залежить від напруги на його затисках. Миттєва потужність джерела не обмежена. У EWB ідеальне джерело напруги знаходиться в групі Source і має наступне позначення:



1.4 Порядок виконання роботи

Зібрати схему, представлену на Рис. 9.2. Підключити ідеальне джерело струму (I1) за допомогою ключа [1] на систему з резисторів навантажень (R1–R4). Розмикаючи і замикаючи ключі [5]–[8] в резисторів і вимірюючи струм і напругу, заповнити таблицю вимірів. Повторити цей експеримент з другим (I2), третім (I3) і четвертим (I4) джерелом струму.

Порядок виконання аналогічний викладеному в роботі №1. Результати вимірів занести в таблицю:

Джерело струму	Напруга V1, В	Струм A1, А			
		R1= 1 Ом	R2=5 Ом	R3=10 Ом	R4=20 Ом
I1					
I2					
I3					
I4					

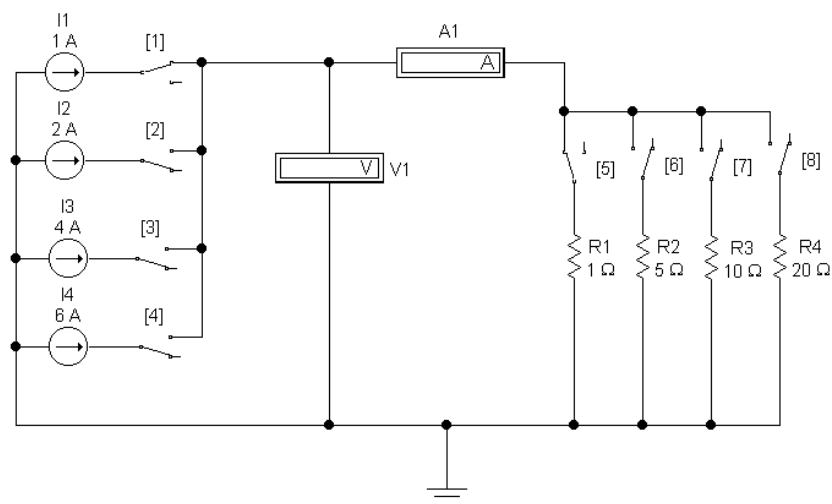


Рисунок 9.2 - Схема дослідження ідеального джерела струму

За результатами вимірів побудувати характеристики навантажень ідеальних джерел постійною ЕРС.

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Джерело струму.
2. Основні прилади вимірювань електричних параметрів у редакторі EWB.
3. Принципова схема експерименту.
4. Визначення параметрів джерела струму за допомогою вольтметра та амперметра.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Лабораторна робота № 3

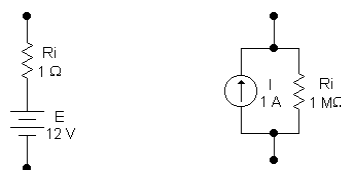
Модель джерела обмеженої потужності. Зняття характеристик навантажень

1.1 Мета роботи: розробити модель джерела обмеженої потужності та проаналізувати характеристики навантажень.

1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB скласти принципову схему джерела обмеженої потужності та зняти характеристики навантажень.

1.3 Теоретичні відомості

Модель джерела обмеженої потужності (неідеального джерела) може бути створена двома способами – включаючи опір R_i послідовно з ідеальним джерелом напруги або паралельно з ідеальним джерелом струму (R_i – внутрішній опір джерела):



1.4 Порядок виконання роботи

Зібрати схему, представлену на Рис. 9.3. Підключити джерело напруги за допомогою ключа [1] на систему з резисторів навантажень (R_1 – R_4). Розмикаючи і замикаючи ключі [5]–[8] резисторів і вимірюючи струм і напругу, заповнити таблицю вимірів:

Джерело напруги		
Опір, Ом	Напруга V1, В	Струм A1, А
$R_1 = 0,1 \text{ Ом}$		
$R_2 = 1 \text{ Ом}$		
$R_3 = 10 \text{ Ом}$		
$R_4 = 100 \text{ Ом}$		

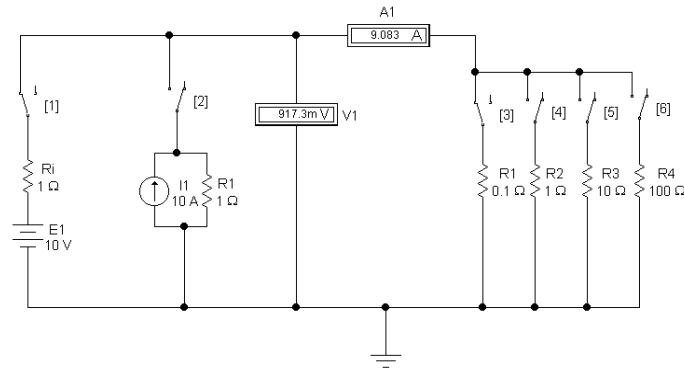


Рисунок 9.3 - Схема дослідження джерел обмеженої потужності

Повторити цей експеримент з джерелом струму (ключ [2]). Результати занести в таблицю вимірів:

Джерело струму		
Опір, Ом	Напруга V1, В	Струм A1, А
R1 = 0,1 Ом		
R2 = 1 Ом		
R3 = 10 Ом		
R4 = 100 Ом		

За результатами вимірів побудувати характеристики навантажень джерел обмеженої потужності.

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Модель джерела обмеженої потужності.
2. Основні прилади вимірювань електричних параметрів у редакторі EWB.
3. Принципова схема експерименту.
4. Визначення параметрів джерела потужності.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Лабораторна робота № 4

Залежні джерела напруги і струму. Зняття характеристик навантажень

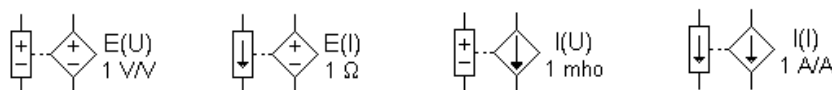
1.1 Мета роботи: розробити модель залежного джерела напруги і струму та проаналізувати характеристики навантажень.

1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB скласти принципову схему залежного джерела напруги і струму та проаналізувати характеристики навантажень.

1.3 Теоретичні відомості

Реальні радіоелектронні пристрої (наприклад, підсилювачі) при теоретичному розгляді представляються джерелами. Характерною особливістю таких джерел є залежність їх ЕРС або струму від вхідного сигналу. Розрізняють залежні джерела напруга, керовані напругою $E(U_{vx})$ і струмом $E(I_{vx})$, і залежні джерела струму, керовані напругою $I(U_{vx})$ і струмом $I(I_{vx})$.

У EWB залежні джерела напруги і струму знаходяться в групі Source і мають наступні позначення:



Параметр біля позначення компонентів називається коефіцієнтом передачі і характеризує міру впливу вхідної напруги (або струму) на вихідну напругу (або струм). Наприклад, коефіцієнт передачі $1\Omega = 1V(\text{вольт})/1A(\text{ампер})$ означає, що при зміні струму, що управляє, на 1 А вихідна напруга зміниться на 1 V.

1.4 Порядок виконання роботи

Зібрати схему, представлену на Рис. 9.4. Підключити джерело напруги E_1 , що управляє, за допомогою ключа [1] до ланцюга управління залежного джерела напруги E_{upr} . По черзі розмикаючи і замикаючи ключі [5]–[8] в резисторів навантажень R_1 – R_4 і вимірюючи струм і напругу, занести результати в таблицю вимірів.

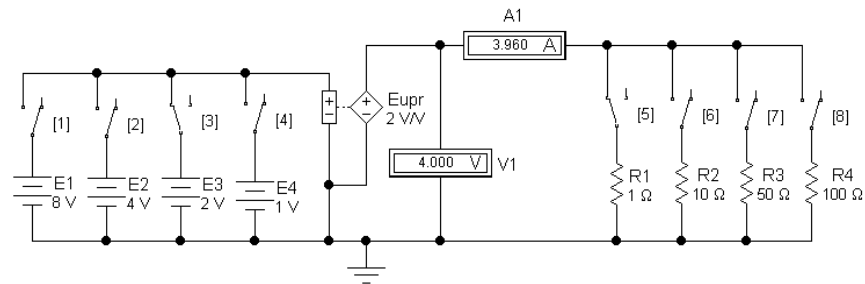


Рисунок 9.4 - Схема дослідження залежного джерела напруги

Повторити цей експеримент для джерел напруги E_2 , що управляють, E_3 і E_4 , по черзі підключаючи їх за допомогою ключів [2]–[4] до ланцюга управління залежного джерела напруги E_{upr} .

Результати занести в таблицю вимірів:

Джерело, що управляє, коефіцієнт передачі	Параметр	$R_1=$ 1 Ом	$R_2=$ 10 Ом	$R_3=$ 50 Ом	$R_4=$ 100 Ом
$E_1=8\text{ В}$ 2 В/В	Напруга V_1 , В				
	Струм A_1 , А				
$E_2=4\text{ В}$ 2 В/В	Напруга V_1 , В				
	Струм A_1 , А				
$E_3=2\text{ В}$ 2 В/В	Напруга V_1 , В				
	Струм A_1 , А				
$E_4=1\text{ В}$ 2 В/В	Напруга V_1 , В				
	Струм A_1 , А				

За результатами вимірів побудувати характеристики навантажень залежного джерела напруги.

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Модель залежного джерела напруги.
2. Модель залежного джерела струму.
3. Основні прилади вимірювань опору у редакторі EWB.
4. Принципова схема експерименту.
5. Визначення параметрів джерела струму і напруги.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Лабораторна робота № 5

Індуктивність

1.1 Мета роботи: розробити схему вимірювання індуктивності.

1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB скласти принципову схему вимірювання параметрів котушки індуктивності та проаналізувати її вихідні характеристики.

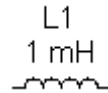
1.3 Теоретичні відомості

Індуктивність – елемент, що ідеалізується, здатний запасати енергію магнітного поля. Струм в індуктивності пов'язаний з напругою на її затисках наступними співвідношеннями:

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad \text{или} \quad i(t_2) = i(t_1) + \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} u \, dt.$$

Кількісно індуктивність L виражається в Генрі.

У EWB індуктивність знаходиться в групі Basic і має наступне позначення:



1.4 Порядок виконання роботи

Зберіть схему, представлену на Рис. 9.5, і дослідіть вплив величини індуктивності на характер протікаючих процесів.

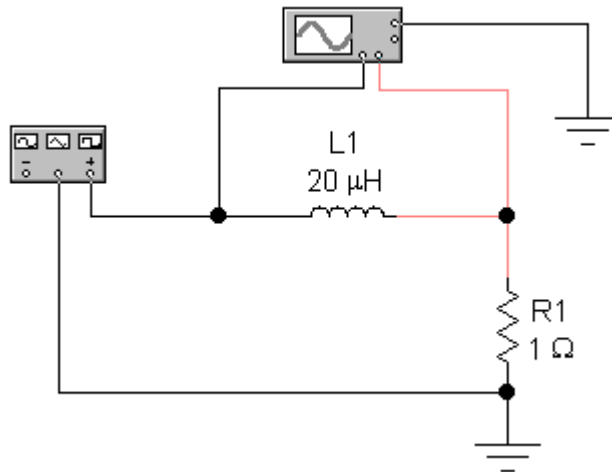


Рисунок 9.5 - Схема дослідження індуктивності

Зібрати схему, представлену на Рис. 9.5. Лінії, що йдуть до осцилографа, зробити різного кольору, аби 2 криві чітко розрізняти на екрані (Рис. 8.16). Двічі клацнути лівою клавiшею миші по зображенню генератора. На екрані з'явиться передня панель генератора (Рис. 8.22). Перетягнути курсор миші на вільне місце екрану. Вибрати вигляд сигналу – прямокутні імпульси, встановити частоту 10 кГц, коефіцієнт заповнення 50 % і амплітуду 10 В. Двічі клацнути лівою клавiшею миші по зображенню осцилографа. На екрані з'явиться передня панель осцилографа (Рис. 8.23).

Перетягнути курсор на вільне місце екрану. Встановити режими AUTO, Y/T, чутливість каналів А і В 5V/Div, тривалість розгортки 0,02 ms/Div.

Перемикачем [1] підключити індуктивність L1, Запустити моделювання командою Activate меню Analysis (Рис. 8.26) або кнопкою



На екрані осцилографа з'являться 2 криві.

Перша крива – входна напруга на індуктивності (подається на канал А).

Друга крива – напруга на опорі R1. Оскільки напруга у вольтях на резисторі 1 Ом чисельно дорівнює струму через резистор в амперах ($I = U/R = U/1 = U$), то з екрану осцилографа можна безпосередньо прочитувати значення струму через індуктивність.

Зупинити режим аналізу. На екрані збережуться осцилограми напруги на індуктивності і струму через неї. Кнопкою Expand на передній панелі осцилографа збільшити розмір панелі (Рис. 9.6). На Рис. 9.6 крива 1 – напруга на індуктивності, крива 2 – струм через індуктивність.

Замалювати осцилограми, виміряти параметри сигналів. Для цього за трикутні вушка (вони позначені також цифрами 1 і 2) курсором перетягнути вертикальні візирні лінії (синього і червоного кольору) в точки початку і кінця одного з імпульсів (Рис. 9.6). Результати вимірів представлені в правому віконці під екраном. Тут:

- (T2–T1) – тривалість імпульсу;
- (VA2–VA1) – амплітудне значення сигналу, що подається на канал А (крива 1);
- (VB2–VB1) – амплітудне значення сигналу, що подається на канал В (крива 2).

Перемикачем [2] підключити індуктивність L2 і повторити процедуру вимірів.

Повторити виміри для L3, L4. Із збільшенням індуктивності амплітуда кривої 2 зменшуватиметься. Для зручності спостереження можна збільшити чутливість каналу (для L4 значення чутливості 100 mV/Div, що рекомендується).

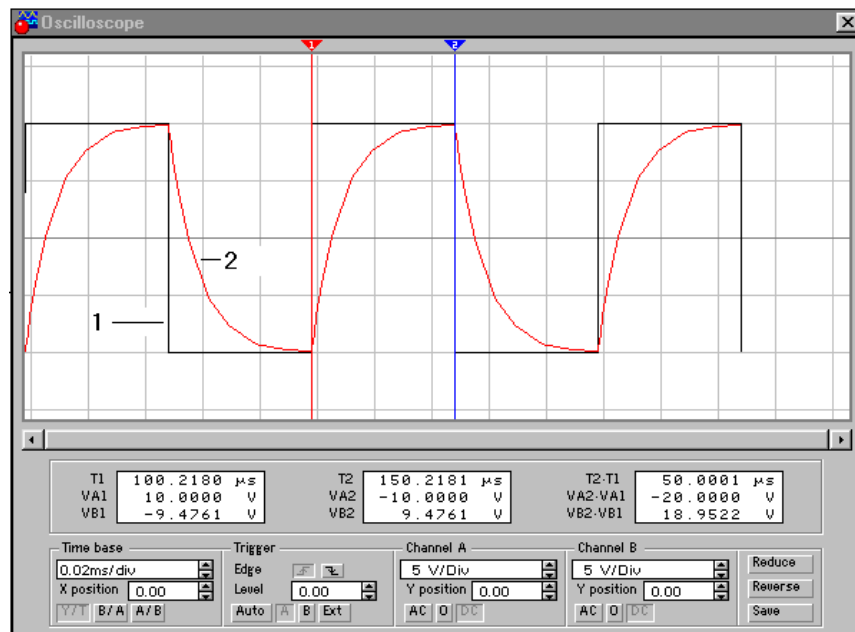


Рисунок 9.6 - Вимір параметрів процесів

Порівняйте розрахункове значення струму через індуктивність з експериментальними результатами.

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Індуктивність, схематичне зображення.
2. Одиниці вимірювання індуктивності.
3. Осцилограф у редакторі EWB.
4. Принципова схема експерименту.
5. Визначення струму на індуктивності.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Лабораторна робота № 6

Ємність

1.1 Мета роботи: розробити схему вимірювання ємності.

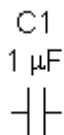
1.2 Зміст роботи: за допомогою основних елементів редактора EWB скласти принципову схему вимірювання параметрів конденсаторів.

1.3 Теоретичні відомості

Ємність – елемент, що ідеалізується, здатний запасати енергію електричного поля. Струм в ємності пов'язаний з напругою на її затисках наступними співвідношеннями:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad \text{или} \quad u(t_2) = u(t_1) + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i \, dt.$$

У EWB ємність знаходиться в групі Basic і має наступне позначення:



1.4 Порядок виконання роботи

Зберіть схему, представлену на Рис. 9.7, і дослідіть вплив величини ємності на характер протікаючих процесів. Порядок виконання аналогічний викладеному в роботі № 5.

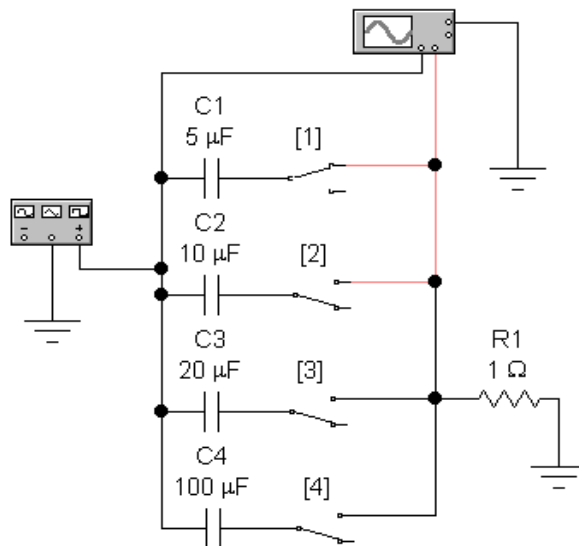


Рисунок 9.7 - Схема дослідження ємності

Проведіть порівняльний аналіз результатів, отриманих для ємності і індуктивності (робота № 5).

1.5 У звіті відображається:

- тема і ціль роботи;
- принципова схема експерименту;
- результати вимірювань;
- висновки за роботою.

1.6 Контрольні запитання

1. Ємність, схематичне зображення.
2. Одиниці вимірювання ємності.
3. Генератор коливань у редакторі EWB.
4. Принципова схема експерименту.
5. Визначення напруги та частоти коливань на конденсаторі.

Література

1. Карлащук В.І. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її вживання. – М.: Видавництва «СОЛОН-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.І. Основи теорії ланцюгів. – М.: Вища школа, 2000. – 576 с.

Питання для самоконтролю і підготовки до тестування

1. Що таке системне проектування РЕА?
2. Що таке структурне проектування РЕА?
3. Що таке функціонально-логічне проектування РЕА?
4. Що таке схемотехнічне проектування РЕА?
5. Які вимоги пред'являються до математичних моделей напівпровідникових пристроїв?
6. Що таке топологія схеми?
7. Що таке вузлові рівняння?
8. Розрахунок методом під схем?
9. Що таке ланцюжкова структура?
10. Як виконується машинне формування вузлових рівнянь?
11. Поняття нелінійної резистивної схеми?
12. У чому проявляється експоненційний характер нелінійної залежності компонентів електронних схем?
13. Що таке гібридний аналіз електронних схем?
14. Методи чисельного розв'язання рівнянь гібридного аналізу електронних схем?
15. Що представляє собою програма Microsim?
16. Основні особливості програми Accel EDA?
17. Основні задачі, що вирішуються за допомогою програми DesignLab?
18. Основні задачі, що вирішуються за допомогою програми OrCAD?
19. Основні задачі, що вирішуються за допомогою програми Proteus?
20. Основні задачі, що вирішуються за допомогою програми P-CAD?
21. Основні задачі, що вирішуються за допомогою програми PSPICE?