

Міністерство освіти й науки України
Запорізька державна інженерна академія

Н.А. Омельчук
І.В. Базилєва
О. Ю. Кулаков

Технологічні основи електроніки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення лабораторних занять

для студентів спеціальності 7.09.08.03
«Електронні системи»

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ЕС,
протокол № 2 від 27.09.05

Запоріжжя
2005

Технологічні основи електроніки. Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму для студентів спеціальності 090803 «Електронні системи» /уклад. Н.А. Омельчук, І.В. Базилєва, О.Ю. Кулаков - Запоріжжя; ЗДІА, - 2005 р. – 73с.

Укладачі: Омельчук Наталія Анатоліївна, старший викладач
Базилєва Ірина Валентинівна, асистент
Кулаков Олександр Юрійович, асистент

Відповідальний за випуск: А.В. Переверзєв, д.т.н., професор

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	4
Лабораторна робота №1 Моделювання роботи електронної схеми	6
Лабораторна робота №2 Формування електричних схем за допомогою графічного редактора SCHEMATIC у середовищі PCAD2001	8
Лабораторна робота №3 Формування друкованої плати за допомогою графічного редактора друкованих плат PCAD2001 PCB у середовищі PCAD2001	15
Лабораторна робота №4 Дослідження технологічних процесів виготовлення друкованої плати для електронного пристрою	18
Лабораторна робота №5 Дослідження технологічних процесів монтажу навісних електронних компонентів на друковану плату	26
Лабораторна робота №6 Дослідження процесів контролю та випробувань виробів електронної техніки	30
Література	32
Додаток А	33
Додаток Б	40
Додаток В	53

ВСТУП

У методичних вказівках до лабораторних робіт за курсом «Технологічні основи електроніки» вивчаються технологічні процеси по виготовленню друкованих плат, правила проведення електромонтажних робіт і налагодження готових пристроїв, а також описуються графічний редактор PCAD2001 SCHEMATIC (Додаток Б), графічний редактор друкованих плат PCAD2001 PCB (Додаток В), які використовуються для створення конструкторської документації пристроїв.

Система PCAD2001 призначена для проектування багат шарових друкованих плат (ДП) аналогових, цифрових і аналогово-цифрових пристроїв. Вона складається з чотирьох основних модулів PCAD2001 Library Manager, PCAD2001 Schematic, PCAD2001 PCB, PCAD2001 Autorouters і ряду допоміжних програм.

PCAD2001 Library Manager (Менеджер бібліотек.) PCAD2001 бібліотеки містять графічну інформацію про символи і типові корпуси компонентів і текстову інформацію (число секцій в корпусі компонента, номери і назви виводів, коди логічної еквівалентності виводів і т.п.).

PCAD2001 Schematic і PCAD2001 PCB (Графічні редактори принципів схем і ДП. Мають сучасні системи впливаючого меню в стилі інших програм для Windows, командам що найчастіше зустрічається призначені піктограми.

Графічний редактор друкарських плат PCAD2001 PCB викликається автономно, або з редактора схем PCAD2001 Schematic. У останньому випадку автоматично укладається список з'єднань схеми і на поле ДП переносяться зображення корпусів компонентів з вказівкою ліній електричних з'єднань між їх виводами – ця операція називається *упаковкою схеми на друковану плату*. Потім накреслюється контур ДП, у ньому розміщуються компоненти і проводиться трасування провідників.

Автоматичне трасування викликається з керуючої оболонки PCAD2001 PCB, де проводиться настройка стратегії трасування. Дуже зручно, що інформацію про особливості трасування окремих ланцюгів можна за допомогою стандартних атрибутів ввести на етапах створення принципової схеми або ДП. До них відносяться атрибути ширини траси, ознака заборони розриву ланцюга в процесі автотрасування, ознака заздалегідь розведеного і зафіксованого ланцюга та ін.

Підсумком лабораторного практикуму повинна бути працююча задана схема з додатком короткого опису роботи пристрою, його основні параметри (ВАХ, АЧХ та ін.), роздруківка характеристик, отриманих моделюванням і малюнки реальних характеристик з осцилографу.

Лабораторна робота №1

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ

Ціль роботи: навчитися використовувати компоненти програми Micro-Cap для моделювання роботи електронної схеми.

Теоретичні відомості

Програма комп'ютерного моделювання Micro-Cap_7 (МС7) призначена для дослідження працездатності різноманітних електронних схем. МС7 дозволяє виконувати аналіз схеми по постійному струму, аналіз перехідних процесів у схемі, аналіз частотних характеристик схеми, багатоваріантний аналіз та статистичний аналіз за методом Монте-Карло.

Перед початком аналізу у режимі роботи графічного редактора схем користувач МС7 створює електричну принципову схему пристрою, що буде моделюватися. На основі цієї схеми МС7 створює текстовий файл опису пристрою, що моделюється. Цей файл використовується програмою МС7 для автоматичного створення математичної моделі схеми звичайно за допомогою метода вузлових потенціалів. Після створення математичної моделі схеми задають вид аналізу схеми. Результати моделювання виводяться на екран монітору.

Хід роботи

1. Перерисувати задану викладачем схему з наведених у додатку А. По літературних джерелах знайти й описати заданий пристрій, його основні характеристики.

2. Змоделювати цю схему на ПЕОМ за допомогою Micro-Cap_7. Щоб зібрати електричну схему за допомогою цієї програми необхідно використовуючи панель інструментів винести на робоче вікно компоненти, що використані в принциповій схемі. Далі, відповідно до цієї схеми, необхідно з'єднати обрані компоненти. Параметри компонентів схем задаються за допомогою подвійного натискання на них лівою кнопкою миші.

Зібрана схема повинна мати вид, наприклад такий, як на рис.1.1.

3. Після того як схема підключена і всі параметри підібрані, можна досліджувати роботу схеми за допомогою піктограми «Analyze»: АС (АЧХ).

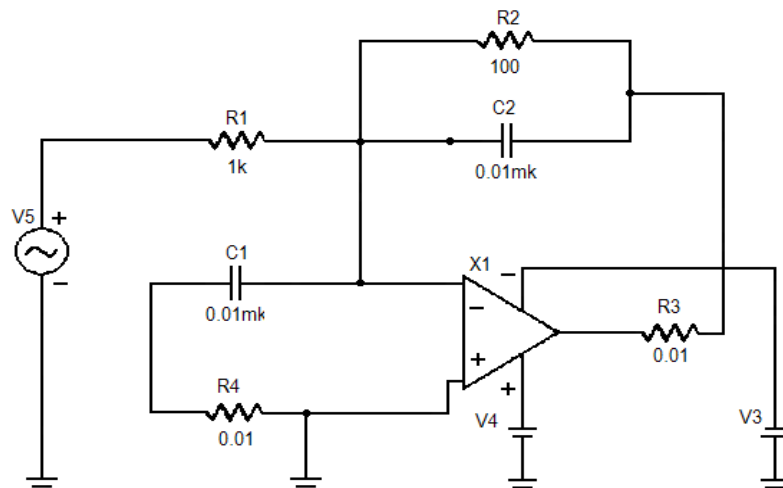


Рис.1.1 Вигляд схеми електричної принципової у графічному редакторі програми Micro-Cap_7

Амплітудно-частотні характеристики цього пристрою мають такий вигляд, як на рис.1.2:

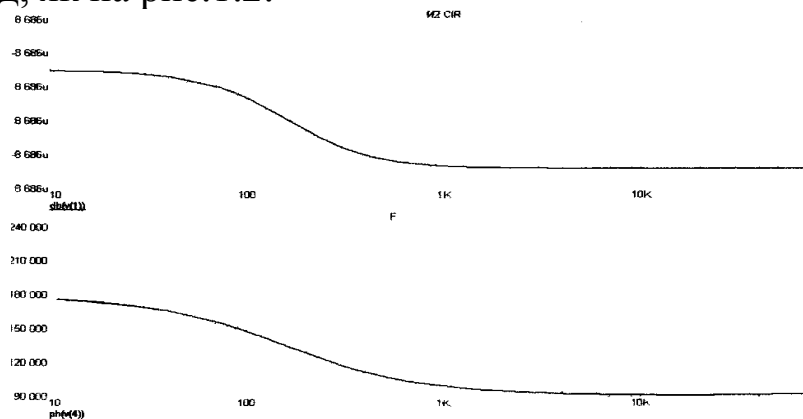


Рис.1.2. Амплітудно-частотні характеристики

4. Отримані робоча схема й характеристики треба надрукувати на принтері. Параметри елементів, що складають робочу схему, переписати.

5. По довідковій літературі чи по реальних елементах визначити габарити комплектуючих для обчислення розмірів друкованої плати на якій буде зібраний електронний пристрій.

Контрольні питання

1. Який пристрій Ви проектували. Його основні функції й характеристики?
2. Як розмістити компоненти на схемі?
3. Як змінити параметри компонента?
4. Як вивести схему на принтер?

Лабораторна робота №2

ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІЧНОГО РЕДАКТОРА SCHEMATIC У СЕРЕДОВИЩІ PCAD2001

Ціль роботи: зібрати електричну принципову схему пристрою в графічному редакторі PCAD2001 SCHEMATIC; отримати основні характеристики заданого пристрою.

Теоретичні відомості

Програма PCAD2001 SCHEMATIC призначена для отримання файлу опису електричної принципової схеми пристрою, що проектується, та має стандартний інтерфейс Windows з доданням команд, специфічних для системи PCAD2001.

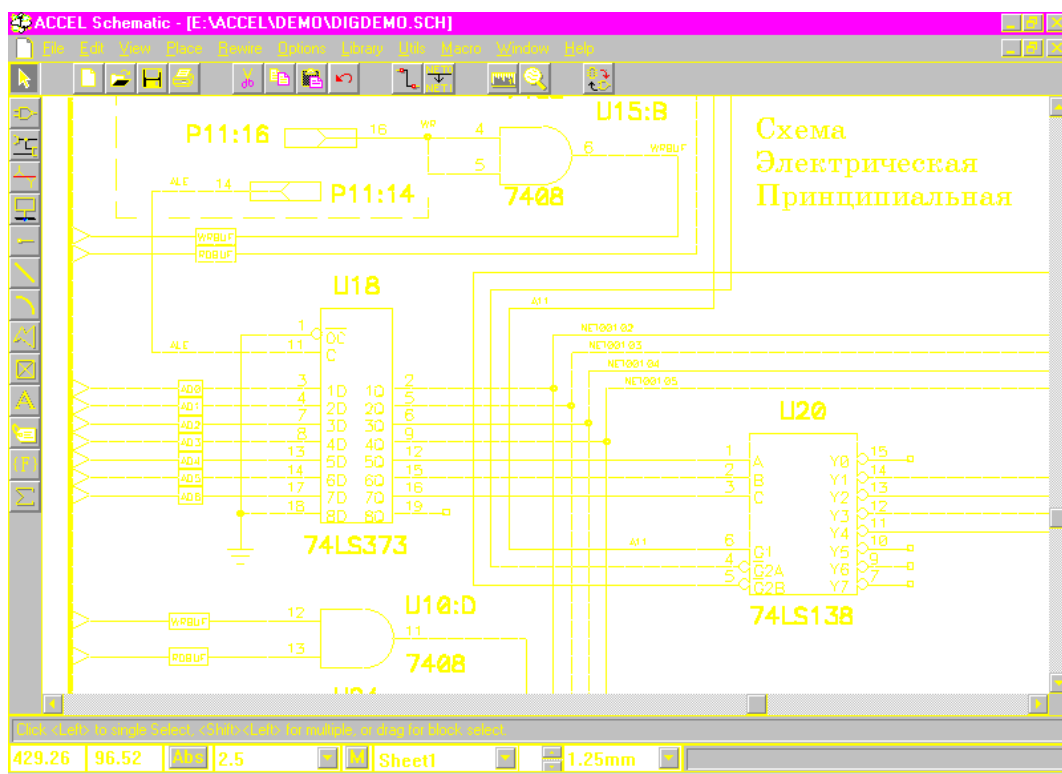


Рис. 2.1 – Экран PCAD2001 Schematic зі схемою

У верхній частині екрана редактора схем PCAD2001 Schematic розташовується меню команд.

Дві панелі інструментів містять піктограми для виклику команд які найчастіше вживаються. Розташована горизонтально панель містить піктограми *системних команд*, панель *команд розміщення* розташована вертикально.

Призначення піктограм приведені в таблиці Б.1 додатку Б, а в таблиці Б.2 наданий список команд PCAD2001 Schematic.

Велику частину екрана займає *робоче вікно*, призначене для введення креслень схем або ДП в графічних редакторах, або текстовій інформації в менеджері бібліотек.

Особливості роботи у PCAD2001 SCHEMATIC наведені у додатку Б.

Створення принципів схем

Спочатку користувач повинен виконати настройку конфігурації PCAD2001 Schematic, як описано у додатку Б.

Після настройки конфігурації PCAD2001 Schematic приступають до створення принципової схеми. Щоб вивести на робоче вікно умовні графічні зображення необхідних елементів схеми завантажують бібліотеки компонентів.

1. Завантаження бібліотек. Перед нанесенням на схему символів компонентів по команді **Library/Setup** забезпечується доступ до вибраних бібліотек.

Вибравши клавішу **Add**, додають імена бібліотек в список відкритих бібліотек (Open Libraries), а з допомогою клавіші **Delete** видаляють бібліотеки з цього списку.

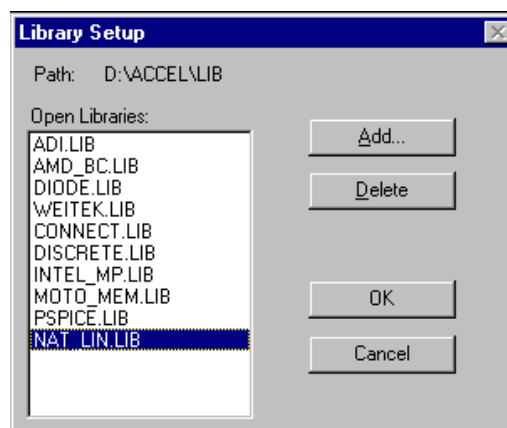



Рис. 2.2 — Завантаження бібліотек


2. Розміщення компонентів на схемі. У режим розміщення символів компонентів на схемі переходять по команді **Place/Part** або натисненням на піктограму . Після цього в будь-якій точці схеми відкривається меню вибору компонента.


На панелі **Library** вказується ім'я однієї з відкритих бібліотек, список її компонентів виводиться у вікні **Component Name**. Ім'я потрібного компонента вибирають з цього списку або вводять у верхньому рядку (досить ввести одне або декількох перших символів


імені, щоб курсор перемістився у вказану позицію). Натиснення клавіші **Browse** дозволяє переглянути графічне зображення символу компонента.

На рядку **Value** проставляють номінал компонента, наприклад, опір резистора. Після вибору в меню **Place/Part** потрібного компонента і введення всіх необхідних параметрів, натискають клавішу **OK** – курсор прийме форму перехрестя з розривом у центрі для точного позиціонування у вузлах сітки. Безпосереднє розміщення символу компонента на схемі виконується після натиснення курсором в будь-якій точці робочого вікна. Доти, поки не відпущена ліва кнопка миші, символ можна переміщати по екрану. Він обертається на 90° і дзеркально відображається при натисненні клавіш **R** і **F**, відповідно. Повторний щиглик курсору розміщує на схемі чергову копію символу вибраного компонента, привласнюючи їй наступне позиційне позначення. Для збільшення на одиницю номера секції компонента, перед розміщенням символу натискають клавішу **P**, а для збільшення позиційного позначення – клавішу **D**.


Зменшити ці значення можна одночасним натисненням клавіш **Shift+P** або **Shift+D**. Щиглик правої кнопки миші або **Esc** припиняє введення символів.

У режимі **Edit/Select** (вибір об'єктів дублюється піктограмою ) натиснення курсору в будь-якій точці всередині контуру символу компонента проводить його вибір з можливістю переміщення, повороту і видалення символу разом з атрибутами, що належать йому. Натиснення клавіші **Shift** і утримання її до щиглика курсором дозволяє вибрати окремий елемент символу: вивід, елемент графіки, позиційне позначення та ін.


3. Розміщення електричних кіл. Після вибору команди **Place/Wire** або піктограми , курсор приймає форму перехрестя. Натисненням миші помічається початкова точка ланцюга. Кожне натиснення лівої кнопки миші фіксує точку зламу. Натиснення клавіші **O** до відпущення лівої кнопки миші змінює кут введення лінії з числа дозволених (що задаються в меню **Options/Configure**), натиснення клавіші **F** змінює її орієнтацію. У зв'язку з тим що на схемі звичайно переважають горизонтальні або вертикальні лінії, в меню **Options/Configure** достатньо включити тільки режим ортогональності 90/90 Line-Line. Завершується введення ланцюга натисненням правої кнопки миші (або **Esc**).

Включення в електричне коло додаткової точки зламу для майбутнього редагування виконується по команді **Rewire/Manual** або вибором піктограми .

Електричне з'єднання пересічних ланцюгів позначається точкою (**Junction**), яка автоматично проставляється на Т-образних з'єднаннях. Щоб проставити точку з'єднання пересічних ланцюгів, треба при введенні другого ланцюга клацнути курсором в точці перетину і потім продовжити побудову схеми.

4. Розміщення шин. Вибір команди **Place/Bus**, або натиснення піктограми , активує режим введення шин. Натисненням курсору відмічають початок шини (при цьому курсор приймає форму перехрестя) і точки зламу шини. Побудова шини завершується щигликом правої кнопки миші або натисканням клавіші **Esc**.

Далі по команді **Place/Wire** розміщують ланцюги. При побудові ланцюга, що входить до складу шини, його початок або кінець можуть бути розташовані в будь-якій точці шини. При цьому автоматично зображується злам ланцюга під кутом 45° при підключенні до шини (стиль цього зображення встановлюють в меню **Options/Display**).

Імена ланцюгів, які створюють шину, задаються підключенням до ланцюгів по команді **Place/Port** спеціальних портів (командою **Edit/Nets** для цього користуватися не можна). Після вибору команди **Place/Port** (або піктограми ) натисненням мишею на будь-якій точці схеми відкривається меню вибору порту. На розташованому вгорі рядку **Net Name** вказують ім'я першого ланцюга, наприклад D1. Якщо включити перемикач **Increment Port Name** при розміщенні портів, вони автоматично отримають імена D1, D2, D3 і т. п. Найзручніше включати порт у розрив ланцюга, для цього він повинен мати два виводи (**Two Pin**) і розташовуватися горизонтально (**Horizontal**). Якщо зображення порту у вигляді прямокутника не влаштовує, то вибирається порт з одним виводом (**One Pin**), розташований вертикально (**Vertical**) і не має рамки (**None**) – в результаті ім'я ланцюга (порту) буде розташовано над нею. Після закриття меню натисканням **OK**, порти щигликом миші підключаються до ланцюгів, що іменуються (поточне ім'я ланцюга відображується в рядку інформації). Іменовані таким чином ланцюги є глобальними (**Global**) і їх можна перейменувати по команді **Edit/Nets**.

5. Редагування схеми. Для переміщення компонента або ланцюга треба вибрати їх курсором і потім переміщати рухом миші.

Якщо одночасно треба перемістити декілька об'єктів, наприклад компонент і пов'язані з ним сегменти ланцюгів, то додаткові об'єкти вибирають курсором з одночасним натисненням і утриманням клавіші **Ctrl**. Виділена група об'єктів переміщується як єдине ціле. Якщо після переміщення сегментів ланцюгів частина з них буде розташована неакуратно, курсором обирають окремий сегмент і переміщують його вершину.

Перед переміщенням групи об'єктів бажано правою кнопкою миші вибрати команду **Select Point** для нанесення точки прив'язки (має форму перехрестя, взятого в квадрат).

Скопіювати виділену групу об'єктів можна послідовним виконанням команд **Edit/Copy**, **Edit/Past** або, що більш зручно, утриманням клавіші **Ctrl** при переміщенні миші.

Після розміщення декількох однакових об'єктів всім їм відразу можна привласнити однакові атрибути. Наприклад, вибравши один або декілька резисторів, після натиснення правої кнопки миші в меню, що відкрилося, вибирають команду **Properties** і вводять значення атрибута {Value} в результаті оновлюються значення цих атрибутів у всіх обраних резисторів.

6. Зміна позиційних позначень. Перед завершенням створення схеми доцільно перейменувати позиційні позначення компонентів по команді **Utils/Renumber**. У меню вибирають об'єкт перенумерації **RefDes** і порядок установлення позиційних позначень **Top to Bottom** (зверху вниз) або **Left to Right** (зліва направо, що співпадає з вимогами вітчизняних ЕСКД). При натисненні на клавішу **OK** позиційні позначення перенумеровуються в заданому порядку.

7. Збереження проекту. По команді **File/Save** відредагований проект зберігається в початковому файлі, по команді **File/Save As** проект зберігається в іншому файлі, причому попередньо можна вибрати його формат:

Binary Files – бінарний формат (.SCH);

ASCII Files – текстовий формат (.SCH).

Файли обох форматів мають одне і те ж розширення імені. SCH. Бінарний формат більш компактний і є основним, текстовий формат використовують для обміну даними з іншими програмами.

Хід роботи.

1. Уважно ознайомитися з додатком Б цих методичних вказівок.
2. Завантажити програму PCAD2001 і графічний редактор принципів схем PCAD2001 SCHEMATIC.

3. Налаштувати конфігурацію. Для цього, вибравши в меню команду **Options/Configure** у графах:

– **Workspace Size** вибрати формат аркуша схеми в європейській (A4, A3, ..., A0) системі.

– **Units** вибрати систему одиниць - (мм). Змінити систему одиниць можна на будь-якій фазі роботи зі схемою без втрати точності.

У меню **Option/Grids** установити крок сітки – 1мм. Поточне значення кроку сітки обирається курсором у списку Grids або, що більш зручно, безпосередньо з рядку станів.

Натискання клавіші **Defaults** призначає всім параметрам значення за замовчуванням, **OK** – внесення змін, **Cancel** – скасування змін.

4. Завантажити бібліотеку графічних зображень компонентів по команді **Library/Setup**:

DIODE.LIB – діоди

CONNECT.LIB – рознімання загального призначення

DISKRETE.LIB – різноманітні дискретні елементи

TRANS.LIB – транзистори

NAT LIN.LIB – аналогові мікросхеми

Імена бібліотек додають клавішею **Add** у список відкритих бібліотек (Open Libraries), а з допомогою клавіші **Delete** – видаляють.

5. Розмістити компоненти на схемі.

У режимі розміщення символів компонентів на схемі ввести команду **Place/Part** з меню команд, клацнувши курсором у будь-якій точці. На панелі **Library** указати ім'я однієї з відкритих бібліотек, а необхідний компонент – у вікні **Component Name**.

Натиснути клавішу **Browse**, для перегляду графічного зображення символу компонента.

На рядку **Value** проставити номінал компонента. Обраний компонент переносити на схему натисканням клавіші **OK**. Поки не відпущена ліва кнопка миші, символ переміщається по екрану, обертається на 90° і дзеркально відображається натисканням клавіш **R** і **F**, відповідно.

6. Розмістити на схемі електричні ланцюги.

Після вибору команди **Place/Wire**, щикликом миші відзначається початкова точка ланцюга й кожне натискання лівої кнопки миші фіксує точку зламу до кінцевої точки.

Електричне з'єднання пересічних ланцюгів позначається точкою (**Junction**), що автоматично проставляється на Т-подібних з'єднаннях.

Щоб проставити точку з'єднання пересічних ланцюгів, потрібно при введенні другого ланцюга клацнути курсором у точці перетинання, а потім продовжити побудову.

Options/Current Wire:

Thick (широка) – 0,381мм

Thin (вузька) – 0,254мм

User – встановлюється користувачем від 0,025 до 2,54мм.

Для зміни властивості ланцюга або компонент, необхідно вказати курсором на необхідний об'єкт і нажати праву кнопку миші. Вибрати пункт **Properties** (властивості) і у вікні, що розкрилося, задати необхідні властивості.

7. Виявити й виправити синтаксичні помилки. Перевірку_схеми виконують по команді [Utils/ERC](#).

8. Зберегти файл.

Контрольні питання

1. Які команди необхідно виконати для налаштування конфігурації?
2. Як розмістити компоненти на схемі?
3. Команди по зміні параметра компонента?

Лабораторна робота №3
**ФОРМУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ГРАФІЧНОГО РЕДАКТОРА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ
PCAD2001 PCB У СЕРЕДОВИЩІ PCAD2001**

Ціль роботи: отримати навички роботи із графічним редактором друкованих плат PCAD2001 PCB, виконати трасування друкованої плати (ДП) використовуючи схему електричну принципову розроблювального пристрою.

Теоретичні відомості

Програма PCAD2001 PCB має стандартний інтерфейс Windows з доданням команд, специфічних для системи PCAD2001.

Призначення піктограм дивиться в додатку В таблиця В1, а в таблиці В2 – список команд PCAD2001 PCB.

Після запуску редактора друкованих плат (ДП) PCAD2001 PCB потрібно настроїти його конфігурацію, обравши в меню **Options** команди **Configure, Display, Layers, Grids** та ін. Параметри конфігурації зберігаються разом з файлом поточного проекту і встановлюються за умовчанням для подальших сеансів проектування.

Розробка друкованих плат

Розробку нової друкованої плати починають з виконання команди **File/New** та настройки конфігурації. Далі на шарі **Board** по командах **Place/Line** і **Place/Arc** наноситься контур ДП. Програми PRO Route і SPECCTRA трасують тільки всередині цього контура (програма QuickRoute на нього не звертає уваги, а для програми PRO Route він необов'язковий). Контур ДП повинен являти собою замкнену лінію для трасувальника SPECCTRA, а автотрасувальник PRO Route замкне його сам. Перед розміщенням компонентів на плату в меню **Options/Grids** встановлюють крок сітки, зокрема, при розміщенні компонентів з штировими выводами звичайно задають крок 2,5 мм.

Якщо існує електрична принципова схема, виконана у графічному редакторі PCAD2001 SCHEMATIC, то оболонка PCAD2001 PCB дозволяє зробити автоматичну розводку друкованої плати. Для цього робиться файл списку з'єднань. Список з'єднань це список компонентів і ланцюгів з переліком номерів выводів, до яких

вони підключені. Він потрібен для процедури “упаковка схеми на друковану плату” – розміщення на полі ДП корпусів компонентів з вказівкою їх електричних зв'язків згідно з принциповою електричною схемою. Коли виконано «упаковку схеми на друковану плату» на основі цього файлу виконують автоматичне трасування плати. Зберігають файл розводки плати, а потім друкують необхідні шари розводки плати.

Хід роботи

1. Уважно ознайомитися з додатком В цих методичних вказівок.
2. Завантажити програму PCAD2001 Schematic і розроблену електричну схему.
3. Створити файл списку з'єднань. Для цього виконати команду **Utils/Generate Netlist** у форматі ACCEL ASCII.
4. Завантажити програму графічний редактор друкованих плат PCAD2001 PCB по команді **Utils/PCB**.
5. Налаштувати конфігурацію. Для цього в меню команди **Options/Configure** у графі **Units** вибрати систему одиниць (мм).
У меню **Options/Grids** установити крок сітки – 2,5мм. Поточне значення кроку сітки вибирають курсором у списку Grids або, що більш зручно, безпосередньо на рядку станів.
У меню **Options/Layers** при розведенні одnobічної друкованої плати залишають включеним один сигнальний нижній шар - Bottom, а при розведенні двосторонньої плати – Top і Bottom. Індивідуальні шари включають і виключають натисканням на панелі **Enable**, **Disable**. Всі шари (крім поточного) можна виключити натисканням **Disable All**, включити – натисканням **Enable All**.
6. Завантажити таку ж бібліотеку графічних зображень компонентів, яку використали при роботі програми PCAD2001 Schematic, по команді **Library/Setup**.
7. Упакувати схему на друковану плату. По команді **Utils/Load Netlist** завантажити файл списку з'єднань. У меню цієї команди вибираються наступні опції:
Netlist Filename – ім'я файлу
Netlist Format - вибір формату списку з'єднань: ACCEL ASCII
Розмістити компоненти на ДП із урахуванням мінімальних зв'язків.
8. Автоматично розвести ДП. По команді **Route/Autorouters** натиснути кнопку Start.
9. Установити необхідні товщини доріжок.

10. У шарі Board накреслити рамку ДП.
11. Підписати схему (назва й автор розробки).
12. При необхідності розмістити отвори для кріплення.
13. Зберегти файл.
14. Вивести на печатання ДП
 - трасування з отворами та розташованими елементами;
 - трасування з отворами без елементів.

Контрольні питання

1. Які команди необхідно виконати для настроювання конфігурації?
2. Команди по зміні параметра компонента?
3. Як упакувати схему на ДП?
4. Як виконати вивід схеми на печатання?

Лабораторна робота № 4
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ДЛЯ
ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ**

Ціль роботи: Освоїти технологію виготовлення друкованої плати з фольгованого склотекстоліту.

Теоретичні відомості

Друковані плати призначені для реалізації електричних з'єднань між різними елементами радіоелектронних пристроїв. На відміну від інших видів електричних з'єднань радіоелектронної апаратури друковані плати є конструктивними вузлами, на поверхні яких розташовані плоскі провідники різної конфігурації. На основі друкованої плати можна одержати безліч електричних з'єднань з абсолютно різними габаритними розмірами і поєднаннями рисунків провідних шарів залежно від апаратури, що розробляється, структурної схеми, типу елементів, що сполучаються, і їх взаємного розташування.

Залежно від кількості провідних шарів друковані плати можна розділити на односторонні, двосторонні і багатошарові. При розробці РЕА необхідно вибирати друковану плату, яка якнайповніше відповідає типу і функціональному призначенню пристрою, що розробляється.

Для виготовлення вузлів радио- і телевізійної апаратури переважно використовують односторонні плати. Двостороння друкована плата застосовується для підвищення щільності упаковки ЕРЕ і мікросхем у функціональних вузлах, а також для забезпечення дубльованого електричного монтажу. Багатошарові друковані плати застосовуються для істотного підвищення щільності упаковки апаратури, особливо бортової.

Методи отримання друкованих провідників. Існує цілий ряд методів отримання струмопровідних друкованих провідників. Найбільш поширеними методами в даний час є хімічний, електрохімічний (напівааддитивний), комбінований.

Хімічний метод полягає в тому, що на фольгований діелектрик з одного або двох боків наносять захисний шар позитивного рисунка схеми. Подальшим витравленням в розчині хлорного заліза або хлорній міді видаляють мідь з незахищених ділянок, і на

діелектрику виходить необхідна електрична схема провідників. За способами нанесення захисного покриття хімічний метод підрозділяють на фотохімічний, сіткохімічний, офсетнохімічний.

Хімічний метод застосовується для виготовлення односторонніх друкованих плат і внутрішніх шарів багатошарових ДП.

Електрохімічний (напіваадитивний) метод полягає в попередньому хіміко-гальванічному мідненні отворів і поверхні нефольгованого діелектрика, гальванічного нарощування струмопровідних ділянок і хімічного травлення шару попереднього міднення з пробільних місць. Залежно від способу отримання захисного рисунка схеми розрізняють наступні варіанти цього методу: фотоелектрохімічний, сіткоелектрохімічний.

Метод застосовується для виготовлення двосторонніх друкованих плат 3-го класу і зовнішніх шарів багатошарових ДП.

Комбінований метод друкованого монтажу полягає в отриманні провідників шляхом травлення фольгованого діелектрика і металізації отворів хіміко-гальванічним способом.

В даний час широко поширені два варіанти цього методу: позитивний і негативний. Метод застосовується для виготовлення односторонньої і двосторонньої друкарської плати 1-го і 2-го класів.

Перспективними для виробництва друкованих плат є адитивний метод і метод фотоформування.

Адитивний метод полягає в хімічному осадженні міді в зоні струмопровідних ділянок на нефольгований діелектрик з введеним каталізатором і адгезивним шаром. Застосовується для виготовлення одно- і двосторонніх друкованих плат.

Метод формоутворення полягає у відновленні на поверхні нефольгованого діелектрика з водних розчинів солей металів іонів, утворюючих рисунок завтовшки 0,2—0,5 мкм і у подальшому хімічному осадженні шару міді. Різні модифікації методу пов'язані з різними способами формування рисунка: фотоосадження металів, прояв і відновлення іонів, формування променем лазера та інші. Метод застосовується для виготовлення одно- і двосторонніх друкованих плат.

З перерахованих методів найбільш трудомісткими є комбінований позитивний і електрохімічний методи.

Нанесення рисунка на заготівку з просвердленими монтажними отворами вимагає застосування сухого плівкового фоторезиста при

фотохімічному способі, або сіткографічного способу отримання рисунка (рідкий фоторезист не прийнятний).

Геометричні параметри і точність друкованого монтажу безпосередньо залежать від методу виготовлення.

Методи виготовлення багатошарової друкованої плати

Існують наступні методи виготовлення багатошарових ДП: попарного пресування, металізації крізних отворів, пошарового нарощування, виступаючих виводів, відкритих контактних площадок і ін.

Класифікація методів виготовлення багатошарових ДП за способом отримання електричних міжшарових з'єднань показана на рис 4.1. Технологія виготовлення багатошарових ДП базується в основному на тих же процесах отримання рисунка друкованих провідників і створення електричних міжшарових з'єднань, які використовуються в техніці виробництва звичайних ДП.

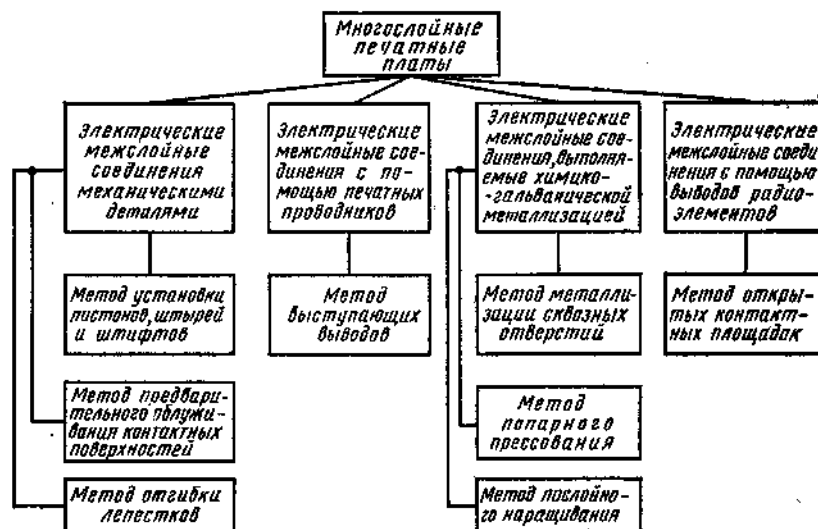


Рис. 4.1. Класифікація методів виготовлення багатошарових ДП

Проте вимоги до геометричних допусків і електричних параметрів багатошарових ДП часто бувають на порядок вище.

Матеріали для виготовлення ДП. З численних типів діелектриків у виробництві ДП в даний час застосовуються матеріали, характеристики яких приведені табл. 4.1.

При виборі матеріалу слід враховувати метод отримання друкованих провідників, надійність контактних з'єднань друкованих провідників з елементами, міцність зчеплення друкованих провідників з основою, товщину друкованих провідників, вимоги до теплостійкості, хімічної стійкості, до вологопоглинання,

діелектричній проникності (ϵ), до тангенса кута діелектричних втрат ($\operatorname{tg} \sigma$), тип основи, допустима кількість шарів, допустима кількість перепаювань, вартість матеріалів і ін.

Таблиця 4.1

Матеріал	Марка	Товщина		Область застосування
		фоль- ги, мкм	матеріалу з фольгою, мм	
Гетинакс фольгований	ГФ-1-35	35	1.5; 2.0; 2.5;	Односторонні та двохсторонні ДП
	ГФ-2-35		3.0	
	ГФ-1-50	50	1.0; 1.5; 2.0;	
	ГФ-2-50		2.5; 3.0	
Склотекстоліт фольгований	Сф-1-35	35	0.8; 1.0; 1.5;	Односторонні та двохсторонні ДП
	СФ-2-35		2.0; 2.5; 3.0	
	СФ-1-50	50	0.5; 1.0; 1.5;	
	СФ-2-50		2.0; 2.5; 3.0	
Склотекстоліт фольгований, що травиться	ФТС-1-20А	20	0.08; 0.15; 0.18;	Багатошарові та гнучкі друковані плати
	ФТС-2-20А		0.27; 0.50	
	ФТС-1-35А	35	0.10; 0.12; 0.190	
	ФТС-2-35А		.14; 0.23; 0.50	
Склотекстоліт	СТЄФ-1-2ЛК	-	1.0; 1.5	Двосторонні ДП, що виготовляються напівадитивним методом
Склотканина прокладкова	СПТ-3	-	0.025; 0.060	Багатошарові ДП

Примітка. У таблиці не приведені матеріали з особливими властивостями: гальваностійкі, теплостійкі підвищеної нагрівостійкості і ін.

Конструктивно-технологічні вимоги до друкованих плат.
Конструктивні і технологічні параметри ДП вельми різноманітні. Основні з них —геометрична форма, габаритні розміри, крок координатної сітки, мінімальна ширина друкованих провідників, мінімальна відстань між друкованими провідниками, мінімальний діаметр перехідних і монтажних отворів, мінімальна відстань між контактними майданчиками, опір друкованих провідників, допустима робоча напруга для провідників, допустима величина струму для друкованих провідників.

Залежно від геометричних розмірів розрізняють ДП наступних типів:

- особомалогабаритні, розміри яких не перевищують 60 x 90мм;
- малогабаритні, розміри яких не перевищують 120x180 мм;

середньогабаритні, розміри яких не перевищують 200x240 мм;
 великогабаритні, розміри яких не перевищують 240 x 360мм.

Друковані плати мають звично прямокутну форму. Розміри однієї із сторін рекомендується вибирати з наступного ряду: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240 мм.

При визначенні розміру другої сторони плати рекомендується вибирати наступні співвідношення сторін: 1:1; 1:3; 2:3; 2:5.

Таблиця 4.2

№ п/п	Найменування елемента	Умовне означ. елемент a	Розміри елемента, мм, для класів щільності друкованого монтажу		
			1-й клас	2-й клас	3-й клас
1	Ширина провідника	t_n	0,500	0,250	0,150
2	Відстань між провідниками, контактними майданчиками, провідником і контактним майданчиком, провідником і металізованим отвором	S	0,500	0,250	0,150
3	Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика	b_m	0,050	0,035	0,025
4	Відношення діаметру металізованого отвору до товщини плати	γ	0,500	0,400	0,300
5	Максимальне відхилення відстаней між центрами монтажних отворів, не більш ніж	Δ	$\pm 0,200$	$\pm 0,100$	$\pm 0,100$

Примітка. 3-й клас щільності провідного рисунка застосовується тільки для плат, що виготовляються напівадитивним методом.

Для плати з розміром більшої сторони до 180 мм допускається співвідношення сторін 1:4, а для плати з розміром більшої сторони до 360мм - 1:3.

По щільності друкованого монтажу плати прийнято ділити на три класи:

1-й клас - плати з найменшою щільністю друкованого монтажу;

2-й клас - плати з підвищеною щільністю друкованого монтажу;

3-й клас - плати з високою щільністю друкованого монтажу.

Мінімальні значення основних параметрів, що визначають щільність друкованого монтажу і точність виготовлення ДП, приведені табл. 4.2.

Щільність друкованого монтажу визначається кроком координатної сітки.

Залежно від механічних вимог і методу виготовлення номінальний розмір товщини ДП слід вибирати рівним: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Товщина багат шарової ДП визначається кількістю шарів, прокладок і технологією їх склеювання.

Центри монтажних отворів повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки, крок якої по ГОСТ 10317-72 рівний 1,25 або 2,5 мм. Діаметри монтажних і перехідних металізованих отворів залежно від діаметру виводу навісного елементу вибирають рівним: 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0 мм. Металізовані отвори на одно- і двосторонній ДП, а також на зовнішніх шарах багат шарової ДП з боку фольги повинні мати контактні майданчики. На внутрішніх шарах багат шарової ДП контактні майданчики повинні бути у отворів, електрично пов'язаних з провідниками шару. Контактні майданчики рекомендується виконувати круглої, прямокутної або близької до них форми. Металізовані отвори потрібно виконувати без зенкування. Неметалізовані отвори односторонньої ДП виконують із зенкуванням з боку, зворотного розташуванню рисунка друкованого монтажу.

Відстань між краєм провідника і краєм плати рекомендується витримувати рівною товщині матеріалу.

Хід роботи

1. Отриманий за допомогою програмного забезпечення PCAD2001 креслення трасування необхідно роздрукувати на лазерному принтері.

2. Підготувати підкладку з фольгованого склотекстоліту.

Для того, щоб підготувати підкладку, необхідно вирізати пластину потрібних нам розмірів. По стандарту пластини повинні бути розміром 600x400 одиниць або йому кратним. Склотекстоліт легко ріжеться як пилкою по металу, так і ножицями. Перед різанням необхідно намітити границі й після цього добре закріпити пластину в лещатах так, щоб вона не зміщлася й не пружинила.

Вирізати прямокутник потрібного розміру, ошлифувати крайки, дрібним наждаковим папером, зняти окалину й бруд з поверхні фольги.

3. Нанести малюнок.

Креслення прикладається активною стороною до підготовленої фольгованої стороні склотекстоліту й за допомогою термопреса

нагрівається до температури плавлення тонеру (250-300°C). Після видалення паперу за допомогою води, одержимо дзеркально відбитий малюнок друкованих провідників на фользі, надійно захищаючий її від хлорного заліза. Якщо якість роздруківки гарна, тонер переводиться без проблем, у противному випадку рекомендується навести доріжки лаком або спеціальним маркером.

4. Просвердлити отвори.

На отриману плату прикласти роздруковану схему з елементами та по цьому трафареті свердлити монтажні отвори.

Отвори свердлять свердлами, товщина яких визначається діаметрами отворів. Діаметри отворів креслять при розведенні плати, по найбільшій товщині виводів використовуваних елементів. Звичайно в цифрових, звукових і СВЧ- ланцюгах діаметр отворів становить 0,8 мм, у силових 1,0 – 1,2 мм. При монтажі опор, кріплень і радіаторів діаметр отворів розраховується відповідно до діаметрів болтів і шпильок, якими вони кріпляться.

5. Травлення плати.

Процедура травлення складається з поглиблення плати в розчин, що активно реагує з міддю. Звичайно це хлорне залізо, краще – азотна кислота, але на крайній випадок годиться суміш мідного купоросу із хлоридом натрію в пропорціях 1:1. Потрібно враховувати, що при травленні азотною кислотою рисунок друкованих провідників виконується нітролаком (наприклад, НЦ-221). Процедuru травлення необхідно виконувати у витяжній шафі або під витяжним зондом, щоб уникнути інтоксикації бурим газом.

Травлення в хлорному залізі проводиться в добре провітрюваному приміщенні, рекомендується перемішувати вміст посудини під час травлення, тому що скупчення продукту реакції на поверхні плати перешкоджає нормальному влученню туди хлорного заліза. При травленні в розчині розчиниться мідь, яка не покрита тонером.

Після травлення плату необхідно дістати з розчину й добре промити під проточною водою. Доріжки очищаються від тонеру що маскує, звичайно дрібним наждаком. Потім плату знежирюють розчинником або розчином каніфолі, що більш практично.

6. Лудіння.

Лудіння являє собою процес нанесення тонкого провідного захисного шару, що полегшує паяння та забезпечує захист мідних провідників від впливу різних негативних факторів, в основному від вологи. У результаті впливу води провідники окислюються,

втрачають цілісність, і пристрій виходить із ладу. Іноді лудять тільки місця паяння електронних елементів до друкованих провідників, а інше покривають лаком; це робить технологію виготовлення дешевше, але конструкцію – ненадійною при тривалому впливі підвищених температур, що сприяють руйнуванню лакового покриття.

Лудіння робиться оловом або сплавом Розе. У першому випадку необхідно використати каніфоль для кращого контакту олова з міддю. При лудінні необхідно уникати замикання оловом сусідніх доріжок. Після лудіння залишок каніфолі на платі легко змивається етиловим спиртом.

Контрольні питання

1. Які матеріали використовуються для підкладок в електронних схемах?
2. Які травителі використовуються для одержання малюнка на ДП?
3. Які міри безпеки необхідно дотримувати при роботі з кислотами й активними травителями?
4. Які міри безпеки необхідно дотримувати при роботі з електро механічним інструментом?

Лабораторна робота № 5
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МОНТАЖУ
НАВІСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ НА
ДРУКОВАНУ ПЛАТУ**

Ціль роботи: Освоїти технологію монтажу й паяння електронних компонентів на друковану плату.

Теоретичні відомості

Крім виготовлення друкованих плат, технологічний процес виготовлення виробів електронної техніки містить у собі технологічні процеси монтажу й зборки.

Навісні елементи на друкованій платі розміщуються з урахуванням електричних зв'язків і теплового режиму із забезпеченням мінімальних значень довжин електричних і паразитних зв'язків між навісними елементами. Необхідно прагнути до можливо рівномірного розподілу мас навісних елементів по поверхні кріплення плати з установкою елементів великої маси поблизу місць механічного кріплення плати.

Методи збірки

Паяння, зварка і склеювання є основними методами виконання складальних операцій: монтаж кристалів і платні, під'єднування дрютяних висновків, герметизація корпусів.

Паяння. Процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей шляхом нагріву і подальшого охолодження за наявності між ними проміжного матеріалу – припою називається паянням.

При нагріві до температури плавлення припою між ним і деталями, що сполучаються, одночасно відбуваються: розчинення матеріалів, що сполучаються, в початковому припої, дифузія припою в матеріали, що сполучаються, з утворенням твердого розчину, хімічна взаємодія припою з матеріалами деталей, що сполучаються, з утворенням інтерметалевих з'єднань.

Поверхні деталей, що сполучаються, повинні бути ретельно очищені від оксидів і забруднень. Температура отримання паяного шва повинна бути по можливості невисокій, щоб не погіршити параметри готових структур.

Залежно від температури плавлення припою розрізняють паяння низькотемпературну (до 450 °C) і високотемпературну (понад 450 °C).

До м'яких або низькотемпературних припоїв відносяться сплави олова з свинцем (ПОС-40: 40% Sn + 60% Pb; ПОС-61: 61% Sn + 38,2% Pb + 0,8% Sb), олово з вісмутом (ПОВи-05: 99,6...99,4% Sn + 0,4...0,6% Bi) і ін.

До твердих припоїв відносяться сплави на основі срібла (ПСр-45: 45% Ag + 30% Cu + 25% Zn; ПСр-72: 72% Ag + 28% Cu) і ін.

Інтенсифікацію паяння забезпечують флюси, тиск на деталі, що спаюються, ультразвукові коливання, коливання промислової частоти і ін.

Флюси застосовують для поліпшення змочування припоєм поверхонь, що сполучаються. Проте флюси в процесі паяння вносять забруднення, тому їх застосовують в окремих випадках. Звично паяння виконують без флюсів, але у відновлювальному (H₂) або інертному (аргон, криптон, гелій) середовищі.

Режим паяння задається такими параметрами: максимальна температура, швидкість нагріву, час витримки при максимальній температурі, тиск на деталі, що сполучаються, швидкість охолодження деталей.

Послідовність проведення технологічного процесу монтажу визначається по кресленню. Установку елементів проводять при надягнутому на руку антистатичному браслеті.

Після установки елементів на плату, проводиться пайка хвилею припою на установці АП-4. Паяні плати миють на установці МПУ-70 і сушать у сушильній шафі СНОЛ.

Ті елементи, які необхідно паяти вручну, паяють за допомогою електропаяльника.

З'єднання деталей виконують встик, унахлест і комбінованими способами.

Зварка. Зварка при збірці ІМС постійно витісняє паяння. Зваркою називають процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей без участі припою в результаті їх зближення на відстань автономної взаємодії.

Зварка може виконуватися з нагрівом і без нагріву, за наявності і відсутності зусилля, що стискає, а також з одночасною дією нагріву і зусилля, що стискає.

При збірці ІМС використовуються наступні способи зварки: термокомпресійну, непрямим імпульсним нагрівом, ультразвукову, здвоєним електродом, лазерну точкову і шовну, електронно-променеву, холодну, електроконтактну, аргонно-дугову.

Склеювання. Клейові з'єднання не вимагають складного устаткування, легко виконуються, але не завжди забезпечують хорошу якість контакту.

Розрізняють струмонепровідні і струмопровідні клеї.

Міцність клейового з'єднання залежить від якості підготовки поверхонь, що склеюються, товщини клеїв, правильності вибору режиму, якості клеїв. Для операції збірки застосовують клеї на основі епоксидних смол, поліаміду і ін.

Хід роботи

1. На початку роботи, відповідно до специфікації креслення, комплектуються технологічні прокладки. Всі елементи на платі встановлюються на технологічні прокладки за винятком тих, які клеяться.

2. Лудіння конденсаторів і резисторів здійснюється в тиглі. Перед тим, як ставити елементи, їх формують відповідно до креслення. Ставити елементи необхідно з підгинанням ніжок, після чого їх обрізають до 1 мм ножицями. При цьому в мікросхемах підгинають лише чотири ніжки, контролюючи положення ключа.

3. Пайка проводиться паяльником, яким наноситься доведене до температури плавлення олово на обидві поверхні, що спаюють. Важливо не кількість олова на місці паяння, а якість його кріплення до обох провідників. Тому в технології паяння використовується каніфоль, що наноситься разом з оловом і забезпечує максимальний контакт і кріплення олова до поверхонь, що спаюють. При паянні таких матеріалів, як сталь або алюміній замість каніфолі застосовується більш ефективна в цих випадках фосфорна кислота.

При паянні потрібно враховувати, що багато напівпровідникових приладів навіть при незначному перегріві можуть вийти з ладу, тому варто уникати монтажу малопотужних елементів із сильно вкороченими виводами, і якщо це можливо, припаювати елемент із уже прикріпленим тепловідводом, польові транзистори монтувати тільки паяльником із заземленим жалом і з закороченими між собою виводами. Мікросхеми, виконані по КМДП- і КМОП- технологіям також вимагають особливої уваги під час паяння; кращим варіантом при їхньому монтажі є використання спеціальних панельок, що впаюють безпосередньо в плату, у які потім вставляється мікросхема. Не рекомендується тримати паяльник на місці паяння більше 2-х секунд, якщо компонент перегрівся,

необхідно почекати падіння його температури до значення навколишньої.

4. Після монтажу плати, видаляють технологічні прокладки, миють і сушать плату. Готові плати надходять на випробування.

Контрольні питання

1. Які матеріали використовуються для технологічних прокладок в електронних схемах?

2. Які матеріали використовуються при лудінні та паянні?

3. Які міри безпеки необхідно дотримувати при роботі із цими матеріалами?

4. Які міри безпеки необхідно дотримувати при роботі з електротермічним інструментом?

Лабораторна робота № 6
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАНЬ
ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

Ціль роботи: навчитись збирати схему для проведення перевірки електронного пристрою.

Теоретичні відомості

Технологічні випробування електронних пристроїв діляться на кліматичні, механічні і електричні.

При кліматичних випробуваннях електронні пристрої перевіряють на термоциклування, волого-, тепло- і холодостійкість.

При механічних випробуваннях на удар і вібростійкість перевіряють механічну міцність конструкції і внутрішньосхемних з'єднань електронних пристроїв.

При електричних випробуваннях проводиться струмове тренування, перевіряється функціонування електронних пристроїв при підвищеній і зниженій напрузі, виконується вимірювання електричних параметрів електронних пристроїв.

Кліматичні випробування:

1. Термоциклування включеного пристрою.

Теплові умови випробування: гранична температура навколишнього середовища -40°C і $+125^{\circ}\text{C}$ з витримкою по 8 годинників при кожній температурі в течії 500 годин.

Потенційні види відмов: обрив, коротке замикання, відхід параметрів.

Можливі відмови: дефекти провідників і приварки провідників, порушення посадки кристала, спінювання ізолюючого гелю, порушення цілісності корпусу, порушення стабільності параметрів.

2. Дія соляним туманом.

Випробування на дію атмосфери соляного туману, що імітує атмосферу морського побережжя.

Можливі відмови: корозія пристрою.

Механічні випробування:

1. Механічний удар.

Теплові умови випробування: дія на пристрій (датчик серії MPX5000) прискорення 3000д по 5 разів в кожній з 6 осей орієнтації.

Потенційні види відмов: (ті ж).

2. Дія вібрації.

Теплові умови випробування: дія на пристрій вібрації з логарифмічно змінній від 100 Гц до 2 кГц частотою в перебігу 4 циклів по кожній осі по 4 хвилини в кожному циклі (для МРХ5000).

Потенційні види відмов: (ті ж).

Можливі відмови: порушення цілісності кристала, цілісності корпусу, порушення стабільності параметрів.

Після того, як всі деталі спаяні та пайка візуально перевірена, можна приступати до перевірки плати на працездатність.

1. Хід роботи.

1. Зібрати схему із джерела живлення, джерела досліджуваного сигналу та осцилографа.

Джерело живлення підключити до виводів живлення операційного підсилювача, джерело сигналу - до входу плати, а з виходу знімаємо отриманий сигнал.

2. Якщо схема є мультівібратором, тобто автогенератором коливань, причому частота цих коливань входить у діапазон частот сприйманих вухом, то можна підключити даний пристрій до УЗЧ і з'ясувати чи працює.

3. Замалювати отримані сигнали.

Якщо всі операції проведені правильно і помилок не було, реальна осцилограма буде мало відрізнятися від осцилограми модельованої схеми.

Контрольні питання

1. Чи збігаються характеристики, отримані при моделюванні із практично отриманими даними?

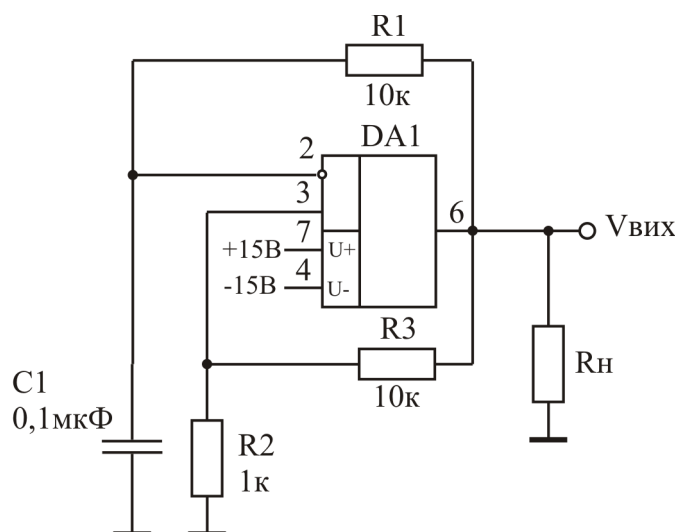
2. Чому можливі відхилення в отриманих практично характеристиках?

3. Які міри безпеки необхідно дотримувати при роботі з електровимірювальними приладами?

ЛИТЕРАТУРА

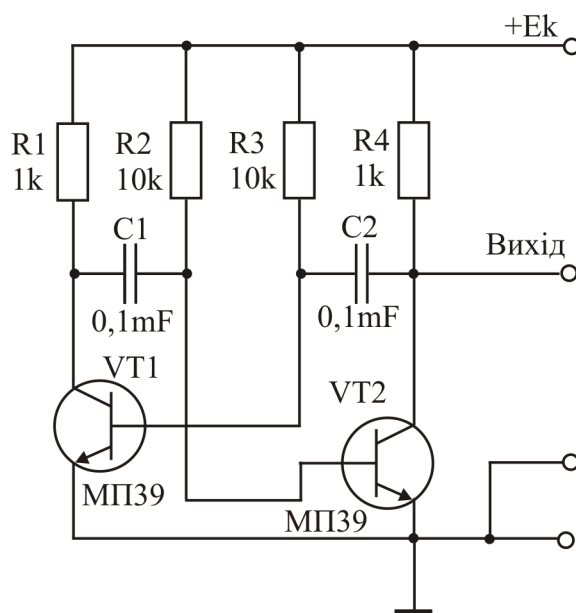
1. Фролов А.Д. Радиодетали и узлы. Учеб. пособие для спец. вузов «Конструирование и производство радиоаппаратуры». -М., Высшая школа, 1975, - 440с.
2. Мазур А.И., Алехин В.П., Шоршоров М.Х. Процессы сварки и пайки в производстве полупроводниковых приборов. -М.: Радио и связь, 1981, -224 с.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap V. – М.: «Солон», 1997, - 273 с.
4. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1987. – 464с.
5. Ефимов И.Е. и др. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность. Учебн. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1977. – 416с.
6. Малышева И.А. Технология производства интегральных микросхем. - М.: Радио и связь, 1991. – 344с.
7. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 400с.
8. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем.: Учебн. пособие. – М.: Высш. шк., 1989. – 320с.
9. Колобов Н.А. Основы технологии электронных приборов. – М.: Высш. шк., 1980.
10. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 528с.
11. Сборник задач и упражнений по технологии РЭА.: Учебн. пособие. – М.: Высш. шк., 1982. – 255с.

Схема № 1



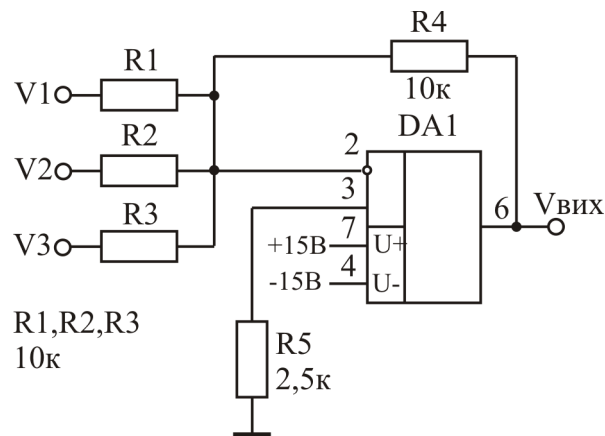
Генератор прямокутових коливань
Можна використати ОУ типа К157УД1 з типовими ланцюгами корегування

Схема № 2



Мультивібратор.

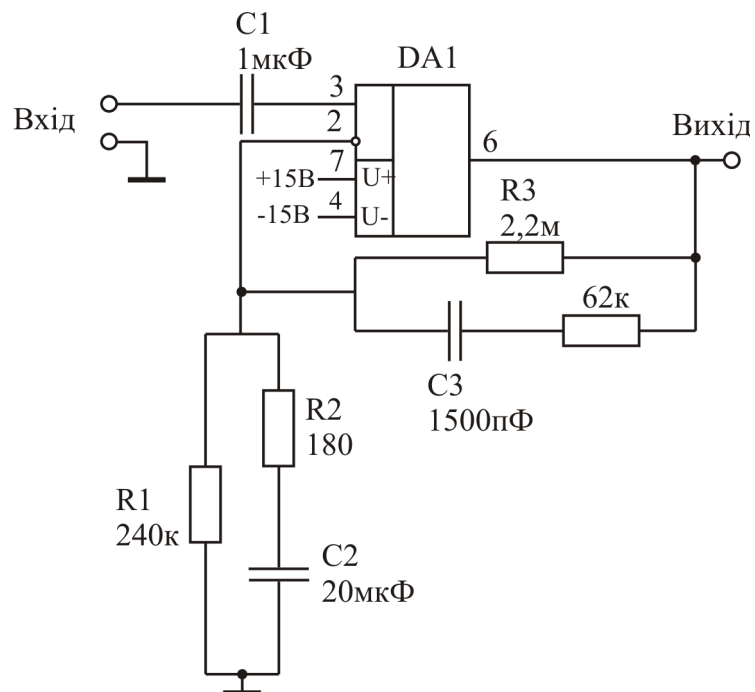
Схема № 3



Прецизійний підсумовуючий підсилювач, що не вимагає налаштування.

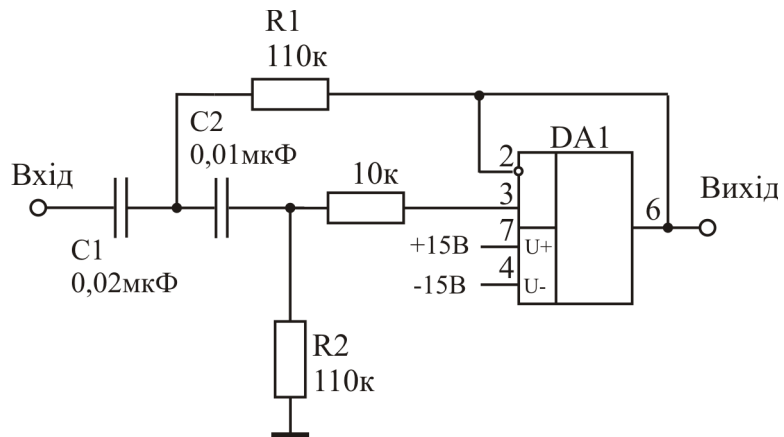
Можна використовувати ОУ типу К140УД17

Схема № 4



Типовий підсилювач для магнітофонного програвача.
Можна використовувати ІМС типу К538УН1А

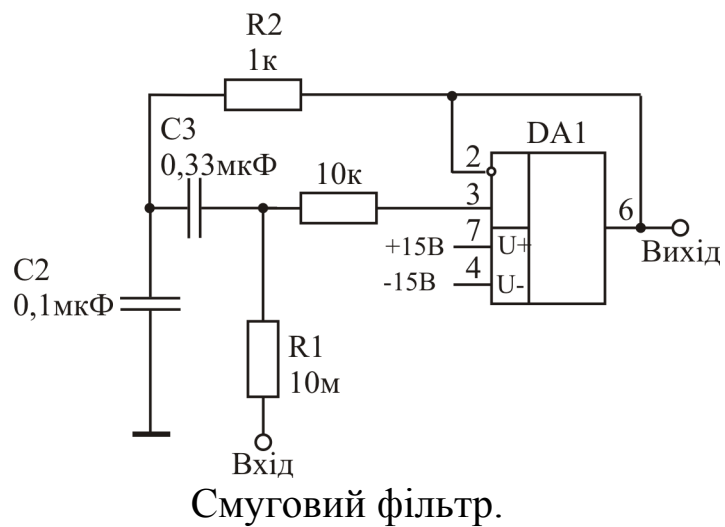
Схема № 5



Активний фільтр верхніх частот

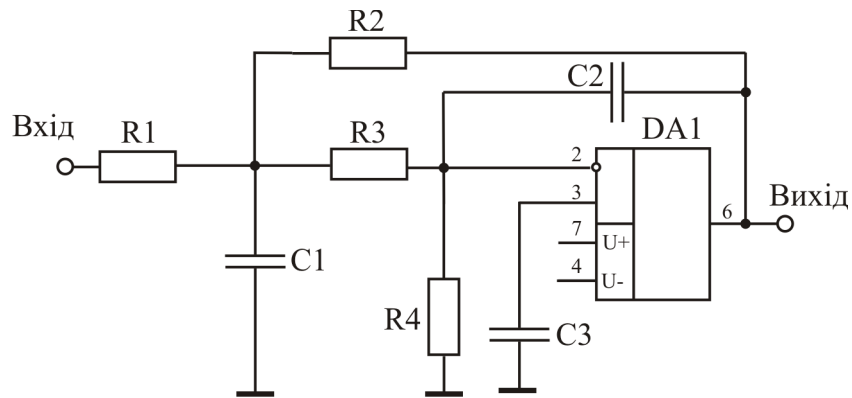
- номінали елементів наведені для частоти 100 Гц. Для поліпшення температурної стабільності необхідно використовувати металізовані полікарбонатні конденсатори.

Схема № 6



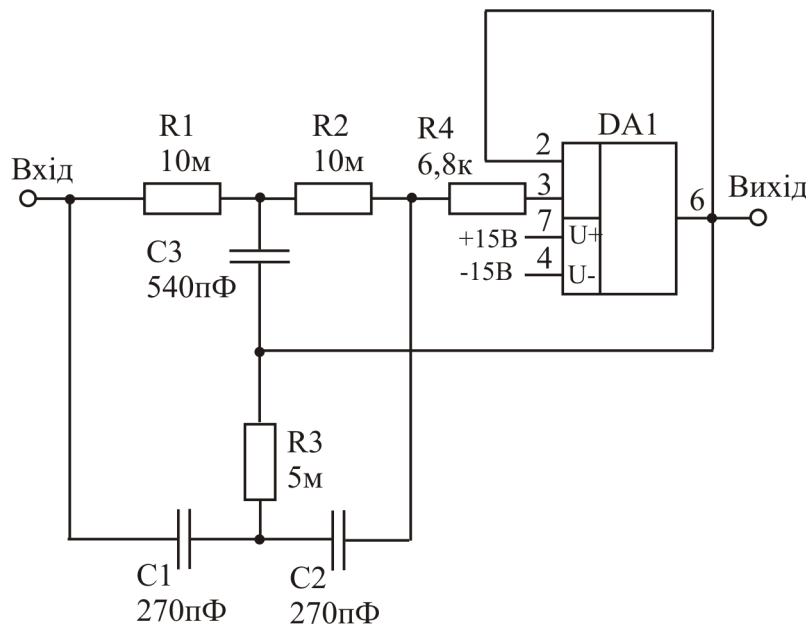
Смуговий фільтр.

Схема № 7



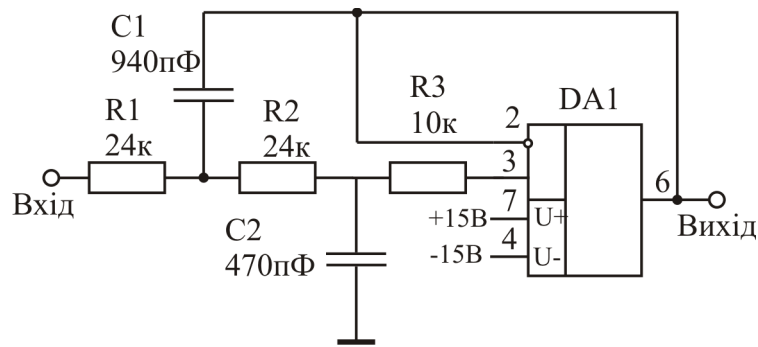
Активний фільтр нижніх частот.
Можна використовувати ІМС К548УН1А (у типовому включенні)

Схема № 8



Загороджувальний фільтр із високою добротністю.
Можна використовувати ОУ типу К140УД17 у відповідному включенні.

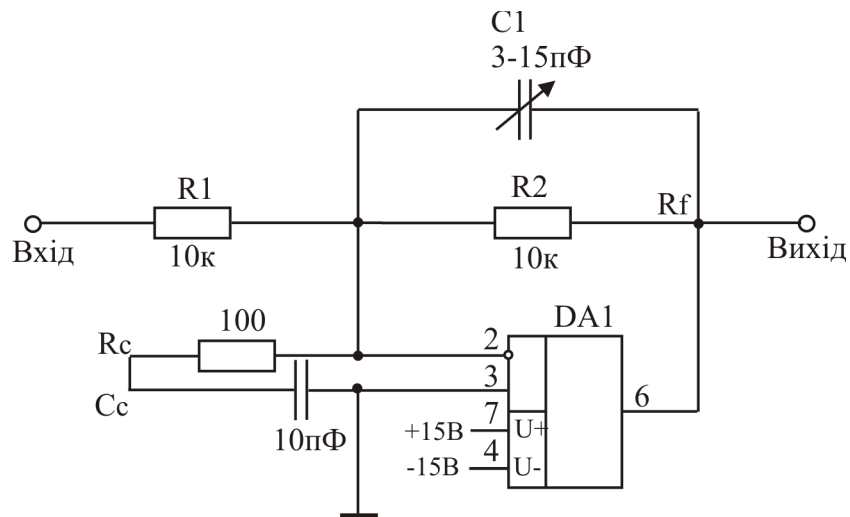
Схема № 9



Активний фільтр нижніх частот.

- Номінали елементів дані для частоти 10 кГц. Для поліпшення температурної стабільності необхідно використовувати слюдяні конденсатори з посрібленими обкладками

Схема № 10



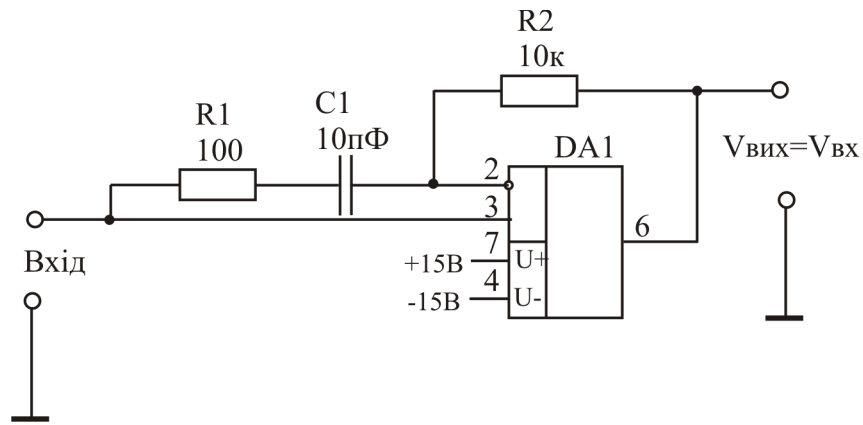
Пристрій, що інвертує.

Пояснення 1. Для захисту входів від перевантаження підключити до входів два включених назустріч кремнієвих діоди.

2. Компенсація діє при коефіцієнті підсилення не менш 40дБ; при коефіцієнті підсилення менш 40дБ компенсації не потрібно.

3. Резистори повинні бути металоплівковими, а конденсатор С — керамічним. Можна використовувати ОУ К 1408УД1.

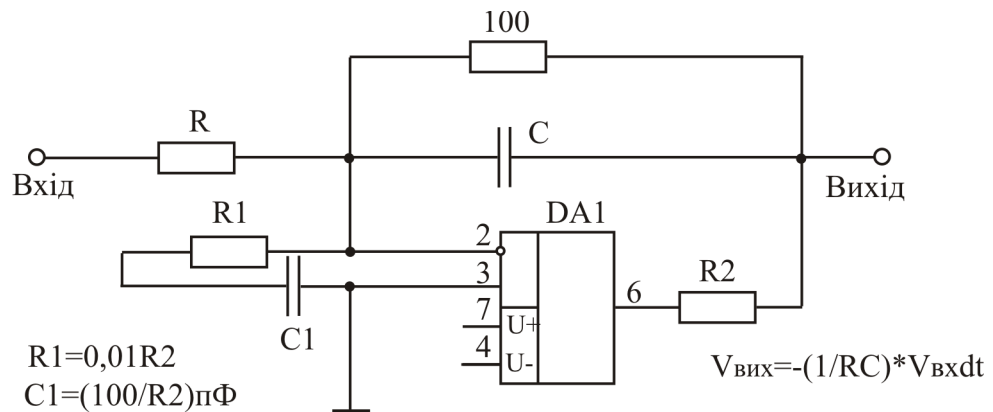
Схема № 11



Повторювач напруги.

Можна використовувати ОУ типу К 1408УД1.

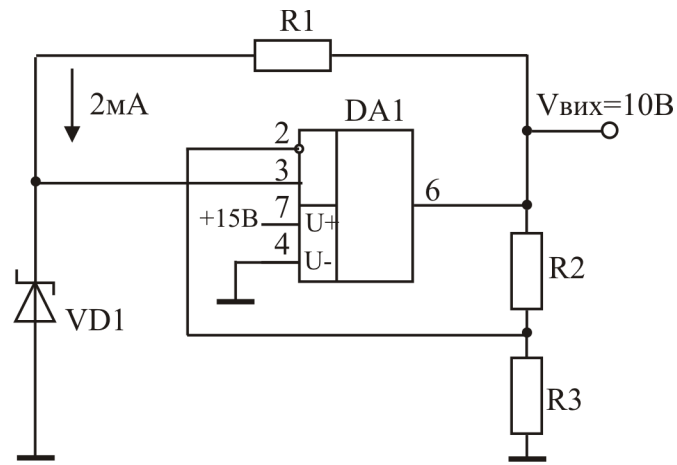
Схема № 12



Інтегратор.

Можна використовувати ОУ типу К1408УД1.

Схема № 13



Високостабільне джерело опорної напруги.

VD1 – прецизійний стабілітрон $6,4\text{В} \pm 5\%$ с $\text{TKV}_{\text{ст}} = 5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Можна використовувати ОУ типу К1534Д5 і стабілітрони Д818Е та КС191Ф при відповідному розрахунку номіналів R1 – R3

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКАРСЬКИХ ПЛАТ PCAD2001

Система PCAD2001 призначена для проектування багатошарових друкованих плат (ДП) аналогових, цифрових і аналогово-цифрових пристроїв. Вона складається з чотирьох основних модулів PCAD2001 Library Manager, PCAD2001 Schematic, PCAD2001 PCB, PCAD2001 Autorouters і ряду допоміжних програм.

PCAD2001 Library Manager (Менеджер бібліотек. PCAD2001 бібліотеки містять графічну інформацію про символи і типові корпуси компонентів і текстову інформацію (число секцій в корпусі компонента, номери і назви виводів, коди логічної еквівалентності виводів і т.п.).

PCAD2001 Schematic і PCAD2001 PCB (Графічні редактори принципів схем і ДП. Мають сучасні системи впливаючого меню в стилі інших програм для Windows, командам що найчастіше зустрічається призначені піктограми.

Графічний редактор друкованих плат PCAD2001 PCB викликається автономно, або з редактора схем PCAD2001 Schematic. У останньому випадку автоматично укладається список з'єднань схеми і на поле ДП переносяться зображення корпусів компонентів з вказівкою ліній електричних з'єднань між їх виводами — ця операція називається *упаковкою схеми на друкарську плату*. Потім накреслюється контур ДП, у ньому розміщуються компоненти і проводиться трасування провідників.

Автоматичне трасування викликається з керуючої оболонки PCAD2001 PCB, де проводиться настройка стратегії трасування. Дуже зручно, що інформацію про особливості трасування окремих ланцюгів можна за допомогою стандартних атрибутів ввести на етапах створення принципової схеми або ДП. До них відносяться атрибути ширини траси, ознака заборони розриву ланцюга в процесі автотрасування, ознака заздалегідь розведеного і зафіксованого ланцюга та ін.






Графічний редактор схем PCAD2001 Schematic. Основні характеристики:
















1. не більше за 99 листів схем в проекті, максимальний розмір листа 60х60 дюймів;
2. підтримка стандартних форматів A-E, A0-A4 і форматів, що задаються користувачами;
3. дискретність кута повороту компонента 90°;
4. складання списків з'єднань схем в форматах PCAD2001, P-CAD, Tango, FutureNet, PSpice і EDIF 200;
5. контроль помилок у принципових схемах;
6. перехресні зв'язки між PCAD2001 Schematic і PCAD2001 PCB дозволяють для обраного на схемі елемента електричного кола висвітлити на ДП відповідний провідник і навпаки.

Призначення піктограм приведені в таблиці Б.1, а в таблиці Б.2 наданий список команд PCAD2001 Schematic.


Велику частину екрана займає *робоче вікно*, призначене для введення креслень схем або ДП в графічних редакторах, або текстовій інформації в менеджері бібліотек.







Таблиця Б.1














Піктограма	Еквівалентна команда	Піктограма	Еквівалентна команда
Системні команди			
	Edit/Select (вибрати об'єкт)		Edit/Past (розташувати на схемі об'єкт з буферу обміну)
	File/New (створити нову схему)		Edit/Undo (відмінити останню команду вилученого об'єкту)
	File/Open (загрузити існуючу схему)		Rewire/Manual (редагувати ланцюг – вставити точку зламу)
	File/Save (зберегти файли схеми)		Utils/Rename Net (перейменувати ланцюг)
	File/Print (вивести схему на принтер)		Edit/Measure (змінити відстань)
	Edit/Cut (вилучити вибраний об'єкт)		View/Zoom Window (вивести на весь екран зображення у вікні)

	Edit/Copy (копіювати об'єкт в буфер обміну)		Utils/Record ECOs (почати/закінчити запис файла змін .ECO)
Команди розміщення			
	Place/Part (розмістити компонент)		Place/Polygon (розмістити полігон)
	Place/Wire (розмістити ланцюг)		Place/Point (розмістити точку прив'язування символу компонента)
	Place/Bus (розмістити шину)		Place/Text (розмістити текст)
	Place/Port (розмістити порт)		Place/Attribute (розмістити атрибут)
	Place/Pin (розмістити вивід)		Place/Field (розмістити строку даних)
	Place/Line (розмістити лінію)		Place/IEEE Symbol (розмістити символ функціонального блока)
	Place/Arc (розмістити дугу)		

Таблиця Б.2

Команда		Призначення
Меню File (Файли)		
New (Ctrl+N)		Очищення вікна для створення нової схеми. Значення всіх параметрів (стилі, розміри листів і т. п.) встановлюються за умовчанням
Open...	(Ctrl+O)	Відкриття (загрузка) існуючого файлу схеми (розширення .SCH мають бінарні та текстові файли ACCEL Schematic, бінарні файли схем P-CAD 8.0, 8.5; .CFG - файли конфігурацій DESIGN.CFG системи P-CAD для завантаження багатосторінкових схем)
Close		Закриття поточного вікна
Save	(Ctrl+S)	Збереження внесених змін у поточному файлі
Save As...		Збереження внесених змін у новому файлі, формат (бінарний, текстовий і ін.) та ім'я якого вказують по додатковому запиту
Print	(Ctrl+P)	Виведення на периферійний пристрій однієї чи декілька схем
Print Setup...		Конфігурація виводу на периферійні пристрої
Exit (Alt+F4)		Завершення роботи
Меню Edit (Редагування)		
Undo (Ctrl+Z или U)		Скасування останньої закінченої команди зміни схеми

		(включаючи команду Undo). Для скасування введення послідовності сегментів лінії використовують клавішу <i>Backspace</i>
Cut (Ctrl+X)		Видалення обраних об'єктів і поміщення їх у буфер обміну Windows
Copy (Ctrl+C)		Копіювання обраних об'єктів у буфер обміну Windows для наступного розміщення на схемі й в інших програмах по команді Past
Copy to File...		Копіювання обраного фрагмента схеми у файл
Past (Ctrl+V)		Розміщення вмісту буфера обміну Windows, що занесено по командах Cut чи Copy програм PCAD2001 Schematic чи PCAD2001 PCB
Move By Ref Des		Пошук і вибір компонента схеми, що знаходиться на поточному листі, по заданому позиційному позначенню
Properties...		Перегляд і редагування характеристик обраних об'єктів
Delete (Del)		Видалення обраних об'єктів
Copy Matrix...		Копіювання обраного об'єкта по горизонталі і/чи по вертикалі
Align Parts		Вирівнювання компонентів
Select All		Вибір всіх об'єктів поточного листа схеми
Deselect All		Скасування вибору всіх обраних раніше об'єктів
Highlight		Фарбування обраного об'єкта в один із двох кольорів, установлених по команді Options/Display/Display Colors. Колір змінюється після виконання цієї команди і виявляється після скасування вибору об'єкта
Unhighlight		Скасування фарбування обраних раніше фарбованих об'єктів, повернення їм колишнього кольору
Unhighlight All Parts...		Скасування фарбування усіх раніше фарбованих об'єктів
Nets...		Редагування атрибутів обраного ланцюга, зміна імені та видалення ланцюга чи шини. Можливий вибір ланцюга зі списку і перехід по схемі до зазначеного вузла
Measure		Вимір відстані між двома будь-якими визначеними на схемі крапками
Select (S)		Включення режиму вибору об'єктів
Меню View (Перегляд)		
Redraw		Перекреслювання активного вікна (переривання натисканням правої клавіші миші чи Esc)
Extent		Зміна масштабу зображення так, щоб всі об'єкти активного вікна цілком розмістилися на екрані
Last		Виведення попереднього зображення екрана
All		Зміна масштабу зображення так, щоб все активне вікно цілком розмістилося на екрані
Center (C)		Перекреслювання екрана з центруванням його зображення щодо розташування курсору. Натискання клавіші C дозволяє перемістити екран, не перериваючи

Zoom In (сірий +)		поточну команду Збільшення масштабу зображення (центр полю зору вказують курсором, коефіцієнт масштабування Zoom Factor встановлюють у меню Options/Configure)
Zoom Out (сірий –)		Зменшення масштабу зображення (центр полю зору вказують курсором, коефіцієнт масштабування Zoom Factor встановлюють у меню Options/Configure)
Zoom Window (Z)		Виведення на весь екран обрмованої частини зображення
Меню Place (Розміщення)		
Part		Розміщення на схемі символу компонента. Попередньо по команді Library/Setup потрібно відкрити бібліотеку, в якій міститься потрібний компонент
Wire		Розміщення на схемі провідника (ланцюга). Символ обертається і дзеркально відбивається при натисканні клавіш R і F .
Bus		Розміщення на схемі шини (лінії групового зв'язку)
Port		Розміщення на схемі порту, що позначає з'єднання між сегментами одного й того ж ланцюга, що можуть бути рознесені на схемі. Ім'я ланцюга вказується при розміщенні порту
Pin		Розміщення на схемі виводу символу компонента
Line		Розміщення на схемі лінії поточної ширини (лінії являють собою графічні об'єкти, що не забезпечують електричного з'єднання). Щигликом лівої клавіші миші відзначають початок лінії і наступні точки злам, завершують побудову щигликом правої клавіші
Arc		Розміщення на схемі дуги чи окружності поточної ширини (не забезпечують електричного з'єднання). Для нанесення окружності щигликом лівої клавіші миші відзначають крапку на окружності і повторним щигликом відзначають її центр. Для нанесення дуги щигликом лівої клавіші миші відзначають крапку на окружності і, не відпускаючи клавішу, вичерчують хорду дуги і відпускають клавішу, після цього повторним щигликом із утриманням клавіші переміщують курсор, розтягуючи дугу до потрібних розмірів
Polygon		Розміщення на схемі зафарбованого багатокутника (полігона), що не забезпечує електричного з'єднання
Ref Point		Розміщення крапки прив'язки символу компонента
Text		Введення тексту (можливе підключення кириличних шрифтів True Type)
Attribute		Введення атрибутів
Field		Розміщення рядка даних (дата, час створення схеми,

	автор та ін.)
Меню Rewire (Зміна ланцюга)	
Manual	Швидке редагування сегмента ланцюга
Меню Options (Настроювання параметрів)	
Configure...	Настроювання конфігурації (розмір листа схеми A-E, A0-A4, системи одиниць, припустимі кути та ін.)
Grids...	Визначення наборів сіток, установка абсолютної чи відносної сітки, введення початку координат відносної сітки, видимість сітки, характер ліній сітки
Display...	Установка кольорів фарбування різних об'єктів, типу курсору, графіки приєднання провідників до шини та ін.
Net Classes...	Визначення класів ланцюгів
Sheets...	Вибір листа схеми, додавання/модифікація імені, видалення аркушів схеми
Current Line...	Завдання ширини і стилю поточної лінії або дуги, що розташовані по командах Place/Line, Place/Arc
Text Style...	Завдання стилю тексту (ім'я стилю, висота, товщина ліній та ім'я шрифту)
Меню Library (Бібліотека)	
New...	Створення нової бібліотеки компонентів
Alias...	Призначення псевдонімів (додаткових чи альтернативних імен) компонентам, символам і корпусам
Copy...	Копіювання члена бібліотеки з одного файлу в інший
Delete...	Видалення члена бібліотеки чи його псевдоніма
Rename...	Перейменування символу чи компонента
Setup...	Відкриття файлів бібліотек, у яких знаходяться компоненти схеми
Меню Utils (Утиліти)	
Renumber...	Перейменування позиційних позначень чи номерів виводів компонентів (Top to Bottom - зверху вниз, Left to Right – зліва праворуч, відповідно до вимог ЕСКД)
Force Update...	Заміна всіх компонентів обраного типу першим компонентом того ж типу, що знаходиться у відкритій бібліотеці
ERC...	Виконання перевірки принципової електричної схеми Electrical Rules Checking (ERC)
Record ECOs...	Включення/вимикання режиму запису файлу змін схеми Engineering Change Order (ECO) для подальшого коректування
Import ECOs...	Читання файлу ECO для коректування поточної схеми
Export ECOs...	Збереження файлу коректування ECO у будь-який момент, не чекаючи збереження файлу схеми
Generate Netlist...	Створення файлу списку електричних зв'язків у форматах ACCEL, Tango, FutureNet, P-CAD, EDI 2.0.0 і PSpice
Rename Net	Перейменування одного чи більш ланцюгів
ACCEL PCB...	Виклик програми ACCEL PCB

Меню Window (Вікно)	
N ew Window	Відкриття нового вікна
C ascade	Каскадне розташування відкритих вікон
T itle	Послідовне розташування відкритих вікон



Загальний розмір схеми встановлюється по команді **Options/Configure/Workspace Size**, розмір видимого вікна по командах групи **View/Zoom** та за допомогою ліній прокрутки.


Знизу від робочого вікна розташований *рядок повідомлень*. Коли повідомлень системи нема, цей рядок пустий.

У найнижчій частині екрана графічних редакторів розташований *рядок станів*. Призначення полів зліва направо:


Координати X, Y. Числа на початку рядка станів вказують поточні координати курсору при його переміщенні в робочому вікні.

Кнопки перемикавання типу сітки **Abs** **Rel**. Абсолютна сітка (вибрана кнопка Abs на білому фоні) має початок координат в нижньому лівому кутку робочої області. Відносна сітка (кнопка Rel на кольоровому фоні) може мати початок координат в будь-якій вибраній точці робочої області. Початок координат відносної сітки вказують курсором після переходу в режим Rel, якщо на панелі команди **Options/Grids** включений режим **Prompt for Origin**. Вигляд сітки також можна змінювати натисненням клавіші **A**. Відносна сітка може мати інший крок, ніж абсолютна сітка.

Праворуч від кнопок перемикавання типу сітки розташовується панель **кроку сітки** **2.5** . Натиснення кнопки вибору  розгортає список значень кроків сітки в якому курсором відмічають потрібне значення. Для додання в список нового кроку сітки на панелі вводять його значення і натискають клавішу **Enter**.

Ширина лінії **0.25mm** . Ця панель дублює команду **Options/Current Line** для швидкого вибору ширини лінії, що виконується по командах **Place/Line**, **Place/Arc** (зверніть увагу, що ширина ліній електричних кіл, викреслених на схемі по команді **Place/Wire**, не регулюється). Поточна ширина лінії відображується на панелі разом з префіксом, що вказує на розмірність системи одиниць (mil – милі, mm – міліметри, in – дюйми). При натисненні кнопки вибору з'являється список значень ширини лінії. Для додання в список ще одного значення, панель активують щигликом курсору. Тип лінії (суцільна – Solid, штрихова – Dashed, пунктирна – Dotted) встановлюють по команді **Options/Current Line/Style**.

Розміщення об'єктів на схемі виконується за допомогою команд меню **Place**, які дублюються піктограмами.

Перехід в *режим вибору об'єктів* проводиться натисканням на піктограму , або натисненням клавіші **S**. Одиночний об'єкт обирають щигликом миші, після чого він змінює забарвлення і його ім'я та інші дані виводяться у рядку інформації. Вибір вказаних раніше об'єктів при цьому відміняється. Якщо є декілька *закриваючих* один одного об'єктів, повторне натиснення мишею забезпечує доступ до нижнього об'єкта. Для додання або видалення вибраних об'єктів треба, перед щигликом мишею, натиснути клавішу **Ctrl**. Натиснення миші в області де немає ніяких об'єктів відмінює вибрані об'єкти.

У PCAD2001 можливо *обирати один елемент складного об'єкта*, наприклад, вибрати виведення компонента. Для цього перед щигликом миші натискають на клавішу **Shift**. Далі щигликом правої кнопки миші відкривають спливаюче вікно редагування. Нижче наведений повний перелік його команд (більшість яких входить в меню Edit):

- Properties... – перегляд і редагування характеристик об'єкта;
- Copy – копіювання об'єкта в буфер обміну;
- Copy Matrix... – множинне копіювання об'єкта;
- Cut – видалення вибраного об'єкта із занесенням в буфер обміну;
- Delete (Del) – видалення вибраного об'єкта;
- Edit Nets... – редагування атрибутів ланцюга;
- Explode – перетворення компонента в набір графічних символів;
- Select Contiguous – вибір прилягаючих сегментів ланцюга;
- Select Net – вибір всього ланцюга (може складатися з декількох непов'язаних сегментів, що мають одне і теж ім'я);
- Net Info... – виведення інформації про ланцюг;
- Highlight – фарбування вибраного об'єкта;
- Unhighlight – скасування фарбування об'єкта;
- Highlight Attached Nets – фарбування ланцюгів, приєднаних до вибраних об'єктів;
- Unhighlight Attached Nets – скасування фарбування ланцюгів, приєднаних до вибраних об'єктів;
- Align – вирівнювання компонентів;

Selection Point – зміна положення точки прив'язки вибраного об'єкта або декількох об'єктів.

Для редагування об'єкта його треба спочатку вибрати щигликом миші. Потім його можна *переміщувати*, помістивши курсор на обраний об'єкт, натиснувши та утримуючи кнопку миші. Рухаючи мишу об'єкт переміщують, причому на екрані з'являється зображення точки прив'язки у вигляді квадрата з перехрестям, до якого стрибком переміщується і прив'язується курсор. Якщо точка прив'язки не співпадає з вузлом сітки, то вона автоматично переміщується до найближчого вузла. При переміщенні об'єкта можна користуватися клавішами зі стрілками (не відпускаючи лівої кнопки миші), кожне натиснення на клавішу стрілки зсуває об'єкт на один крок сітки.

Щоб змінити положення *точки прив'язки* прийняте за умовчанням, натискають праву кнопку миші. На екрані з'являється спливаюче меню доступних в даній ситуації команд редагування. У цьому меню вибирають команду **Selection Point** і щигликом миші відмічають нове положення точки прив'язки. Таку операцію доводиться, зокрема, виконувати при роботі з протяжними об'єктами, коли їх точка прив'язка не видна на екрані.

Якщо графічні редактори PCAD2001 Schematics і PCAD2001 PCB завантажені одночасно і якщо в меню **Options/Configure** *обох редакторів* включена опція **DDE Hotlinks**, то фарбування (Highlight) в одному редакторі компонентів або ланцюгів відразу ж забарвлює відповідні об'єкти в іншому. Об'єкти виділяють кольором (фарбують) в одному з редакторів послідовно виконуючи операції виділення об'єкта **Edit/Select** і фарбування **Edit/Highlight**.

Скасування виділення кольором об'єкта проводиться по команді **Edit/Unhighlight**, всіх забарвлених об'єктів – **Edit/Unhighlight All**.

Б2 Настройка конфігурації

Після запуску редактора схем PCAD2001 Schematic рекомендується вибрати розмір листа схеми і настроїти інші параметри в меню команд **Options/Configure**.

Спочатку в графі **Workspace Size** обирають один з стандартних форматів листа схеми в європейській (A4, A3, .. A0) системі. Габаритні розміри вибраного листа відображаються в

рядках Width (ширина) і Height (висота). У стандартних форматах довга сторона листа розташовується по горизонталі.

Форматка листа (рамка, основна і додаткові написи) наноситься на лист схеми після натиснення клавіші Select в графі **Title Sheet**. Форматка листа стає видимою після вибору режиму Display Title Sheet.

У графі **Units** вибирають систему одиниць. Змінити систему одиниць можна на будь-якій фазі роботи зі схемою без втрати точності.

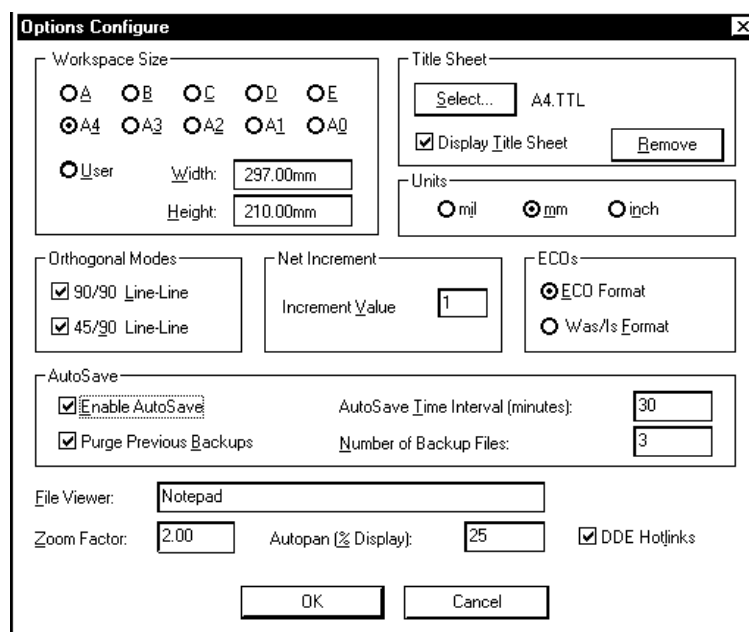


Рис. Б.1 ~~Настройка~~ конфігурації-PCAD2001-Schematic

Режим введення ланцюгів і ліній встановлюють в графі **Orthogonal Modes**: 90/90 Line-Line – введення ортогональних ліній, 45/90 Line-Line – введення діагональних ліній. Рекомендується включити обидва режими, тоді лінії проводяться по осях координат, по діагоналях або під довільним кутом, що визначається додатковим натисненням клавіші **O**. Натиск клавіші **F** при цьому визначає характер першого сегмента лінії.

Крок сітки встановлюють в меню **Option/Grids**. Поточне значення кроку сітки вибирають курсором в списку Grids або безпосередньо на рядку станів.

Натиснення клавіші **Defaults** призначає всім параметрам значення за умовчанням, **OK** – внесення змін, **Cancel** – скасування змін.

Б3 Верифікація схеми ERC

Після створення принципової електричної схеми доцільно виявити синтаксичні помилки, виправити їх і тільки після цього перейти до розробки ДП. Перевірку схеми виконують по команді **Utils/ERC** (Electrical Rules Check). У меню цієї команди задають перелік перевірок, результати яких приводяться в текстовому звіті:

Single Node Nets – ланцюги, що мають єдиний вузол;

No Node Nets – ланцюги, що не мають вузлів;

Electrical Errors – електричні помилки, коли сполучається виведення несумісних (наприклад, сполучаються два вихідних виводи або вихідний вивід підключається до виводу джерела живлення);

Unconnected Pins – непідключені виводи компонентів;

Unconnected Wires – непідключені ланцюги;

Bus/Net Errors – ланцюги, що входять у склад шини, та зустрічаються тільки один раз;

Component Errors – компоненти, що розташовані зверху інших компонентів;

Net Connectivity Errors – неправильне підключення ланцюгів землі і живлення, яке може бути викликане однією з трьох причин:

- символ джерела живлення підключений до ланцюга, який має інше ім'я;
- прихований глобальний вивід компонента приєднаний до ланцюга, ім'я якого не співпадає з ім'ям за умовчанням;
- два ланцюги А і В об'єднані під ім'ям А, в той час як ланцюг В існує окремо. При появі цього попередження необхідно за допомогою команди **Edit/Nets** перейменувати ланцюги.

Крім того, в меню необхідно включити опції **View Report** (Перегляд звіту повідомлень про помилки) і **Annotate Errors** (Індикація помилок на схемі).

Повідомлення про помилки заносяться в файл *<ім'я схеми>.ERC*, зміну цього імені проводять після вибору панелі **Filename**.

Пошук помилок відповідно до заданої конфігурації починається після натиснення панелі **OK**. Інформація про помилки позначається на схемі індикаторами, вибирається для аналізу і виводиться в текстовий звіт.

Для індикації помилок на схемі спочатку треба по команді **Options/Block Selection** настроїти параметри блока вибору. Попередньо в меню натисненням клавіші **Clear All** відключають всі об'єкти, а потім вибирають **ERC Errors**. У розділі **Select Mode** потрібно натиснути кнопку **Inside Block** (Вибір об'єктів у внутрішній області). Потім включити режим вибору **Edit/Select** і укласти всю схему або її фрагмент в прямокутну рамку. Після цього помилки, що знаходяться всередині неї будуть помічені символами. Для виведення текстової інформації про помилки треба вибрати фрагмент схеми і виконати команду **Edit/Properties**. На екрані з'явиться діалогове вікно з діагностичним повідомленням про одну помилку. Для отримання інформації про наступну помилку натискають клавішу **Next**, попередньої – **Previous**.

У текстовому файлі з розширенням імені. ERC приводиться конфігурація настройки програми **ERC**, перелік всіх помилок, попереджень і статистика помилок.

Б4 Виведення схеми на друк

Результати проектування виводяться в PCAD2001 Schematic в такому вигляді:

- схеми, надрукованої на принтері або плоттері;
- списку з'єднань схеми (зокрема, для упаковки схеми на друкарську плату);
- текстових звітів.

Для підготовки до друку принципової електричної схеми на принтері виконують команду **File/Print**. Натисненням на панелі **Setup** відкривають меню вибору розміру і орієнтації паперу, характеру передачі півтонів, також дозволяючи якість друку (висока, чорнова).

Натиснення на клавішу **Page Setup** відкриває меню.

У графі **Image Scale** вказують розмір креслення в метричній системі відповідно до вибраного розміру паперу. При виборі варіанту **User Scale Factor** задається коефіцієнт зміни масштабу зображення (лінійно по кожній з двох осей X, Y). Включення пункту **Rotate** поверне зображення креслення на 90° за годинниковою стрілкою. Натиснення **OK** поверне управління в попереднє меню.

У пункті **Print Options** вибирається перелік об'єктів, які будуть виведені на друк. Звичайно вибирають білий фон **Background**, і тоді, для того щоб не друкувати будь-яку інформацію, їй також призначається білий колір. Натисненням клавіші **Defaults** задають за умовчанням всім об'єктам чорний колір на білому фоні.

Після установки параметрів печаті повертаються в меню **File/Print**. Для попереднього перегляду перед друком натискають клавішу **Print Preview**. Безпосереднє виведення на друк вибраних листів починається після натиснення клавіші **Generate Printouts**.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ, СПИСОК КОМАНД ПРОГРАМИ PCAD2001 PCB

В1 Загальні відомості

Графічний редактор друкованих плат PCAD2001 PCB, основні характеристики:

1. – не більше за 99 шарів в друкарській платі, з них 11 шарів попередньо визначені;
2. – максимальний розмір плати 60х60 дюймів;
3. – автоматична корекція принципів схем по змінах в друкарській платі і навпаки (корекція "назад" і "вперед");
4. – необмежена кількість компонентів в проекті;
5. – не більше за 64 000 типів контактних площадок в проекті;
6. – ширина траси не більше за 1 см (394 міл);
7. – мінімальний кут повороту об'єкта $0,1^{\circ}$;
8. – необмежена кількість вершин в полігоні;
9. – не більше за 64 000 стилів стеків контактних площадок в проекті;
10. – контактні площадки 11 форм: еліпс, овал, прямокутник, округлений прямокутник, крізний отвір, перехрестя для свердлування (target), безпосереднє з'єднання, тепловий бар'єр з 2 або 4 перемичками;
11. – контроль дотримання зазорів і повноти трасування друкарської плати;
12. – підтримка керуючих файлів фотоплоттерів Gerber (формат RS-274-D), свердлильних станків з ЧПУ типу Excellon (формат настраюється користувачем).

В2 Налаштування конфігурації

Після запуску редактора друкованих плат (ДП) PCAD2001 PCB потрібно налаштувати його конфігурацію, обравши в меню **Options** команди **Configure**, **Display**, **Layers**, **Grids** та ін. Параметри конфігурації зберігаються разом з файлом поточного

проекту і встановлюються за умовчанням для подальших сеансів проектування.

1. **Система одиниць.** По команді **Options/Configure** в графі **Units** обирають англійську (mils) або метричну (mm) систему одиниць. У графі **Workspace Size** вказують розмір робочої області, яка трохи перевищує габаритні розміри друкованої плати (за умовчанням 254x254 мм). В графі **Orthogonal Modes** включають всі режими, і на цьому настроюють конфігурації завершують натисканням панелі **OK** (інші параметри настроюють пізніше за потребою).

2. **Настройка параметрів дисплея.** Кольори об'єктів на різних шарах і ряд інших параметрів екрана встановлюють по команді **Options/Display**. Тут встановлюють кольори таким об'єктам:

Via – перехідні отвори (ПО);

Pad – виведення;

Line – провідники і лінії;

Poly – полігони;

Text – текст.

Натиснення на панель **Misc** настроює додаткові параметри. У графі **Glue Dots** встановлюють параметри виведення на екран точок прив'язок при автоматичному монтажі друкованих плат:

Show – показати на екрані;

Hide – приховати;

No Change – не змінювати.

У графі **DRC Errors** встановлюють параметри помилок контролю дотримання технологічних норм, а графі **Cursor Style** задають вигляд зображення курсора:

Arrow – стрілка;

Small Cross – маленьке перехрестя;

Large Cross – велике перехрестя.

У графі **Miscellaneous** встановлюють різні параметри:

Drag by Outline – зображення об'єктів контурними лініями при їх переміщенні (для прискорення перекреслювання екрану);

Draft Mode – зображення тільки контурів провідників (для прискорення перекреслювання екрану);

Scroll Bars – виведення на екрані лінійки прокрутки;

Display Pad Holes – зображення внутрішніх отворів в контактних площадках;

Display Pin Designators – зображення номерів виводів;
Display Pad Net Names – зображення номерів ланцюгів, приєднаних до виводу;
Display Plane Indicator – індикація ПО, приєднаних до шара металізації, з допомогою перехрестя, забарвленого в колір цього шару;
Translucent Drawing – напівпрозоре зображення об'єктів;
Silkscreen in Background – зображення графіки шовкографії на задньому плані.

3. Структура шарів друкованої плати. При створенні нової друкованої плати за умовчанням встановлюється така структура шарів:

Top – верхня сторона плати;
Bottom – нижня сторона плати;
Board – контур плати;
Top Mask – маска паяння на верхній стороні плати;
Bot Mask – маска паяння на нижній стороні плати;
Top Silk – шовкографія на верхній стороні плати (контури компонентів та ін.);
Bot Silk – шовкографія на нижній стороні плати (контури компонентів та ін.);
Top Paste – вставка паяння на верхній стороні плати;
Bot Paste – вставка паяння на нижній стороні плати;
Top Assy – допоміжні дані (атрибути) на верхній стороні плати;
Bot Assy – допоміжні дані (атрибути) на нижній стороні плати.

Усього може бути до 99 шарів. Шари створюють і видаляють по команді **Options/Layers**. Вони поділяються на такі типи:

Signal – шар розведення провідників сигналів, позначають символом **S**;
Plane – шар металізації для підключення ланцюгів живлення, позначають символом **P**;
Non Signal – допоміжні (не сигнальні) шари, позначають символом **N**.

Кожний шар може бути включений (Enable, символ **E**) і вимкнений (Disable, символ **D**). Ознаки шарів розміщують у другій колонці таблиці Layers.

Шари металізації підключають до ланцюгів, імена яких вводять при створенні такого шару після натискання на панель **Add** і змінюють натисканням **Modify** (шари металізації декларуються після упаковки схеми на друковану плату).

У графі **Routing Bias** вказують пріоритетну орієнтацію провідників на кожному шарі при автоматичному трасуванні:

Індивідуальні шари вмикають і вимикають на панелі натисненням **Enable**, **Disable**. Всі шари (крім поточного) можна вимкнути – **Disable All**, включити – **Enable All**. Окремі групи шарів (сигнальні, металізації) включають в режимі **Sets**.

4. **Ширина провідників**. Список значень ширини провідників і геометричних ліній виникає за командою **Options/Current Line**. Ширину поточного провідника обирають з цього списку за допомогою рядка станів.

5. **Стеки контактних площадок і перехідних отворів**. По команді **Options/Pad Style** відкривають список стеків контактних площадок. Обраний курсором в цьому списку стек контактних площадок є поточним і розташовується на ДП за командою **Place/Pad**. Є *прості* (Simple) і *складні* (Complex) стеки контактних площадок (Pad Stacks) і перехідних отворів (Via Stacks).

6. Натисканням на панель **Modify (Simple)** відкривають меню редагування простих стеків контактних площадок. У графі **Type** обирають тип контактних площадок:

Thru – штировий вивід;

Top – виведення планарного компонента на верхній стороні ДП;

Bottom – виведення планарного компоненту на нижній стороні ДП.

Для штирових виводів в графі **Plane Connection** вказується тип контактних площадок на шарах металізації:

Direct – суцільна контактна площадка.

У графі **Shape** вибирають форму контактних площадок:

Ellipse – еліпс;

Oval – овал;

Rectangle – прямокутник;

Rounded Rectangle – округлений прямокутник;

Direct Connect – суцільний контакт;
Target – перехрестя для свердлування;
Mounting Hole – кріпильний отвір.

Геометричні розміри контактної площадки встановлюють в графах Width (ширина), Height (висота) і Hole Diameter (діаметр отвору).

Натисканням на панель **Modify (Complex)** відкривають меню редагування складних стеків контактних площадок. У графі Pad Definition в рядку Layer по черзі вказують імена шарів, в рядку Shape – форму контактної площадки і вводять геометричні розміри: Width – ширина, Height – висота. У графі Hole задають діаметр отвору – Diameter і зміщення центра отвору відносно центра апертури по горизонталі – **X Offset** і по вертикалі – **Y Offset**.

По команді **Options/Via Style** відкривають список стеків перехідних отворів. Вибраний курсором в цьому списку стек перехідних отворів є поточним і розміщується на платі при виконанні команди **Place/Via**. Стеки перехідних отворів редагують так само, як і стеки контактних площадок.

7. **Підключення бібліотек.** Перед розміщенням на ДП компонентів вручну або за допомогою процедури упаковки принципової схеми на плату, необхідно забезпечити доступ до бібліотек, в яких знаходяться ці компоненти. Бібліотеки підключають по команді **Library/Setup**. Вибравши клавішу **Add**, додають імена бібліотек в список відкритих бібліотек (Open Libraries), але не більше за 10. За допомогою клавіші **Delete** видаляють бібліотеки з цього списку, щоб звільнити місце для інших.

В3 Розробка друкованих плат

Розробку нової друкованої плати починають з виконання команди **File/New** та настройки конфігурації. Далі на шарі **Board** по командах **Place/Line** і **Place/Arc** наноситься контур ДП. Програми PRO Route і SPECCTRA трасують тільки всередині цього контура (програма QuickRoute на нього не звертає уваги, а для програми PRO Route він необов'язковий). Контур ДП повинен являти собою замкнену лінію для трасувальника SPECCTRA, а автотрасувальник PRO Route замкне його по дотичних сам. Перед розміщенням компонентів на плату в меню **Options/Grids**

встановлюють крок сітки, зокрема, при розміщенні компонентів з штировими выводами звичайно задають крок 2,5 мм.

В 4 Створення списку з'єднань

Список з'єднань це список компонентів і ланцюгів з переліком номерів виводів, до яких вони підключені. Він потрібен для процедури “упаковка схеми на друковану плату” – розміщення на полі ДП корпусів компонентів з вказівкою їх електричних зв'язків згідно з принциповою електричною схемою. По команді **Utils/Generate Netlist** відкривають меню настройки параметрів. У пункті меню **Netlist Format** вибирається формат списку з'єднань: ACCEL ASCII. Для розробки ДП за допомогою графічного редактора PCAD2001 PCB вибирається формат PCAD2001. Ім'я файла списку з'єднань задають після натиснення клавіші **Netlist Filename**.

1. **Упаковка схеми на друковану плату.** При наявності принципової схеми для упаковки її на ДП по команді **Utils/Load Netlist** завантажують файл списку з'єднань (файл списку з'єднань створюється в редакторі PCAD2001 Schematic в форматах Tango або PCAD2001 ASCII). У меню цієї команди вибираються такі опції:

Netlist Format – вибір формату списку з'єднань:

PCAD2001 ASCII – текстовий формат, що містить інформацію про атрибути компонентів і ланцюгів TangoPro (розширення імені файла. NET);

P-CAD ALT – формат системи P-CAD (розширення імені файла. ALT);

Tango – стандартний формат систем PCAD2001 і TangoPro (розширення імені файла. NET);

Netlist Filename – привласнення імені файла списку з'єднань;

Xreference File – ім'я файла перехресних посилань (тільки для формату P-CAD ALT);

Optimize Nets – включення/вимикання режиму оптимізації списку з'єднань для мінімізації довжин з'єднань на ДП шляхом перестановки логічно еквівалентних секцій компонентів і їх виводів. Якщо цей режим вимкнений, то з'єднання виконуються в тому порядку, в якому вони вказані в списку з'єднань. Оптимізацію

з'єднань доцільно виконувати не в процесі упаковки схеми на ДП, коли компоненти розміщені на платі хаотично, а після упорядкування їх розміщення по команді **Utils/Optimize Nets**.

Reconnect Copper – включення/вимикання режиму приєднання до ланцюгів дільниць металізації, що є на платі. Рекомендується цей режим вимкнути, тоді процес завантаження списку з'єднань проводиться набагато швидше, а області металізації, не приєднані ні до одного ланцюга, залишаться ізольованими;

Check for Copper Sharing – включення/вимикання режиму перевірки наявності помилок на платі з попередньо розміщеними компонентами. При включенні цієї опції перевіряється наявність перетину провідників і перетину провідниками центрів контактних площадок і перехідних отворів.

При виборі формату ACCEL ASCII доступні дві додаткові графи завдання атрибутів Attribute Handling та класів ланцюгів Net Class and Rules Handling:

Merge Attributes (Favor Netlist) – злиття атрибутів з поточними атрибутами проекту, пріоритет за атрибутами списку з'єднань;

Merge Attributes (Favor Design) – злиття атрибутів з поточними атрибутами проекту, пріоритет за атрибутами проекту;

Replace Existing Attributes – заміна існуючих атрибутів проекту;

Ignor Netlist Attributes – ігнорування атрибутів проекту;

Replace Existing Net Classes – заміна існуючих класів ланцюгів;

Ignore Netlist Net Classes – ігнорування існуючих класів ланцюгів.

За звичаєм схема упаковується на ДП, на якій *спочатку розміщені* роз'єм, кріпильні отвори і інші компоненти, що мають фіксоване положення (які при розміщенні на ДП в **Properties**, в команді **Location** відмічають **Fixed**) і прокладений ряд трас. У цьому випадку, після завантаження команди **Utils/Load Netlist**, виводиться повідомлення, яке інформує про необхідність дотримання таких обмежень:

– компоненти з співпадаючими на платі і на схемі позиційними позначеннями (RefDes) повинні мати однакові типи корпусу (Type). При виявленні конфліктів упаковка не проводиться;

- всі присутні на ДП компоненти, що не входять в список з'єднань, будуть збережені;

- на плату переносяться всі компоненти з списку з'єднань, які не були встановлені на ній заздалегідь;

- електричні зв'язки (Ratsnests), прокладені заздалегідь на ДП і відсутні в списку з'єднань, видаляються (оновлюється вся інформація про електричні зв'язки), однак всі прокладені провідники зберігаються, навіть якщо вони відсутні в списку з'єднань;

- після виконання команди неможна відновити первинний вигляд ДП із заздалегідь розміщеними компонентами, тому її рекомендується зберегти в окремому файлі.

Після натиснення **ОК** переглядаються відкриті бібліотеки і всередині контура ДП розміщуються конструктиви компонентів згідно з їх переліком в файлі списку з'єднань і на екрані відтворюються лінії електричних зв'язків.

2. Розміщення компонентів на платі. Після упаковки схеми на ДП приступають до розміщення компонентів всередині контура друкарської плати. Оптимальне розміщення компонентів зумовлює успішне трасування провідників і працездатність реального пристрою. Забезпечення автоматичного розміщення має тільки система SPECCTRA. Однак можливості авторозміщення обмежені, особливо при розробці аналогових пристроїв, тому розміщення компонентів на ДП звичайно проводять вручну. Зокрема, натискання клавіші **R** повертає вибраний об'єкт на 90° за годинниковою стрілкою, одночасне натиснення **Shift+R** повертає його на кут, заданий в меню **Options/Configure** (параметр **Increment**), натиснення клавіші **F** дзеркально відображає об'єкти відносно осі **Y** і переносить компоненти на протилежну сторону ДП.

Лінії електричних зв'язків, переміщувані разом з компонентами, допомагають правильно їх розмістити. За допомогою команди **Edit/Nets** можна зробити видимими/невидимими електричні зв'язку одного або декількох ланцюгів. У меню цієї команди в графі **Nets** приведений список імен всіх ланцюгів проекту, в графі **Nodes** імена виводів, приєднаних до вибраного ланцюга. Після вибору курсором одного або декількох ланцюгів, їх можна зробити невидимими натисненням на панель **Hide Conns** (Приховати з'єднання); вибрані

ланцюги стають видимими після вибору панелі **Show Conn** (Показати з'єднання). Для фокусування уваги на певних ланцюгах, наприклад ланцюгах «земля» або «живлення», ланцюгах синхронізації та т. п., їх по черзі роблять видимими.

При розміщенні однотипних компонентів вирівняти їх зручніше автоматично. Для цього на компоненти, що вирівнюються, по черзі вказують курсором (при виборі другого і подальших компонентів утримують клавішу **Ctrl**). Після вибору компонента правою кнопкою миші відкривають меню, в якому вибирають опцію **Selection Point** (Вибір точки відрахування) і, після натискання лівої кнопки миші, на екрані з'являється точка відрахування. Потім знов правою кнопкою миші вибирають опцію **Align** (Вирівнювання). У меню, що відкрилося відмічають опції:

Horizontal About Selection Point – вирівнювання по горизонталі відносно точки відрахування;

Vertical About Selection Point – вирівнювання по вертикалі відносно точки відрахування;

Onto Grid – вирівнювання в найближчі вузлові точки сітки;

Space Equally – вирівнювання на рівних інтервалах;

Spacing – відстань між компонентами.

Після автоматичного вирівнювання компонентів їх розміщення уточнюють вручну.

При необхідності корпуси компонентів замінюють. Для цього курсором вказують компонент і обирають команду **Edit/Properties** (що активізується також щикликом правої кнопки миші). У меню цієї команди в графі **Type** вибирають зі списку інший тип корпусу компонента. Електричні зв'язки компонента, що замінюється зберігаються за умовою повної ідентичності виводів.

Після завершення розміщення компонентів корисно виконати мінімізацію довжин з'єднань на платі шляхом перестановки логічно еквівалентних секцій компонентів і їх виводів по команді **Utils/Optimize Nets**. У меню команди вибирають метод оптимізації:

Auto – автоматична оптимізація;

Manual Gate Swap – перестановка еквівалентних секцій компонентів вручну;

Manual Pin Swap – перестановка еквівалентних виводів вручну.

При виборі автоматичної оптимізації включаються такі опції:

Gate Swap – перестановка секцій;
Pin Swap – перестановка виводів;
Entire Design – оптимізація всього проекту;
Selected Objects – оптимізація вибраних об'єктів.

Заборонити перестановку окремих компонентів можна за допомогою атрибута NoSwap.

3. Завдання правил проектування. Перед початком трасування в меню **Options/Grids** задають необхідний крок сітки. Крім регулярної сітки корисно використовувати сітку *нерегулярну*.

Наприклад, якщо крок виводів компонентів становить 100 мил. і діаметр виводів 60 мил., то при інтерактивному розведенні або автотрасуванні прокласти один або два провідники між сусідніми виводами можна, використовуючи нерегулярну сітку 42, 8, 8, 42 мил. Для додавання нерегулярної сітки в меню **Options/Grids** треба вибрати режим **Relative Mode**, на рядку **Grid Spacing** надрукувати значення 42 8 8 42, розділені пробілами, і натиснути клавішу **Add**. Треба простежити, щоб режим **Prompt for Origin** був вимкнений. В графі **Relative Grid Oring** введіть зміщення нерегулярної сітки відносно початку координат.

На кінці підготовки до трасування по команді **Options/Design Rules** встановлюють *допустимі зазори* для кожного шара трасування в меню **Global** (глобальні правила):

Pad to Pad – контактна площадка – контактна площадка;

Pad to Line – контактна площадка – провідник;

Line to Line – провідник – провідник;

Pad to Via – контактна площадка – перехідний отвір;

Line to Via – провідник – перехідний отвір;


Via to Via – перехідний отвір – перехідний отвір.

Крім того, для усієї плати задають зазори:

Silkscreen Clearance – зазор між шовкографією і контактною площадкою або перехідними отворами (порушення зазору може погіршити якість паяння);


Hole to Hole Clearance – кріпильний отвір – кріпильний отвір.

Натисненням клавіші **Set All** вибирають всі шари або курсором – групу шарів, що характеризуються однаковими зазорами. Значення зазорів вводять у відповідні графі і потім натисненням клавіші **Update** вони переносяться на вибрані шари.

Перед початком ручного трасування доцільно включити режим поточної перевірки допустимих зазорів в меню команди **Options/Configure** на рядку **Enable Online DRC** або натисканням по піктограмі .


Коли в процесі авторозведення або перевірки ДП встановлюється допустимий зазор для будь-якого об'єкта, різним правилам привласнюються такі *пріоритети*:

- Class To Class – правила клас – клас (вищий пріоритет);
- Net – правила для ланцюгів;
- Net Class – правила для класів ланцюгів;
- Global – глобальні правила (нижчий пріоритет).


4. Ручне трасування провідників. Ручне трасування провідників виконують по команді **Route/Manual** або натисненням піктограми . Заздалегідь масштаб зображення збільшують таким чином, щоб були видні вузлові точки сітки для полегшення трасування. Поблизу центра контактної площадки курсором фіксують початок траси. Утримуючи затисненою кнопку миші і переміщуючи курсор, малюють сегмент провідника, відпущення курсору фіксує точку зламу. При затисненій лівій кнопки миші курсор можна пересувати також за допомогою функціональних стрілок →, ←, ↑, ↓ на один крок сітки. Натисненням клавіші **O** при натиснутій кнопці миші циклічно перемикають характер зламу (ортогонально, по діагоналі), а клавішею **F** міняють розташування точки зламу. Подальше натиснення клавіші **O** дозволяє округлити злам, що корисно при трасуванні високочастотних пристроїв.

При зміні поточного шару в процесі прокладення траси натисненням клавіші **L** або **Shift+L** траса продовжується на іншому шарі, при цьому автоматично вставляється перехідний отвір (ПО).

Не перериваючи прокладення траси, можна змінити ширину провідника по команді **Options/Current Line** або в рядку станів.

Порушення зазору між трасою провідника і виведенням ПО або трасою іншого ланцюга супроводиться появою на екрані індикатора помилки у вигляді кола з перехрестям біля кожної помилки. Натискаючи клавішу **Backspace**, можна послідовно стерти прокладені сегменти траси одночасно з індикаторами помилок. По команді **Edit/Undo** (або натисненням на піктограму ) видаляють цілком всю останню трасу після завершення її прокладки.

Натиснення правої кнопки миші або вибір будь-якої команди завершує трасування провідника по найкоротшій відстані до контактної площадки виводу компонента. Натисканням косої риски «/» або «\» припиняють прокладку траси без її завершення.

5. Інтерактивне трасування провідників. По команді **Route/Interactive** або після натиснення на піктограму  виконується інтерактивне трасування провідників. Трасування починають натисканням курсору на виводі компонента та на кінці раніше прокладеної траси. Рухаючи курсор при нажатій лівій кнопки миші прокладають трасу, при цьому автоматично огинаються перешкоди з дотриманням допустимих зазорів. Відпустивши ліву кнопку миші, фіксують прокладений сегмент траси. Надавлена права кнопка миші в процесі прокладання траси відкриває меню:

Complete – завершення прокладання и траси з дотриманням встановленого раніше режиму введення провідників (ортогонально або по діагоналі) і допустимих зазорів;

Suspend – припинення прокладання траси із збереженням прокладеної ділянки;


Cansel – припинення прокладання траси з скасуванням введення останнього сегмента (аналог натиснення клавіші Esc);

Layers – відкриття вікна **Options/Layers** для зміни структури шарів плати;

Via Style – відкриття вікна **Options/Via Style** для вибору типу ПО або його редагування;

Unwind – скасування прокладання останнього сегмента провідника (аналог натиснення клавіші **Backspace**).

Коли в процесі прокладання траси ліву кнопку миші відпускають в точці закінчення лінії електричного зв'язку, прокладання траси завершується і можна перейти до наступної.

7. Згладжування прямокутних вигинів провідників. Прямокутні вигини провідників скошуються під кутом 45° або згладжуються дугами по команді **Route/Miter** або натисненням на піктограму . Згладжування починають натисненням в точці зламу траси, не відпускаючи ліву кнопку миші, переміщують курсор і встановлюють необхідні розміри вигину провідника.

8. **Збереження проекту.** По команді **File/Save** відредагований проект зберігається в початковому файлі, по команді **File/Save As** проект зберігається в іншому файлі.

B5 Перевірка друкованої плати DRC

Перед завершенням розробки ДП та випуском фотошаблонів необхідно по команді **Utils/DRC (Design Rule Check)** перевірити друкарську плату на відповідність принципів схемі і дотримання допустимих технологічних зазорів. У меню цієї команди вибирають правила перевірок:

Netlist Compare – порівняння списку з'єднань поточної ДП з принциповою схемою або іншої ДП, список з'єднань якої задають по додатковому запиту. Підтримуються формати списків з'єднань ACCEL ASCII, Tango;

Netlist Violations – перевірка відповідності електричних з'єднань провідників поточної ДП з початковим списком електричних зв'язків проекту. При виконанні перевірок об'єкти вважаються фізично сполученими, якщо вони перекривають один одного або зазор між ними рівний нулю;

Unrouted Nets – нерозведені ланцюги;

Clearance Violations – порушення зазорів;

Text Violations – порушення зазорів між текстом, розташованим на сигнальних шарах, і металізованими об'єктами;

Silk Screen Violations – порушення зазорів між контактними площадками або перехідними отворами і шовкографією;

Unconnected Pins – неприєднанні виводи;

Copper Pour Violations – наявність ізолюваних областей металізації, порушення зазорів між такими областями, порушення зазорів контактних площадок з тепловими бар'єрами;

Drilling Violations – перевірка правильності свердлування штирових виводів, прохідних і глухих перехідних отворів;

Plane Violations – виявлення накладених одна на одну областей металізації, неправильного приєднання до них контактних площадок і перехідних отворів, ізолюваних областей на шарах металізації.

Натисненням на клавішу **Filename** можна змінити ім'я текстового файлу, в який заноситься звіт про перевірки. Включення опції **View Report** виводить текст звіту на екран, опції **Annotate**

Errors позначає на ДП місця помилок спеціальними індикаторами. Вибір індикатора помилки – лівою кнопкою миші і потім правою кнопкою відкривається текстове повідомлення про помилку. Вибір клавіші **Next** дозволяє переглянути повідомлення про наступну помилку, **Previous** – про попередню. Після виправлення помилки, її індикатор автоматично зникає.

Б6 Виведення на принтер

Результати розробки ДП виводять на принтер, використовуючи засоби Windows. У меню команди **File/Print** кнопкою **Setup Print Jobs** переходять в меню укладання завдань.

У меню в графі **Print Name** по-перше кожному завданню привласнюють ім'я і натискають кнопку **Add**, після чого воно заноситься в список **Print Jobs**. Потім в списку шарів **Layers** вказують потрібні шари. Для полегшення вибору шарів натискають стрілку праворуч від кнопки **Apply Layer Set** і вибирають одну з груп шарів:

- All Layers – всі шари;

- Signal Layers – сигнальні шари;

- Plane Layers – шари металізації;

- Non-Signal Layers – несигнальні шари.

Далі кнопкою **Apply Layer Set** вибрані шари переносяться в список **Layers**.

Далі встановлюють опції друку:

- Scale – масштаб зображення;

- X і Y offset – зміщення зображення по горизонталі і вертикалі від краю паперу;

- Drill Sym Size – розмір символів отворів;

- Rotate – поворот зображення на 90° за годинниковою стрілкою;

- Mirror – дзеркальне відображення;

- Draft – виведення ліній,

































- Pads, Vias, Pad/Via Holes, RefDes, Type, Value, Drill Sym, Glue Dot, Pick and Place, Keepout,








- Cutout, Connections – друкування відповідних об'єктів.




Натисканням кнопки **Modify** вносять в завдання внесені зміни. Складання завдань завершується натисканням кнопки **Close**, після чого управління передається знов у меню. Вибір в ньому кнопки










Drill Symbols дозволяє призначити графічні символи отворам різного діаметра. Безпосередньо друкування проводиться після натискання на кнопку **Generate Printouts**.












Таблиця В1

Піктограма	Еквівалентна команда	Піктограма	Еквівалентна команда
Системні команди			
	Edit/Select (вибрати об'єкт)		Edit/Undo (скасувати останню команду видалення об'єкта)
	File/New (створити нову схему)		Route/Miter (згладити вигин провідника)
	File/Open (завантажити існуючу схему)		Route/Manual (провести провідник вручну)
	File/Save (зберегти файл схеми)		Route/Interactive (провести провідник в інтерактивному режимі)
	File/Print (вивести схему на принтер)		Edit/Measure (вимірити відстань)
	Edit/Cut (видалити обраний об'єкт)		View/Zoom Window (вивести на весь екран зображення у вікні)
	Edit/Copy (копіювати об'єкт у буфер обміну)		Options/Configure/Enable Online DRC (включення / вимикання оперативної перевірки DRC)
	Edit/Past (розмістити на схемі об'єкт із буфера обміну)		Utils/Record ECOs (почати/закінчити запис файлу змін.ECO)
Команди розміщення			
	Place/Component (розмістити компонент)		Place/Copper Pour (розмістити область металізації)
	Place/Connection (ввести електричний зв'язок)		Place/Cutout (розмістити виріз в області металізації)
	Place/Pad (розмістити стек контактних площадок)		Place/Keepout (створити бар'єр трасування)
	Place/Via (розмістити перехідний отвір)		Place/Plane (створити лінію розділу шару чи металізації)
	Place/Line (розмістити лінію)		Place/Text (розмістити текст)
	Place/Arc (розмістити дугу)		Place/Attribute (розмістити атрибут)
	Place/Polygon (розмістити полігон, що не володіє електричною властивістю)		Place/Field (розмістити рядок даних)
	Place/Point (розмістити точку прив'язки)		Place/Dimension (проставити розміри)

Команда		Призначення
Меню File (Файли)		
<u>N</u>ew (Ctrl+N)		Очищення вікна для створення нової плати. Усім параметрам призначають значення за замовчуванням
<u>O</u>pen... (Ctrl+O)		Відкриття (завантаження) існуючого файлу плати (розширення .PCB мають бінарні і текстові файли ACCEL P-CAD PCB, бінарні файли схем P-CAD 8.0, 8.5)
<u>C</u>lose		Закриття поточного вікна
<u>S</u>ave (Ctrl+S)		Збереження внесених змін у поточному файлі
<u>S</u>ave <u>A</u>s...		Збереження внесених змін у новому файлі, формат (бінарний, текстовий) та ім'я якого вказують у додатковому запиті
<u>C</u>lear		Очищення робочого вікна і назви файлу зі збереженням параметрів проекту, внесених раніше (специфікації шарів, стиль контактних площадок і ін.)
<u>P</u>rint (Ctrl+P)		Винесення на периферійний пристрій поточної плати
<u>P</u>rint Setup...		Конфігурація виводу на периферійні пристрої
<u>R</u>eports		Складання текстових файлів звітів про проект
<u>D</u>esign <u>I</u>nfo...		Заповнення облікової інформації про проект і виведення статистичних даних
<u>D</u>XF In...		Завантаження файлу плати у форматі DXF (сполучимо з AutoCAD, починаючи з версії 9.0)
<u>D</u>XF Out...		-----файлу плати у форматі DXF (сполучимо з AutoCAD, починаючи з версії 9.0)
<u>G</u>erber In...		Завантаження керуючого файлу фотоскладального пристрою Gerber для накладення зображення фотошаблону на креслення поточної плати з метою перевірки точності його виконання
<u>G</u>erber Out...		Створення керуючого файлу у форматі фотоскладального пристрою Gerber
<u>N</u>/C <u>D</u>rill		Створення керуючого файлу для свердлильних верстатів із ЧПУ (Numerical Control) у форматі Excellon
<u>P</u>DIF In...		Завантаження файлу плати у форматі PDI
<u>P</u>DIF <u>O</u>ut		--- файлу плати у форматі PDI версій P-CAD 6.0/7.0, 8.0
<u>E</u>xit (Alt+F4)		Завершення роботи
Меню Edit (Редагування)		
<u>U</u>ndo (Ctrl+Z или U)		Скасування останньої закінченої команди зміни плати (включаючи команду Undo). Для скасування введення послідовності сегментів лінії використовують клавішу Backspace
<u>C</u>ut (Ctrl+X)		Видалення обраних об'єктів і внесення їх у буфер обміну Windows
<u>C</u>opy (Ctrl+C)		Копіювання обраних об'єктів у буфер обміну Windows для наступного розміщення на платі та в інших програмах по команді Past

C<u>o</u>py to <u>F</u>ile...		Копіювання обраного фрагмента схеми у файл
<u>P</u>ast(Ctrl+V)		Розміщення вмісту буфера обміну Windows, що занесено по командах Cut чи Copy програм PCAD2001 Schematic чи PCAD2001 PCB
		
P<u>a</u>st to <u>L</u>ayer		Розміщення об'єктів з буфера обміну Windows на іншому шарі, відмінним від того, з якого вони були скопійовані чи вирізані
P<u>a</u>st from <u>F</u>ile...		Розміщення фрагмента схеми з файлу
M<u>o</u>ve <u>B</u>y Ref Des		Пошук і вибір компонента проекту по заданому позиційному позначенню
M<u>o</u>ve To Layer (Shift+T)		Перенос на поточний шар обраних об'єктів, розташованих на одному шарі (дуги, лінії, області металізації, полігони, області заборони трасування, атрибути, текст, рядки даних)
P<u>r</u>op<u>e</u>rties...		Перегляд і редагування характеристик обраних об'єктів
<u>D</u>elete (Del)		Видалення обраних об'єктів
C<u>o</u>py <u>M</u>atrix...		Копіювання обраного об'єкта по горизонталі і/чи по вертикалі
E<u>x</u>plode Component		Перетворення обраного компонента в набір графічних символів для наступного редагування. Зворотне перетворення в компонент виконується по команді Library/Pattern Save As
A<u>l</u>ign Components		Вирівнювання компонентів
S<u>e</u>lect <u>A</u>ll		Вибір всіх об'єктів поточного листа схеми
D<u>e</u>select All		Скасування вибору всіх обраних раніше об'єктів
<u>H</u>ighlight		Фарбування обраного об'єкта в один із двох кольорів, установлених командою Options/Display/Display Colors. Колір повторного виконання цієї команди, виявляється після скасування вибору об'єкта
U<u>n</u>highlight		Скасування фарбування обраних раніше перефарбованих об'єктів, повернення їм колишнього кольору
U<u>n</u>highlight All		Скасування фарбування усіх раніше перефарбованих об'єктів
C<u>o</u>mponents...		Редагування обраного компонента. Можливий пошук компонента на платі по списку його позиційного позначення
<u>N</u>ets...		Редагування атрибутів обраного ланцюга, зміна імені і видалення ланцюга. Можливий вибір ланцюга зі списку і перехід на схемі до зазначеного вузла
<u>M</u>easure		Вимір відстані між двома будь-якими зазначеними на платі точками
<u>S</u>elect (S)		Включення режиму вибору об'єктів
Меню <u>V</u>iew (Перегляд)		
<u>R</u>edraw		----- активного вікна (переривання натисканням правої клавіші миші, або <i>Esc</i>)
<u>E</u>xtent		Зміна масштабу зображення так, щоб всі об'єкти активного вікна цілком розмістилися на екрані

<u>L</u>ast		Вивидення попереднього зображення на екран
<u>A</u>ll		Зміна масштабу зображення так, щоб все активне вікно цілком розмістилося на екрані
<u>C</u>enter (C)		Перекреслювання екрана з центруванням його зображення щодо розташування курсору. Натискання клавіші C дозволяє перемістити екран, не перериваючи поточну команду
<u>Z</u>oom <u>I</u>n (сірий +)		Збільшення масштабу зображення (центр полю чи зору вказують курсором, коефіцієнт масштабування Zoom Factor встановлюють у меню Options/Configure)
<u>Z</u>oom <u>O</u>ut (сірий –)		Зменшення масштабу зображення (центр полю чи зору вказується курсором, коефіцієнт масштабування Zoom Factor встановлюється в меню Options/Configure)
<u>Z</u>oom <u>W</u>indow (Z)		Виведення на весь екран обрамленої частини зображення
<u>J</u>ump <u>L</u>ocation...		Позиціонування курсору в крапці з заданими координатами X, Y
<u>J</u>ump <u>T</u>ext...		Позиціонування курсору в текстовому рядку, що має зазначену комбінацію символів
<u>C</u>ommand <u>T</u>oolbar		Включення/вимикання рядка інструментів системних команд
<u>P</u>lacement <u>T</u>oolbar		Включення/вимикання рядка команд розміщення
<u>P</u>rompt <u>L</u>ine		Включення/вимикання рядка повідомлень
<u>S</u>tatus <u>L</u>ine		Включення/вимикання рядка станів
<u>S</u>nap to <u>G</u>rid		Включення/вимикання дискретності переміщення курсору
Меню <u>P</u>lace (Розміщення)		
<u>A</u>utoplace...*		----- модуля авторозміщення компонентів програми SPECCTRA
<u>V</u>iew<u>L</u>og*		Перегляд протоколу авторозміщення компонентів
<u>C</u>omponent		Розміщення корпусу компонента (попередньо по команді Library/Setup потрібно відкрити бібліотеку, що містить потрібний компонент). Корпус обертається і дзеркально відбивається натисканням клавіш R і F
<u>C</u>onnection		Введення електричного зв'язку між виводами компонентів
<u>P</u>ad		Розміщення стека контактних площадок поточного стилю
<u>V</u>ia		Розміщення перехідного отвору (ПО) поточного стилю
<u>L</u>ine		Розміщення лінії поточної ширини (не мають електричних властивостей)
<u>A</u>rc		Розміщення дуги чи окружності поточної ширини
<u>P</u>olygon		Розміщення на поточному шарі зафарбованого багатокутника (полігона), що не має електричних властивостей. Курсором фіксують крапки зовнішнього контуру полігона
<u>P</u>oint		Розміщення точки прив'язки (прив'язки корпусу компонента Ref Point, крапки приклейки Glue Dot,

Copper Pour		крапки прив'язки виводів компонента Pick and Place) Розміщення на поточному шарі області металізації з різними типами штрихування (при його введенні треба враховувати товщину лінії контуру полігона)
Cutout		Розміщення на поточному шарі вирізу в області металізації
Keepout		Розміщення бар'єра трасування у виді лінії чи полігона на поточному чи на всіх сигнальних шарах
Plane		Створення лінії розділу шару чи металізації
Text		Уведення тексту (підключення шрифтів True Type і символів кирилиці неможливо)
Attribute		Введення атрибутів
Field		Розміщення рядка даних (дата, час створення плати, автор і ін.)
Dimension		Простановка розмірів
Меню Route (Трасування провідників)		
Autorouters...		Виклик автотрасувальників QuickRoute, PRO Route 2/4, PRO Route і SPECCTRA
View Log		Перегляд файлу звіту про трасування
Miter		Згладжування прямокутних вигинів провідників під кутом 45° чи дугами
Manual		Ручне трасування провідників
Interactive		Інтерактивне трасування провідників з огибанням перешкод і областей металізації й автоматичним завершенням з'єднання
Меню Options (Настроювання параметрів)		
Block Selection...		Настроювання фільтрів для виділення об'єктів усередині чи поза обраною областю
Configure...		Настроювання конфігурації (розмір робочої області, система одиниць, припустимі кути орієнтації провідників, створення файлу корекції ECO, перевірка дотримання технологічних обмежень, режим автозбереження та ін.)
Grids...		Визначення наборів сіток, установка абсолютної чи відносної сітки, введення початку координат відносної сітки, видимість сітки, характер ліній сітки
Display...		Установка колярів фарбування різних об'єктів на різних шарах, типу курсору та ін.
Preferences...		Завдання клавіатурних команд, "гарячих" клавіш і макросів, параметрів миші, розташування меню інструментів
Layers...		Перегляд і редагування властивостей шарів
Current Line...		Завдання ширини і стилю поточної лінії і дуги, розташовуваних командами Place/Line, Place/Arc, Place/Copper Pour, Place/Cutout, Route/Manual, Route/Interactive

C urrent K eepout...	Завдання топології бар'єра трасування у виді лінії чи полігона на поточному чи на всіх шарах
D esign R ules...	Завдання правил автотрасування: зазорів для контактних площадок, перехідних отворів, трас і комбінацій цих об'єктів, що належать ланцюгам і класам ланцюгів
N et C lasses...	Визначення класів ланцюгів
P ad S tyle...	Завдання типу поточного стека контактних площадок, перегляд і редагування їхнього списку
V ia S tyle	Завдання поточного ПО, перегляд і редагування списку ПО
T ext S tyle...	Завдання стилю тексту (ім'я стилю, висота, товщина ліній та ім'я шрифту). Шрифти True Type недоступні
Меню Library (Бібліотека)	
N ew...	Створення нової бібліотеки компонентів
A lias...	Призначення псевдонімів (додаткових чи альтернативних імен) компонентам чи корпусам
C opy...	Копіювання члена бібліотеки з одного файлу в інший
D elete...	Видалення члена бібліотеки чи його псевдоніма
R ename...	Перейменування корпусу чи компонента
S etup...	Відкриття файлів бібліотек, у яких знаходяться компоненти схеми
P attern S ave A s...	Занесення нового корпусу в одну з відкритих бібліотек
A rchive P arts...	Занесення в бібліотеку всіх компонентів, які знаходяться в поточному проєкті
Меню Utils (Утиліти)	
R enumber...	Перейменування позиційних позначень чи номерів виводів компонентів вручну чи автоматично
F orce U ppdate...	Заміна всіх компонентів обраного типу першим компонентом того ж типу, що знаходиться у відкритій бібліотеці
R ecord E COs...	Включення/вимикання режиму запису файлу змін схеми Engineering Change Order (ECO) для наступного коректування
I mport E COs...	Читання файлу ECO для коректування поточної плати
E xport E COs...	Збереження файлу коректування ECO у будь-який момент, не чекаючи збереження файлу плати
D RC	Перевірка дотримання технологічних обмежень
L oad N etlist...	Завантаження файлу списку електричних зв'язків у форматах ACCEL ASCII чи Tango для упакування схеми на плату. При наявності лінії контуру плати компоненти розставляються усередині нього, у протилежному випадку в лівому нижньому куті робочого вікна
G enerate N etlist...	Створення файлу списку електричних зв'язків у форматах ACCEL ASCII чи Tango
C ompare N etlist...	Порівняння списку з'єднань поточної плати зі списком з'єднань, що знаходиться у файлі формату ACCEL ASCII (.NET), Tango, P-CAD (.ALT)
O ptimize N ets...	Оптимізація списку з'єднань для мінімізації довжин з'єднань на платі шляхом перестановки логічно

Reconnect Nets...	еквівалентних секцій компонентів і їхніх виводів
ACCEL Schematic...	Зміна приєднання ланцюгів з урахуванням з'єднань, виконаних за допомогою областей металізації
ACCEL Lib Mgr...	Виклик програми ACCEL Schematic
	Виклик менеджера бібліотек ACCEL Library Manager
Меню Window (Вікно)	
<u>N</u>ew Window	Відкриття нового вікна
<u>C</u>ascade	Каскадне розташування відкритих вікон
<u>T</u>itle	Послідовне розташування відкритих вікон
<u>A</u>rrange Icons	Упорядкування розміщення іконок згорнутих вікон
<u>1</u> Untitled2	Список відкритих вікон (до 9 вікон в основному списку, інші в додатковому списку More Windows))
Меню Help (Допомога)	
<u>C</u>ontents (F1)	Вивидення списку розділів системи пошуку
<u>S</u>earch for Help on...	Пошук статті по однієї чи декільком першим буквам ключового слова
<u>H</u>ow to Use Help	Вказівки по налаштуванню і роботі з системою пошуку
<u>S</u>eries <u>I</u>I Commands	Список відповідностей редакторів плат Tango і PCAD2001
<u>A</u>bout ACCEL PCB...	Інформація про PCAD2001 PCB