

**О. М. Рейда, О. Н. Романюк, А. М. Петух**

# **СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. М. Рейда, О. Н. Романюк, А. М. Пєтух**

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ**

**Лабораторний практикум**

Вінниця  
ВНТУ  
2010

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2  
Р35

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №5 від 24.12.2009 р.)

Рецензенти:

**О. М. Роїк**, доктор технічних наук, професор  
**В. Ю. Кучерук**, доктор технічних наук, професор  
**О. О. Білик**, кандидат технічних наук

**Рейда, О. М.**

Р35 Системи автоматизованого проектування засобів обчислювальної техніки : лабораторний практикум / О. М. Рейда, О. Н. Романюк, А. М. Петух – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 86 с.

Лабораторний практикум призначено для проведення лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування засобів обчислювальної техніки" і буде корисним студентам напряму "Програмне забезпечення автоматизованих систем".

**УДК 681.3.06**  
**ББК 32.973.26-018.2**

## Зміст

ВСТУП .....	4
Організація і методика проведення лабораторних робіт .....	5
<b>Лабораторна робота № 1.</b> Метод зворотного розміщення елементів .....	20
<b>Лабораторна робота № 2.</b> Дослідження алгоритму розміщення методом попарної перестановки.....	25
<b>Лабораторна робота № 3.</b> Дослідження хвильового алгоритму Лі і променевого алгоритму трасування.....	30
<b>Лабораторна робота № 4.</b> Аналіз і синтез комбінаційних схем.....	37
<b>Лабораторна робота № 5.</b> Проектування електричних принципових схем у програмі "OrCAD Capture" .....	43
<b>Лабораторна робота № 6.</b> Проведення моделювання схем у програмі "OrCAD" .....	60
<b>Лабораторна робота № 7.</b> Налаштування проекту і розміщення компонентів в "OrCAD Layout Plus" .....	65
<b>Лабораторна робота № 8.</b> Трасування провідників в "OrCAD Layout Plus" .....	77
Література .....	85

## ВСТУП

Запропонований лабораторний практикум розроблено відповідно до програми дисципліни "Системи автоматизованого проектування засобів обчислювальної техніки" студентів спеціальності "Програмне забезпечення автоматизованих систем".

Якісне поставлення та проведення лабораторних занять дозволяє студентам глибше засвоїти теоретичні основи відповідної дисципліни, а також вивчити засоби, пристрої та системи і набути необхідних навичок для самостійного виконання практичних робіт, складання принципів електричних схем, написання програмного забезпечення для вирішення задач оптимізації розміщення і трасування, вміння аналізувати і робити узагальнюючі висновки за підсумками дослідів.

Самостійне творче проведення студентами лабораторних робіт можливе тільки при старанній підготовці. Вивчаючи теоретичні положення, які треба експериментально перевірити, студенти повинні ознайомитись із теоретичними відомостями до кожної роботи. З цією метою в першому розділі цього практикуму наведено загальну інформацію про систему автоматизованого проектування "OrCAD", а також подано загальні методичні вказівки для підготовки до проведення лабораторних робіт.

У першій частині робіт потрібно дослідити методи оптимізації розміщення елементів в дискретному координатному просторі друкованої плати, методи їх трасування. Для виконання робіт необхідно добре засвоїти методики оптимізації, трасування синтезу і аналізу компонентів.

У другій частині робіт потрібно набути практичних навичок роботи із системою автоматизованого проектування друкованих плат "OrCAD". Для виконання робіт необхідно добре засвоїти методики роботи для створення схем електричних принципів, їх аналіз і перевірку розміщення компонентів схеми на друкованій платі, методи трасування.

З метою полегшення та прискорення підготовки студентів до виконання робіт у кожній роботі даються короткі теоретичні відомості, а також вказується література, де описані ці питання більш широко. У кожній роботі, поряд із самостійними дослідженнями, передбачається аналіз отриманих результатів.

Кожна робота розрахована на дві години занять у лабораторії та передбачає обов'язкову самостійну підготовку до неї. Успішне самостійне виконання лабораторних робіт можливе лише при ретельній підготовці до них, що вимагає від студента необхідної систематичної праці з різними джерелами інформації.

## **Організація і методика проведення лабораторних робіт**

### ***В.1 Правила внутрішнього розпорядку в навчальній лабораторії***

На першому занятті в лабораторії студенти детально вивчають на робочих місцях правила внутрішнього розпорядку і інструкції з техніки безпеки, які вони повинні суворо виконувати протягом роботи в лабораторії.

Правила внутрішнього розпорядку в лабораторії складаються з таких основних вимог.

1. До роботи в лабораторії допускаються особи, які засвоїли правила з техніки безпеки та пройшли інструктаж з відповідною відміткою про це в спеціальному журналі з техніки безпеки.

2. Лабораторні роботи виконують за розкладом навчальних занять. Відпрацювання пропущених лабораторних робіт здійснюється за графіком, що узгоджений з деканатом.

3. Лабораторні роботи виконуються бригадами (2–3 чоловіки).

4. До роботи в лабораторії допускаються студенти, які виконали і захистили попередню лабораторну роботу. Перед початком занять викладач шляхом опитування визначає підготовку студента до поточної роботи. Непідготовлені студенти допускаються до виконання лабораторної роботи лише після додаткової підготовки безпосередньо в лабораторії.

5. Звіт про проведену лабораторну роботу складається один на бригаду і захищається перед черговим заняттям. Оцінка за захищену лабораторну роботу заноситься в журнал обліку виконаних лабораторних робіт. Звіт захищеної роботи не повертається.

6. При підготовці до лабораторної роботи студент зобов'язаний ознайомитись з теоретичними відомостями до виконання лабораторної роботи.

7. У випадку виходу з ладу обладнання через недотримання даних правил складається акт і передається ректору через деканат.

8. В лабораторії забороняється палити, смітити, голосно розмовляти, знаходитись у верхньому одязі, без необхідності переходити з місця на місце і захарашувати робочі місця сторонніми предметами.

9. Лабораторна робота вважається завершеною тільки тоді, коли виконані всі етапи роботи, проведені необхідні розрахунково-експериментальні роботи, передбачені програмою та прибрано робоче місце.

## ***В.2 Інструкція з техніки безпеки***

В аудиторіях виконуються лабораторні та практичні роботи, проводяться заняття зі слухачами з використанням обладнання, яке знаходиться під напругою до 1000 В.

До роботи в аудиторіях допускаються:

- студенти для виконання лабораторних робіт після інструктажу викладачами на першому занятті в кожному семестрі під розпис в журналі реєстрації інструктажу студентів на робочому місці;
- слухачі після інструктажу викладачами на першому занятті із заходів безпеки і оформлення допуску в журналі реєстрації інструктажу слухачів на робочому місці.

Всі лабораторні роботи та заняття слухачів виконуються тільки згідно з чинним розпорядком і у дні відповідно до розкладу занять під керівництвом викладачів.

Під час роботи потрібно бути уважним, не займатися сторонніми справами, не відволікати увагу працюючих.

Вмикання та роботу на персональному комп'ютері проводити тільки в присутності викладача згідно з інструкціями з експлуатації.

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

- починати роботу і заняття без вступного інструктажу співробітників і інструктажу на робочому місці;
- залишати персональний комп'ютер під напругою без догляду;
- з'єднувати та роз'єднувати кабелі та блоки при ввімкненій напрузі;
- працювати одному з персональним комп'ютером, який знаходиться під напругою;
- палити в приміщеннях, коридорах.

## ***В.3 Вимоги до звіту з лабораторної роботи***

Звіт повинен бути акуратно складений, на аркушах формату А4 з рамками. На титульному аркуші вказується: номер та назва роботи, шифр групи та номер бригади, а також прізвища та ініціали всіх членів бригади.

До складу звіту входять: мета роботи, програма досліджень, результати досліджень та розрахунків, опорні формули для розрахунків та загальні висновки. Результати лабораторної роботи повинні бути наведені з дотриманням вимог ДСТУ.

Звіт з лабораторної роботи складається один на бригаду. Захист лабораторної роботи здійснюється в складі бригади. Якщо з якихось причин студент захищає лабораторну роботу самостійно, то він має право подати копію звіту.

Звіт з лабораторної роботи повинен відповідати вимогам, що висуваються до звітів з промислових і наукових досліджень. Звіти, що не відповідають даним вимогам, неохайно оформлені до захисту не приймаються.

#### ***В.4 Методичні вказівки до використання системи автоматизованого проектування "OrCAD".***

##### ***Інтерфейс "OrCAD Capture"***

Програма " OrCAD Capture" призначена для створення проекту, одна частина якого може бути задана у вигляді принципової схеми, а інша – може бути описана мовою "VHDL". При створенні проекту кожного типу завантажуються відповідні бібліотеки компонентів з можливістю передавання інформації в програму "OrCAD Layout" для створення друкованих плат.

У верхній частині екрана програми "OrCAD Capture" розташовано меню команд, нижче – панель інструментів. Склад панелі інструментів залежить від обраного типу роботи і типу поточного проекту. Основними вікнами програми є вікно менеджера проектів "Project manager" і вікно редактора схем.

Менеджер проектів розташований у лівій частині екрана. У режимі "File" подано файлову структуру проекту, у режимі "Hierarchy" – ієрархічну структуру. Файлова структура містить ряд розділів: "Design resource" – опис проекту (файл проекту \*.dsn, файли окремих сторінок схеми, перелік компонентів "Design Cache", "VHDL" – файли, перелік використовуваних бібліотек компонентів \*.olb), "Outputs" – результати проектування. Менеджер проектів (МП) має свою панель інструментів, яка активна тільки тоді, коли активний сам менеджер проектів.

Подвійне натиснення лівої клавіші миші (ЛКМ) на імені файлу або на його значку завантажує його у відповідний редактор (редактор схем або текстовий редактор), натискання правої клавіші миші (ПКМ) на значку файлу або каталогу розвертає висхідне меню (pop - up menu), склад команд якого залежить від типу обраного об'єкта.


Редактор схем має власну панель інструментів, подану на рис. В.1. Панель може бути довільним способом розміщена в зручному для користувача місці на екрані, для цього натиснути ЛКМ і, після переміщення, "відпустити" у потрібному місці. Призначення піктограм панелі викладено в табл. В.1.











Рисунок В.1 – Панель інструментів редактора схем

Таблиця В.1 – Піктограми панелі інструментів

Піктограма	Еквівалентна команда	Опис команди
1	2	3
	Select	Режим вибору об'єктів
	Part	Вибір у бібліотеці компонента для розміщення його символу на схемі
	Wire	Рисування електричних зв'язків. При натисканні кнопки "Shift" можливе уведення неортогональних зв'язків
	Net Alias	Розміщення псевдонімів (додаткових імен) зв'язків і шин
	Bus	Зображення шини (лінії групового зв'язку)
	Junction	Нанесення точки електричного з'єднання двох зв'язків
	Bus Entry	Нанесення виводів від шини, розташованих під кутом 45°
	Power	Розміщення символів виводів джерел "живлення"
	Ground	Розміщення символів виводів джерел "земля"
	Hierarchical Block	Розміщення ієрархічних блоків
	Hierarchical Port	Розміщення портів ієрархічних блоків
	Hierarchical Pin	Розміщення виводів ієрархічних блоків
	Off-Page Connector	Розміщення символів з'єднувачів сторінок
	No Connect	Під'єднання до виводу компонента символу відсутності з'єднань

## Продовження таблиці В.1

1	2	3
	Line	Рисування лінії
	Polyline	Рисування ламаної лінії
	Rectangle	Рисування прямокутника
	Ellipse	Рисування еліпса/окружності
	Arc	Рисування дуги
	Text	Розміщення одного або декількох рядків тексту із вказанням його розміру, кольору, орієнтації і шрифту

### Створення проекту

Для створення нового проекту необхідно виконати команду "File/New Project", після чого в діалоговому вікні, що відкрилося, "New Project" (рис. В.2) у полі введення "Name" вказати ім'я проекту, а у полі введення "Location" – ім'я підкаталогу, де проект буде розташований. Типи проектів, подано у списку "Create a new Project Using". Після натискання "OK" з'явиться пропозиція додати підтримку моделювання в проект. Якщо необхідно провести моделювання, встановити прапорець "Enable project simulation" і вибрати підтримку моделювання цифрових пристроїв на базі "VHDL" - моделей. В іншому випадку натиснути "Next", а потім "Finish".

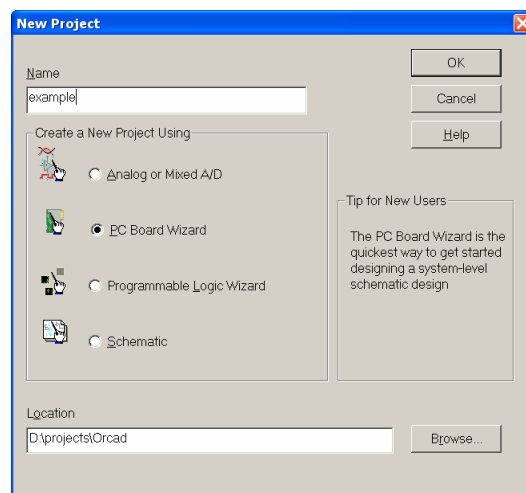


Рисунок В.2 – Вікно відкриття типу проекту

При встановленні прапорця, після натискання кнопки "Next" з'явиться діалогове вікно, у якому запропоновано вибрати бібліотеки символів, які будуть додані в проект (див. рис. В.3).

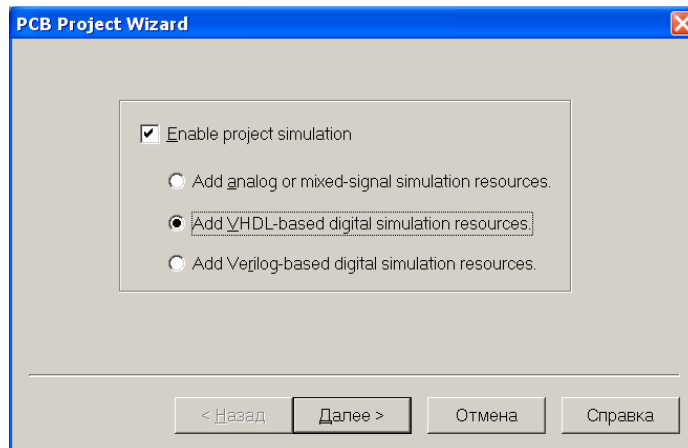


Рисунок В.3 – Вікно "PCB Project Wizard"

Перед створенням нового проекту у програмі "OrCAD Capture" необхідно задати параметри його конфігурації за допомогою трьох команд меню "Options" менеджера проектів:

- команда "Preferences" – задати параметри схеми, що зберігаються у файлі конфігурації "Capture.ini", вони ініціалізуються при кожному запуску програми "OrCAD Capture". *Зміни цих параметрів впливають як на виконання поточного проекту, так і будуть прийняті до уваги для раніше створених і завантажених для перегляду, що існують. Якщо проект створений в іншій системі "OrCAD", то до уваги будуть прийняті параметри, що записуються в поточному файлі "Capture.ini";*

- команда "Design Template" – задати параметри схеми, установлені за замовчуванням при створенні всіх нових проектів (вони заносяться в розділ "Design Template" файлу "Capture.ini". *Зміна цих параметрів не вносяться у вже існуючі схеми;*

- команда "Schematic Page Properties" – задати параметри індивідуальної поточної схеми.

### ***Настройка конфігурації проекту***

Команда "Options/Preferences".

На закладці "Color/Print" дана можливість переглянути і встановити кольори всіх об'єктів схеми (за допомогою палітри, яку можна відкрити натисканням лівої клавіші миші (ЛКМ) на зафарбований прямокутник), а також позначаються об'єкти, які повинні бути виведені на друк (для цього напроти імені об'єкта поставити позначку в графі "Print". Кольори графічних об'єктів (ліній, багатокутників і дуг) можна встановити на закладці "Miscellaneous", якщо ж на цій закладці зазначені кольори за замовчуванням "Default", то їх буде встановлено відповідно до кольорів графіки "Graphics" на закладці "Color/Print".

На закладці "Grid Display" необхідно вибрати стиль зображень сітки у вигляді точок "Dots" або ліній "Lines" окремо для редактора схем "Schematic" і символів "Symbol". На панелі "Displayed" вибирається режим відображення на екрані дисплея сітки, а на панелі "Pointer snap to grid" – режим "прив'язки" курсора до вузлів сітки при розміщенні об'єктів на схемі.

На закладці "Pan and Zoom" указано коефіцієнт збільшення/зменшення масштабу зображення "Zoom Factor" і коефіцієнт панорамування "Auto Scroll Percent" для редактора схем і символів (панорамування схеми, тобто її зсув без зміни масштабу, проводиться при наближенні курсора до границі робочого вікна).

На закладці "Select" устанавлюється можливість вибору об'єктів:

- якщо межа прямокутника для вибору тільки перетинає їх "Intersection"

- вони повністю перебувають усередині області вибору "Fully Enclosed".

На панелі "Maximum number of objects to display at high resolution while dragging" указано максимальну кількість об'єктів, що відображаються на екрані при їх виборі у вікні і переміщенні.

На закладці "Miscellaneous" вибирається стиль заливання замкнутих фігур "Fill Style", стиль і ширина ліній "Line Style and Width" і кольори графічних об'єктів "Color", а також шрифт, що буде використаний у менеджері проектів і файлі протоколу "Session Log". Крім того, устанавлюються такі параметри.

1. "Render True Type fonts with strokes" – зображення шрифтів "True Type" у вигляді растрових шрифтів (для виведення на друк).

2. "Fill text" – заливання шрифтів.

3. "Enable Auto Recovery" – автоматичне збереження файлів проектів, схем VHDL–текстів у каталозі \WINDOWS\TEMP\AUTOSAVE.

4. "Update every xxx minutes" – інтервал автозбереження файлів у хвилинах.

5. "Automatically reference placed parts" – автоматичне присвоювання позиційних позначень розташованим на схемі компонентам.

6. "Enable Intertool Communication" (ITC) – вмикання режиму перевірки і відображення результатів на екрані при обміні даними з іншими програмами системи "OrCAD", такими як "OrCAD Layout", "OrCAD PSpice" і "OrCAD Express". Наприклад, при вмиканні режиму "ITC" у програмах "OrCAD Capture" і "OrCAD Layout" устанавлено "гарячий" зв'язок "cross probing" між схемою і друкованою платою.

На закладці "Text Editor" конфігуровано текстовий редактор, що буде використано при роботі з "VHDL" – файлами. На панелі "Syntax

Highlighting" указуються кольори ключових слів, що відображаються, "Keywords", коментарів "Comments", рядків, взятих в лапки "Quoted Strings", і ідентифікаторів "Identifiers". На панелі "Current Font Setting" після натискання на кнопку "Set" буде встановлено розмір шрифту тексту і кольори змінних, що не відображаються. Зазначені об'єкти, що відображаються, буде показано при виборі панелі "Highlight Keywords", "Comments", "Identifiers", and "Quoted Strings". На панелі "Tab Spacing" указано інтервал табуляції текстового редактора.

Команда "Options/Design Template" визначає набір параметрів нових проектів, ряд з них може бути перевизначений для індивідуальних сторінок схеми.

На закладці "Fonts" визначаються шрифти текстів різних об'єктів, розташованих на схемі.

На закладці "Title Block" необхідно визначити текст, що буде внесено у різні графи основного напису (кутового штамп). Відрізняють основні написи двох типів: прийняті за замовчуванням і індивідуальні. У даному діалоговому вікні команди "Design Template" указано інформацію, що заноситься в основний напис за замовчуванням. При цьому основний напис розташовано в правому нижньому куті нового аркуша схеми, якщо на закладці "Title Block" правильно зазначено повне ім'я бібліотеки "Library Name" і ім'я графічного символу напису "Title Block Name". Редагування тексту, занесеного в основний напис для кожної схеми, необхідно виконати в схемному редакторі за командою "Edit/Properties". Індивідуально основні написи буде розміщено на схемі за командою "Place/Title Block".

На закладці "Page Size" вказано систему одиниць, що встановлена за замовчуванням "Inches" або "Millimeters", і розмір аркуша схеми A, B, C, D, E (в англійській системі), A4 (297×210 millimeters", A3, A2, A1, A0 (у метричній системі) або "Custom" (розміри задаються користувачем). У графі "Pin-to-Pin Spacing" указано мінімальну відстань між выводами компонентів при їх розташуванні на схемі. *Одночасно цей параметр визначає розмір кроку сітки.* При зміні параметра "Pin-to-Pin Spacing" автоматично буде змінено розміри символів при їх розміщенні на схемі. При зміні кроку сітки буде змінено і розміри символів компонентів.

На закладці "Grid Reference" установлюються параметри рамки, що розташована навколо аркуша схем:

- "Count" – кількість граф на рамці по горизонталі і вертикалі;
- "Alphabetic" – нумерація граф за абеткою;
- "Numeric" – нумерація граф у числовому порядку;
- "Ascending" – установити номери граф рамки в зростаючому порядку;
- "Descending" – установити номери граф рамки в спадному порядку;

- "Width" – ширина рамки по горизонталі і вертикалі;
- "Border Visible" – видимість меж сторінки на дисплеї "Displayed" і при виведенні на друк "Printed";
- "Grid Reference Visible" – видимість рамки аркуша схеми на дисплеї "Displayed" і при виведенні на друк "Printed";
- "Title Block Visible" – видимість основного напису на дисплеї "Displayed" і при виводі на друк "Printed";
- "ANSI grid references" – зображення рамки аркуша схеми за стандартом "ANSI".
- На закладці "*Hierarchy*" указуються параметри, прийняті за замовчуванням при створенні нових ієрархічних блоків "Hierarchical Blocks" і компонентів "Parts":
- "*Primitive*" – примітивні компоненти, що не мають ієрархічної структури;
- "*Nonprimitive*" – компоненти, що мають ієрархічну структуру.

На закладці "*SDT Compatibility*" встановлено відповідність восьми полів параметрів символів компонентів "OrCAD Capture" полям символів компонентів у форматі "DOS-версії" "OrCAD Schematic Design Tools" (SDT), що буде використано при збереженні проекту у форматі "SDT".

Зміну параметрів поточного проекту необхідно виконувати за командою "Options/Schematic Page Properties", що має закладки "*Page Size*", "*Grid Reference*", "*Miscellaneous*".

### ***Поняття символів, компонентів та їх бібліотек***

Бібліотеки символів компонентів подано файлами з розширенням імені .olb, у яких міститься вся інформація, необхідна для створення принципових схем і передавання в інші програми системи "OrCAD". Нижче наведено пояснення основних термінів, прийнятих в "OrCAD".

Дискретні елементи, такі як транзистори, конденсатори, інтегральні схеми і ін. називаються компонентами "Component". "Part" – умовне графічне зображення або символ компонента на принциповій схемі. Деякі компоненти складаються з декількох секцій.

Якщо всі секції проекту однакові, його називають однорідним "Homogeneous", у протилежному випадку неоднорідним "Heterogeneous". Інформацію про пакет компонентів названо "Package" (термін "Part" позначає як символ окремої секції, так і всього компонента).

Графічна проекція фізичного корпусу всього компонента на друковану плату названо "відбитком" "Footprint". При цьому на відміну від бібліотек символів (файли з розширення .olb), бібліотеки відбитків корпусів компонентів є файли з розширенням .lib.

Файли бібліотек символів відкриваються в менеджері проектів за командою "File/Open/Library". Після натискання на значок "+" на рядку з ім'ям бібліотеки виводиться її каталог. Вибираючи в цьому каталозі

компонент, їх можна звичайним чином видаляти і копіювати в інші бібліотеки.

При розміщенні на схемі першого символу буде створено кеш проекту "Design cache", у який цей символ було скопійовано з бібліотечного файлу. За командою "Design/Replace Cache" буде відбуватися відновлення символів у поточному проекті.

Бібліотеки символів (файли \*.olb) програми "Capture" містять більше 30 тис. елементів. При створенні проекту необхідно продумати, якими бібліотеками треба скористатися в кожному конкретному випадку з урахуванням прийнятої послідовності проектування (див. табл. В.2).

У каталозі "Capture\Library\PSpice" розміщено бібліотеки символів \*.olb і математичні моделі компонентів \*.lib, що будуть використані при моделюванні за допомогою програми "PSpice", причому сюди включено практично всі символи графічного редактора "MicroSim Schematics" системи "DesignLab 8.0" і відповідні їм математичні моделі.

Ряд бібліотек символів з каталогу \Capture\Library\PSpice не містить інформації про пакування компонентів, посилань на їх корпуси і чисельні значення параметрів математичних моделей (ці значення вводяться безпосередньо на схемі).

Таблиця В.2 – Стандартні бібліотеки "OrCAD"

<b>Послідовність проектування</b>	<b>Розширення імен файлів бібліотек</b>	<b>Ім'я підкаталогу розташування бібліотек</b>
Створення цифрових і змішаних схем "OrCAD Capture"	olb – символи компонентів	\Capture\Library \Capture\Library
Моделювання змішаних схем "OrCAD PSpice", моделювання цифрових схем "OrCAD Express"	lib – математичні моделі компонентів vhd – математичні моделі компонентів	\Capture\Library\PSpice \Capture\Library\PSpice
Розроблення друкованих плат "OrCAD Layout"	llb – типові корпуси "Footprints" компонентів	\Layout\Library


У підкаталогах \Capture\Library\Actel, \Capture\Library\Altera,..., \Capture\Library\Xilinx знаходяться бібліотеки символів і їх "VHDL-описи, що використовуються в проектах типу "Programmable Logic.

### ***Розміщення графічних об'єктів і тексту***

Графічна інформація вводиться на схему у результаті виконання команди "Place/Line", "Polyline", "Rectangle", "Ellipse" і "Arc". Ця інформація носить допоміжний характер, у такий спосіб не можна, наприклад, створювати електричні провідники. Стили виконання графіки за замовчуванням устанавлюються на закладці "Miscellaneous" у вікні команди "Options/Preferences". Після нанесення відрізків ліній або дуг за командами "Place/Line", "Place/Polyline" і "Place/Arc" можливо їх редагування за допомогою діалогового вікна "Edit Graphic". На ньому необхідно вибрати:

- "Line Style & Width" – тип лінії (суцільна, пунктирна та ін.) і її товщина (0,2,0,8 і 2 мм);
- "Color" – кольори лінії;
- при редагуванні замкнутих фігур, крім зазначених вище параметрів потрібно вибрати тип заливання "Fill Style".

Для підвищення роздільної здатності при кресленні графіки можна вимкнути режим прив'язки курсора до вузлів сітки (на закладці "Grid Display" у вікні команди "Options/Preferences", при цьому крок переміщення курсора становить 10% від кроку сітки.

Текст наноситься на схему за командою "Place/Text" або натисканням на кнопку  панелі інструментів. Попередньо текст вводиться в діалогове вікно "Place Text", для переносу тексту на новий рядок потрібно примусово натиснути клавіші "Ctrl+Enter", у якому вказана орієнтація тексту і кольори шрифту.

### ***Перевірка правил проектування схеми***

Для прискорення розроблення і контролю помилок увімкнути контроль з'єднань – "Design Rules Check". Для виявлення помилок у схемі виконати команду "Tools/Design Rules Check" (DRC). Звіт про перевірку заноситься у файл \*.drc і проходить дублювання у файлі протоколу "Session Log" (за вказанням користувача місця розташування помилок позначаються на схемі спеціальними "DRC" - маркерами. У звіт заносяться повідомлення про порушення правил проектування двох типів:

- "Errors" – помилки, які обов'язково повинні бути виправлені;
- "Warnings" – попередження, які можуть привести до помилок при моделюванні проекту (реагувати на них необов'язково).

Після запуску команди "Design Rules Check" буде відкрито діалогове вікно для задання правил перевірки, що має дві закладки (рис. В.4).



На закладці "*Design Rules Check*" потрібно встановити характер і тип інформації, що включена у звіт про перевірку:

- "Scope" – перевірка проекту "*Check entire design*", обраної сторінки або декількох сторінок "*Check selection*";

- "Action" – перевірка дотримання всіх правил проектування "*Check design rules*" і видалення зі схеми нанесених раніше "DRC - маркерів";

- "Report" – вибір інформації, що включена у звіт про перевірку:

- "Create DRC markers for warnings" — розміщення символів "DRC" для попередження про можливі помилки відповідно до правил, заданих в таблиці "ERC" (у місцях виникнення безумовних помилок "DRC – маркери проставляються завжди);

- "Check hierarchical port connections" – перевірка збігу імен ієрархічних виводів і відповідних ієрархічних портів схеми заміщення, а також збігу загальної кількості і типів всіх виводів;

- "Check off-page connector connections" – перевірка збігу імен міжсторінкових з'єднувачів (приєднаних до провідників з однаковими іменами), що розташовані на різних сторінках схеми;

- "Report identical part references" – включення у звіт списку компонентів, що мають однакові позиційні позначення;

- "Report invalid packaging" — включення у звіт списку компонентів, що мають однакові корпуси, але різну пакувальну інформацію;

- "Report hierarchical ports and off-page connectors" – складання списку всіх портів ієрархічних блоків і міжсторінкових з'єднувачів;

- "Check unconnected nets" – виявлення провідників, що не з'єднані з виводами компонентів або не під'єднані до джерел зовнішніх сигналів, а також провідників, що мають на різних сторінках схеми однакові імена, але до яких не під'єднані міжсторінкові з'єднувачі або ієрархічні порти;

- "Check SDT compatibility" – перевірка сумісності із графічним редактором принципів схем "OrCAD SDT" для "DOS" (ця сумісність необхідна, якщо передбачено зберегти схему проекту у форматі "OrCAD SDT");

- "Report off-grid objects" – складання списку імен і координат об'єктів, розташованих не у вузлах сітки;

- "Report all net names" — складання списку всіх імен провідників;

- "Report File" — присвоєння імені файлу звіту (за замовчуванням ім'я збігатиметься з ім'ям проекту, розширення імені .drc);

- "View Output" — перегляд на екрані результатів перевірки.

На закладці "*ERC Matrix*" устанавлюються правила перевірок міжвивідних з'єднань, які записуються у вигляді матриці "*Electrical Rules Check*". На рядках і стовпцях матриці зазначені типи виводів компонентів і порти. Незафарбована комірка означає дозвіл з'єднання відповідних виводів, попередження позначаються символом "W", помилки – символом "E".

Наприклад, відповідно до зображеного на рис. В.4, б матриці "ERC", з'єднання "Output-Input" (Вхід-вихід-вихід-вхід) дозволено, про з'єднання "Open Emitter-Open Collector" (Відкритий емітер – Відкритий колектор) буде винесене попередження, а з'єднання "Power-Output" буде вважатися помилкою.

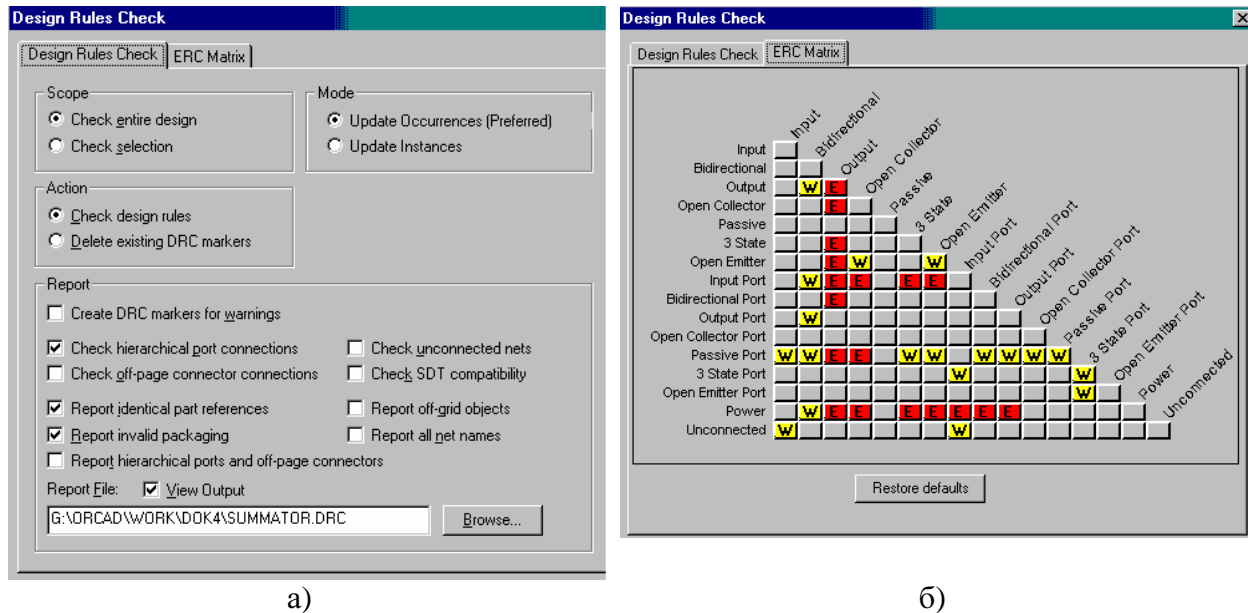


Рисунок В.4. - Панелі, що визначають конфігурацію команди "Design Rules Check"

Перед виконанням команди "Design Rules Check" необхідно відредагувати зміст матриці "ERC" у відповідність із особливостями поточного проекту.

В редакторі друкованих плат "OrCAD Layout" модуль "DRC" (якщо невідключений) стежить за всіма маніпуляціями із провідниками і елементами, і при зміні рисунка схеми, пропонує змінити всі файли.

### ***Підготовка результатів проектування***

До результатів проектування в "OrCAD Capture" відносять:

- список електричних з'єднань проекту (файл "Netlist");
- різні форми звітів про використані елементи (специфікації проекту);
- друк принципових схем і текстових файлів проекту.

### ***Складання списку з'єднань***

Файл списку з'єднань (розширення .mnl) містить основну інформацію для наступної стадії проектування зі створення друкованої плати в системі "OrCAD Layout" (список з'єднань, складений мовою "VHDL", буде використаний при моделюванні схеми). Генерацію списку з'єднань проекту буде ініціалізовано в режимі менеджера проекту командою "Tools/Greate Netlist". У діалоговому вікні цієї команди є 9 закладок для вибору формату списку з'єднань. Перші 8 закладок пов'язані з форматами, вибір яких визначено типом програмного продукту, що буде використано для наступної стадії проектування. Необхідно вибрати закладку "Layout" і вибрати опції, що конкретизують форму вихідного файлу.

1. "Run ECO "Engineering Change Order" to Layout" – дозволяє автоматичне внесення змін у принципову схему при внесенні змін у друкованій платі або в плату, за результатами змін у принциповій схемі (дуже важлива опція).

2. "User Properties are in inches/millimeters" – установлює в проєкті систему одиниць виміру.

### ***Складання звітів***

В "OrCAD Capture" існує три команди створення специфікації проекту: "Tools/Bill of Materials", "Tools/Cross Reference" і "Reports/CIS Bill of Materials". У лабораторних роботах обмежимося формуванням найбільш простого з них – звіту за командою "Tools/Cross Reference". У діалоговому вікні "Cross Reference Parts" вибираються такі опції:

а) "Scope" – складання звіту для всього проекту "Cross reference entire design" або його обраної частини "Cross reference selection";

б) "Sorting" – (сортування):

1) "Sort output by part value, then by reference designators" – сортування рядків звіту спочатку за параметрами компонентів і потім за їх позиційними позначеннями;

2) "Sort output by reference designators, then by part value" – сортування рядків звіту спочатку за позиційними позначеннями компонентів, а потім за їх параметрами;

3) "Report" (звіт):

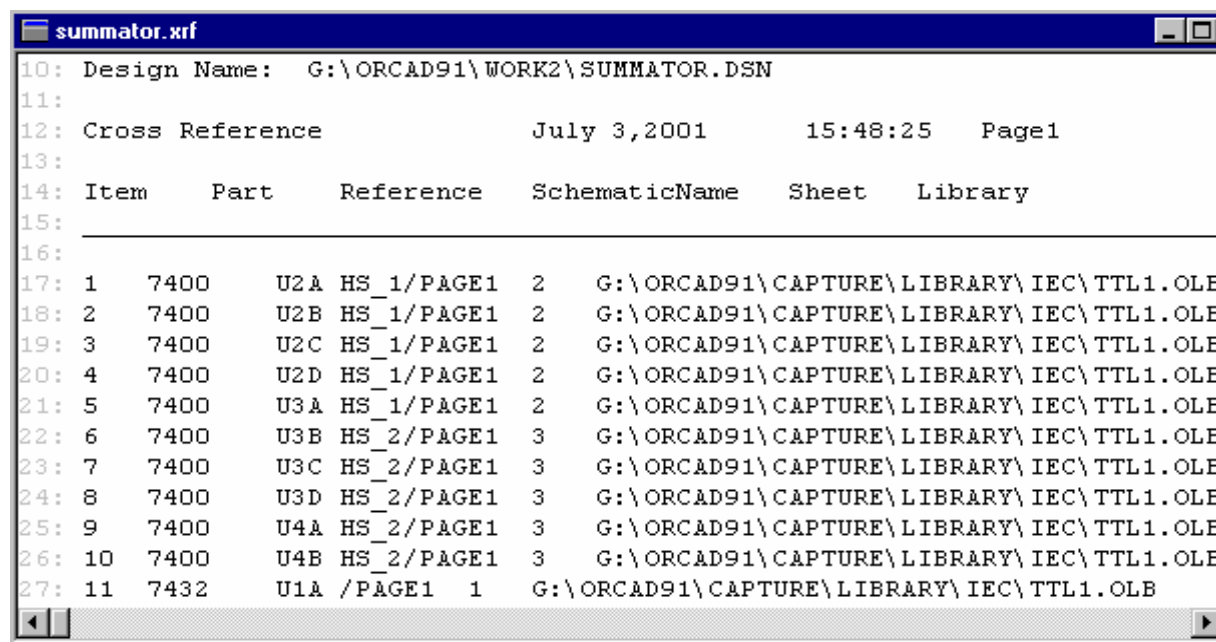
- "Report the X and Y coordinates of all parts" – виведення у звіт координат X, Y розташування всіх компонентів на схемі;

- "Report unused parts in multiple part packages" – виведення у звіт інформації про невикористані секції багатосекційних компонентів;

в) "Report File" – ім'я файлу звіту (за замовчуванням \*.xrf).

г) "View Output" – виведення на екран для попереднього перегляду.

На рис. В.5 наведено приклад фрагмента звіту специфікації типу "Cross Reference".



```
10: Design Name:  G:\ORCAD91\WORK2\SUMMATOR.DSN
11:
12: Cross Reference          July 3,2001      15:48:25   Page1
13:
14: Item    Part    Reference  SchematicName  Sheet  Library
15: -----
16:
17: 1      7400    U2A HS_1/PAGE1  2      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
18: 2      7400    U2B HS_1/PAGE1  2      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
19: 3      7400    U2C HS_1/PAGE1  2      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
20: 4      7400    U2D HS_1/PAGE1  2      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
21: 5      7400    U3A HS_1/PAGE1  2      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
22: 6      7400    U3B HS_2/PAGE1  3      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
23: 7      7400    U3C HS_2/PAGE1  3      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
24: 8      7400    U3D HS_2/PAGE1  3      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
25: 9      7400    U4A HS_2/PAGE1  3      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
26: 10     7400    U4B HS_2/PAGE1  3      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
27: 11     7432    U1A /PAGE1  1      G:\ORCAD91\CAPTURE\LIBRARY\IEC\TTL1.OLB
```

Рисунок В.5 – Фрагмент звіту специфікації проекту типу "Cross Reference"

### ***Виведення на принтер***

Для виведення даних на принтер використовуються стандартні діалогові вікна "Windows" "Print Setup", "Print Preview" і "Print". Для виведення на друк сторінки схеми, текстового файлу звіту і под. треба виконати дії у такому порядку.

1. За командою "Print Setup" меню "File" задати конфігурацію принтера;

2. За командою "Print Preview" меню "File" задати параметри.

## Лабораторна робота № 1

### Метод зворотного розміщення елементів

*Мета:* ознайомитись з методом зворотного розміщення елементів та набути практичних навичок використання.

#### 1.1 Основні теоретичні відомості

Мета алгоритму полягає у розміщенні в дискретному координатному просторі елементів таким чином, щоб забезпечити максимальний критерій якості.

Завдання зводиться до знаходження таких позицій, у яких оптимізовано обраний показник якості і забезпечено найкращі умови для подальшого електричного монтажу.

Для оцінювання якості розміщення елементів використовують критерії, що безпосередньо пов'язані з отриманням оптимального рисунка металізації друкованої плати. Результат оптимізації на етапі розміщення знаходиться після вирішення задач розміщення і трасування комплексно, що неможливо внаслідок великих затрат. Тому алгоритми, що застосовуються для розміщення використовують проміжні критерії, які лише якісно сприяють вирішенню основної мети: отримання оптимального трасування між компонентами. До таких критеріїв відносяться.

1. Мінімальна сумарна довжина провідників.
2. Мінімальна довжина окремого провідника.
3. Максимальна щільність розміщення елементів на платі.

Найбільшого поширення в алгоритмах розміщення отримав перший критерій, який зменшує довжину зв'язків, і покращує електричні характеристики пристрою, спрощує трасування друкованих плат і є порівняно простим в реалізації.

Для роботи алгоритму буде використано схему місць, подану на рис. 1.1 і схему з'єднань подану на рис. 1.2.



Рисунок 1.1 – Схема місць елементів

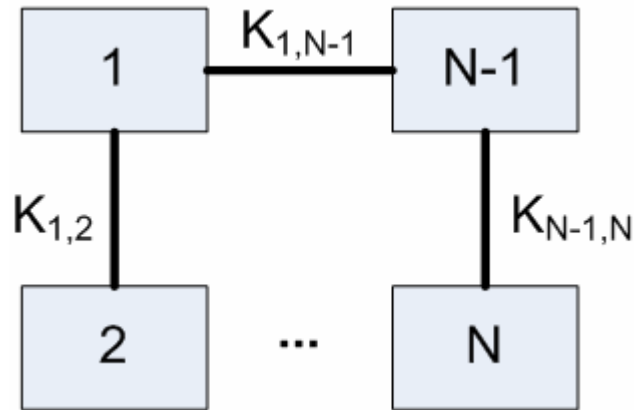


Рисунок 1.2 – Схема з'єднань елементів

Відповідно до поданої на рис. 1.1 схеми необхідно створити матрицю відстаней. Матриця відстаней являє собою квадратну матрицю з розмірністю, що відповідають загальній кількості елементів схеми та нульовою діагоналлю. Елементи матриці дорівнюють сумарній кількості з'єднань між елементами. Відстані розраховано за формулою (1.1).

$$D_{i,j} = \sum_{x=i}^j S_x, \quad (1.1)$$

де  $D_{i,j}$  – значення елемента матриці відстаней;  
 $i, j$  – індекси стовпця і рядка, відповідно;  
 $S_{i,j}$  – довжини зв'язків між елементами.

Розрахунок елементів вектора-стовпця, що характеризує сумарну довжину зв'язків між елементом вектора-стовпця і іншими елементами схеми місць виконується за формулою (1.2)

$$D^*_j = \sum_{i=1}^n D_{i,j}, \quad (1.2)$$

де  $D^*_j$  – значення елемента вектора;  
 $D_{i,j}$  – значення елемента матриці відстаней;  
 $i, j$  – індекси стовпця і рядка.

Відповідно до поданої на рис. 1.2 схеми сформовано матрицю зв'язків, що являє собою квадратну матрицю з нульовою діагоналлю. Елементи матриці дорівнюють сумі безпосередніх з'єднань між елементами. Кількість зв'язків між елементами розраховано за формулою (1.3).

$$C_{i,j} = K_{i,j}, \quad (1.3)$$

де  $C_{i,j}$  – значення елемента матриці зв'язків;  
 $i, j$  – індекси стовпця і рядка, відповідно;  
 $K_{i,j}$  – кількість зв'язків між елементами.

Розрахунок елементів вектора-стовпця, що враховує сумарну кількість зв'язків для кожного елемента схеми виконується за формулою (1.4).

$$C^*_j = \sum_{i=1}^n C_{i,j}, \quad (1.4)$$

де  $C^*_j$  – значення елемента вектора;  
 $C_{i,j}$  – значення елемента матриці зв'язків;  
 $i, j$  – індекси стовпця і рядка.

Розміщення найбільш завантажених елементів виконується у найменш віддалених місцях таким чином, щоб такі елементи вектора сум зв'язків розташувати у найменш віддалених (найменша довжина зв'язків) місцях відповідно до вектора сум відстаней, корегуючи схему місць елементів подану на рис. 1.1, відповідно (1.5), (1.6)

$$D^*_j = \sum_{i=1}^n D_{i,j}, \quad (1.5)$$

$$C^*_j = \sum_{i=1}^n C_{i,j}, \quad (1.6)$$

Недоліком алгоритму є те, що він не забезпечує оптимального варіанта, але дає можливість на 10-20% зменшити сумарну довжину провідників. Цей алгоритм може бути використано для початкового розміщення елементів.

Для оцінювання ефективності розміщення використано сумарну довжину провідників, що обчислена як половина суми добутків кожного елемента матриці  $C$  на відповідний елемент матриці  $D$ .

$$K = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (D_{i,j} \times C_{i,j}) / 2, \quad (1.7)$$

де  $C$  – матриця зв'язків;  
 $D$  – матриця відстаней;  
 $i, j$  – індекси стовпця і рядка.

## ***1.2 Порядок виконання роботи***

1. Відповідно до схеми місць елементів створити матрицю відстаней.
2. Розрахувати вектор-стовпець відповідно до матриці відстаней.
3. Створити матрицю зв'язків відповідно до поданої схеми з'єднань елементів.
4. Розрахувати вектор-стовпець відповідно до матриці зв'язків.
5. Провести розміщення найбільш завантажених елементів у найменш віддалених місцях таким чином, щоб найбільш завантажені елементи вектора сум зв'язків розташувати у місцях найменш віддалених відповідно до вектора сум відстаней, корегуючи схему місць елементів.
6. Визначити критерії якості.
7. Порівняти значення критеріїв якості початкової і оптимізованої схеми, зробити висновки.

## ***1.3 Зміст звіту***

1. Мета та цілі роботи.
2. Розрахункова частина. (Основні розрахункові формули та розрахунок)
3. Програма, написана мовою програмування (C++, C# , Pascal), що виконує задачу поставлену у лабораторній роботі.
4. Висновки.

## ***1.4 Контрольні запитання***

1. Принципи роботи алгоритму розміщення.
2. Які критерії використовуються для оцінювання якості розміщення елементів?
3. Як формуються матриця і вектор довжин зв'язків?
4. Як формуються матриця і вектор кількості зв'язків?
5. Як проводиться оптимізація використовуючи вектори сум довжин і кількості зв'язків?
6. Замініть позиції 1 та 3 елементів і сформууйте матриці довжин і кількості зв'язків між елементами схеми розміщення.
7. Замініть кількість зв'язків між 2 та 5 елементів і сформууйте матриці довжин і кількості зв'язків між елементами схеми розміщення.



### 1.5 Варіанти завдань

Таблиця 1. 1 – Варіанти завдань

Номер	Схема місць	Схема з'єднань
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

## Лабораторна робота № 2

### Дослідження алгоритму розміщення методом попарної перестановки

*Мета:* вивчити алгоритм розміщення методом попарної перестановки і набути навичок його використання.

#### 2.1 Теоретичні відомості

Послідовні алгоритми основані на послідовному закріпленні заданого набору конструктивних елементів на комутаційній платі, відносно раніше встановлених, для отримання оптимального розміщення в сусідніх позиціях. Як закріплені на платі елементи вибирають роз'єми, що розставляють по краях плати або в місцях, що максимально відповідають вимогам технічного завдання на проектування. При цьому всі контакти роз'ємів буде рівномірно розподілено по стовпцям і рядкам координатної сітки. На кожному  $l$ -ому кроці ( $l = 1, 2, \dots, n$ ) для установаження на комутаційну плату вибирають елемент  $r_i^l$  із числа ще не розміщених, що має максимальний ступінь зв'язності з раніше закріпленими елементами  $r_n^{l-1}$ . У більшості алгоритмів, що використовують, оцінювання ступеня зв'язності проводять за однією з таких формул:

$$\Phi_i^{(l)} = \sum_{j \in J_{l-1}} C_{ij}, \quad (2.1)$$

де  $c_{ij}$  – коефіцієнт зваженої зв'язності елементів  $i$  і  $j$ ;  
 $\Phi$  – множина індексів елементів, закріплених на попередніх  $(l-1)$  - кроках;  
 $n$  – загальна кількість розміщених елементів.

$$\Phi_i^{(l)} = 2 \sum_{j \in J_{l-1}} C_{ij}, \quad (2.2)$$

де  $c_{ij}$  – коефіцієнт зваженої зв'язності елементів  $i$  і  $j$ ;  
 $\Phi$  – множина індексів елементів, закріплених на попередніх  $(l-1)$  - кроках;  
 $n$  – загальна кількість розміщених елементів.

Якщо встановлювальні розміри всіх розташованих на платі елементів однакові, то обраний на поточному кроці елемент  $r_i^l$  буде закріплено у тій позиції  $t_j^l$  із числа незайнятих, для якої значення цільової функції  $F_j^l$  з врахуванням раніше розміщених елементів  $r_j^{l-1}$  є мінімальним. Якщо критерієм оптимальності є мінімум сумарної зваженої довжини з'єднань, то:

$$F_i^{(l)} = \min_{t_l \in T/T_{l-1}} \sum_{j \in J_{l-1}} c_{ij} d_{jj}, \quad (2.3)$$

де  $d_{ij}$  – відстань між  $l$ -ою позицією устанавлення елемента  $r_i^l$  і позицією розміщеного раніше елемента  $r_j^{l-1}$ ;

$c_{ij}$  – множина позицій, що зайняті елементами  $(l-1)$ -го кроку алгоритму.

Процес розміщення буде закінчено після виконання  $n$  кроків алгоритму.

Алгоритми, що використовують послідовний процес розміщення елементів, є самими швидкодійними у наш час. Однак за якістю розміщення послідовні алгоритми поступаються ітераційним. Тому їх використовують для початкового розміщення елементів на платі.

## 2.2 Порядок виконання роботи

Розміщення за методом попарної перестановки елементів проводиться таким чином.

1. Відповідно до поданої схеми визначити елементи схеми, що є роз'ємами або служать для під'єднання інших блоків і розмістити їх на одній із сторін плати.

2. Розмістити елементи на схемі місць так, щоб вони знаходились максимально близько до елементів, з якими мають максимальну кількість зв'язків. Для першочергового розміщення необхідно використовувати елементи, що мають максимальну кількість з'єднань з устанавленими і мінімальну із неустанавленими. Вибраний елемент буде розміщено на вільному місці в монтажному просторі, яке відповідає мінімуму суми відстаней цієї вершини від всіх закріплених вершин з якими вона зв'язана. Встановлена таким чином вершина є закріпленою. Наступну незакріплену вершину потрібно вибрати аналогічно, поки всі вершини графа не будуть закріплені в монтажному просторі.

3. Відповідно до схеми створити матриці зв'язків  $C$  і довжин  $D$ .

4. Для оцінювання ефективності розміщення необхідно використати сумарну довжину провідників, яку обчислено як половина суми добутків кожного елемента матриці  $C$  на відповідний елемент матриці  $D$ .

5. Порівняти значення критеріїв якості початкової і оптимізованої схеми, зробити висновки.

### 2.3 Зміст звіту

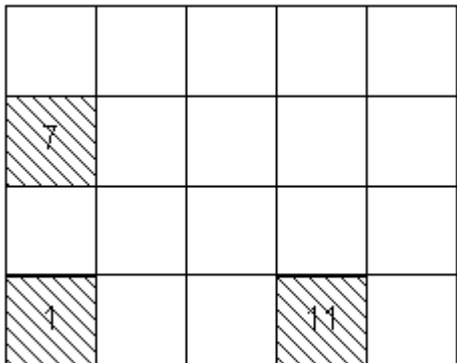
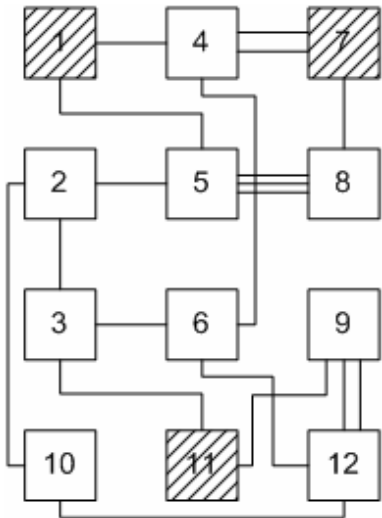
1. Мета та цілі роботи.
2. Розрахункова частина. (Основні розрахункові формули та розрахунків).
3. Програма, написана мовою програмування (C++, C# , Pascal), що виконує задачу поставлену у лабораторній роботі.
4. Висновки.

### 2.4 Контрольні запитання

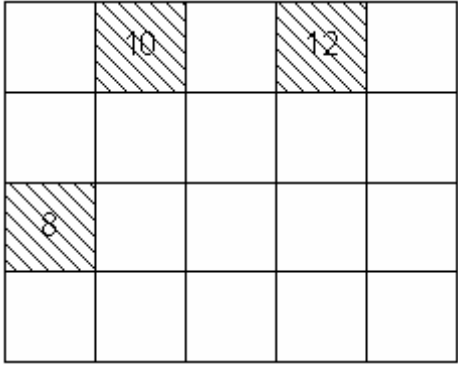
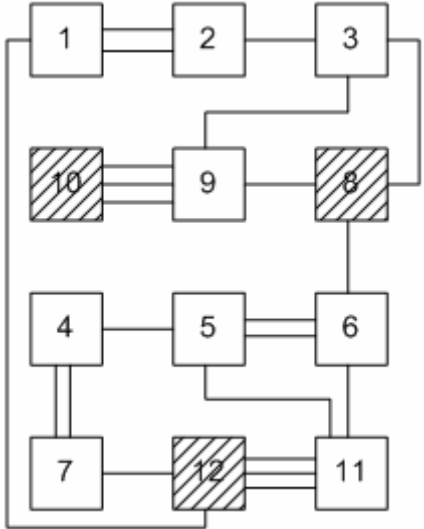
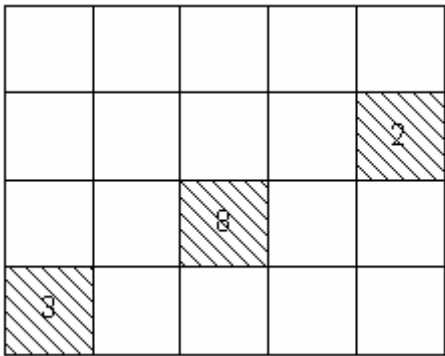
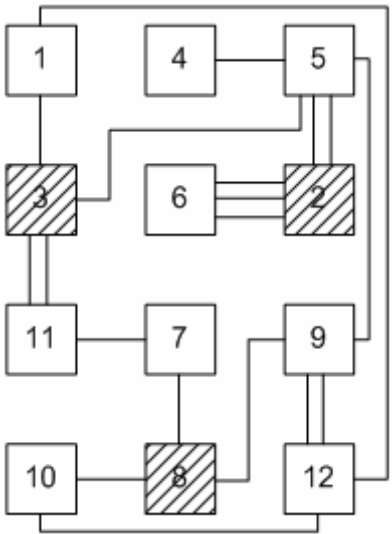
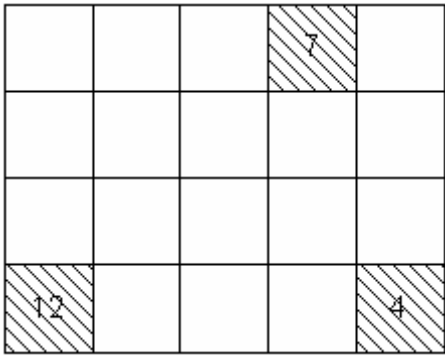
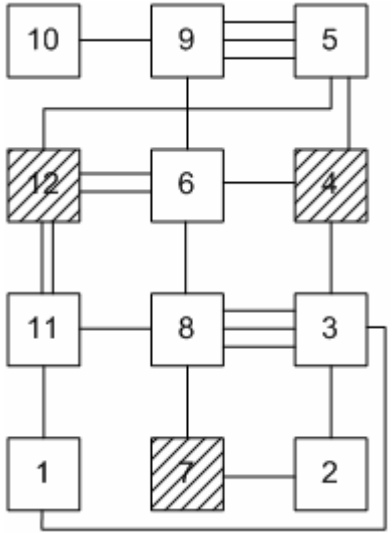
1. Принципи роботи алгоритму розміщення.
2. До якої групи алгоритмів відноситься метод попарної перестановки?
3. Які критерії використовуються для оцінювання якості розміщення елементів?
4. Наведіть черговість розміщення елементів у монтажному просторі.
5. Які елементи мають пріоритет при розміщенні?
6. Як розміщуються елементи на кожному кроці алгоритму?
7. Поясніть перший крок роботи алгоритму розміщення.

### 2.5 Варіанти завдань

Таблиця 2. 1 – Варіанти завдань

№	Схема місць	Схема з'єднань
1	2	3
1		

Продовження таблиці 2. 1

1	2	3
2		
3		
4		

Продовження таблиці 2. 1

1	2	3
5		
6		
7		

## Лабораторна робота № 3

### Дослідження хвильового алгоритму Лі і променевого алгоритму трасування

*Мета:* вивчити хвильовий алгоритм Лі і променевий алгоритм трасування та набути навичок використання.

#### 3.1 Теоретичні відомості

##### Хвильовий алгоритм Лі

Даний алгоритм є класичним прикладом використання методів динамічного програмування для вирішення задач трасування друкованих плат. Основні принципи побудови трас за допомогою динамічного алгоритму зводяться до такого.

1. Всі місця монтажного поля поділяють на зайняті і вільні. Зайнятими вважаються місця, у яких уже розташовані провідники, побудовані на попередніх кроках, або знаходяться монтажні виводи елементів, а також місця, що відповідають межі плати і забороненим для прокладання провідників ділянкам.

2. При проведенні нової траси дозволено використовувати тільки вільні місця, число яких з проведенням трас буде скорочено.

3. На просторі вільних місць комутаційного поля необхідно моделювати хвилю впливу з однієї точки в іншу, що з'єднують загальним провідником.

Місце, де починається хвиля впливів, називають джерелом, а наступні місця – спадкоємцем хвилі. Щоб мати можливість стежити за проходженням фронту хвилі впливів, його фрагментам на кожному етапі присвоюють деякі ваги:

$$P_k = P_{k-1} + \varphi(f_1, f_2, \dots, f_g), \quad (3.1)$$

де  $P_k$  і  $P_{k-1}$  – ваги місць  $k$ -го і  $(k-1)$ -го фронтів;  
 $\varphi(f_1, f_2, \dots, f_g)$  – вагова функція, що є показником якості проведення шляху, кожен параметр якої  $f_i$  ( $i=1, 2, \dots, g$ ) характеризує шлях з точки зору одного із критеріїв якості (довжини шляху, кількість перегинів).

На  $P_k$  накладають одне обмеження – ваги місць попередніх фронтів не повинні бути більше ваг місць наступних фронтів. Фронт буде поширено тільки на сусідні місця, які мають із місцями попереднього фронту або загальну сторону, або хоча б одну загальну точку. Процес

поширення хвилі триває поки її фронт не досягне приймача або на  $n$ -ому кроці не знайдеться ні одного вільного місця, що могло б бути включене в черговий фронт, що відповідає випадку неможливості проведення траси при заданих обмеженнях.

Якщо в результаті поширення хвиля досягла приймача, то здійснюють "проведення шляху", що полягає в русі від приймача до джерела пройденими на етапі поширення хвилі місцями, стежачи за тим, щоб значення  $P_k$  монотонно спадали. У результаті одержують шлях, що з'єднує ці дві точки.

Щоб виключити невизначеність при проведенні шляху для випадку, коли кілька місць мають однакову мінімальну вагу, вводять поняття шляхових координат, що задають перевагу проведення траси. Кожен напрямок кодується двійковим числом за  $mod\ q$ , де  $q$  – число сусідніх місць.

Істотними недоліками хвильового алгоритму є мала швидкодія і великий обсяг оперативної пам'яті ЕОМ, необхідний для зберігання інформації про поточний стан всіх місць комутаційного поля, можливість побудови лише з'єднань типу "введення-виведення". Спроби усунути зазначені недоліки привели до створення ряду модифікацій хвильового алгоритму.

#### Модифікований алгоритм Лі (метод зустрічної хвилі)

У даному методі джерелами хвиль є обидві точки, що необхідно з'єднати. При цьому на кожному  $k$ -ому кроці по черзі будують відповідні фронти першої і другої хвилі. Процес триває до тих пір, поки межа фронту першої хвилі не потрапить на фронт другої хвилі або навпаки. Проведення шляху здійснюють із даного місця в напрямку обох джерел за правилами, описаними у хвильовому алгоритмі Лі.

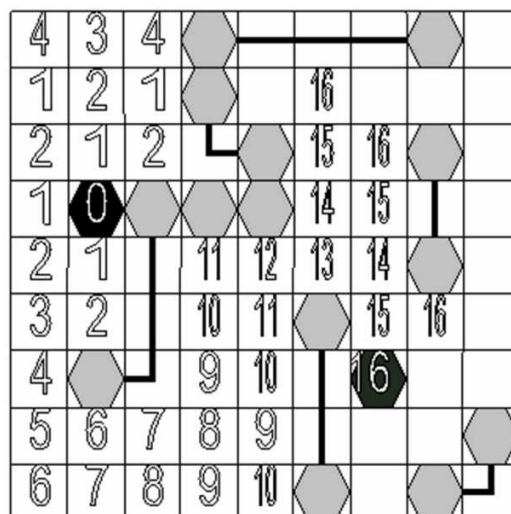


Рисунок 3.1 – Схема руху хвилі (алгоритм Лі)



Аналіз кількості місць при використанні джерела однієї або двох точок, що потрібно з'єднати. Нехай відстань між точками  $R$ , тоді для першого випадку в момент досягнення хвилею точки-приймача площа переглянутого окола дорівнює:  $Q^{(2)} \leq \pi R^2$  (знак рівності відповідає відсутності перешкод на шляху поширення хвилі). Для другого випадку в момент зустрічі фронтів двох хвиль площа переглянутого окола дорівнює:  $Q^{(2)} \leq 2\pi(0,5R)^2 = 0,5\pi R^2$ .

Таким чином, при використанні методу зустрічної хвилі час, що затрачено на етапі поширення хвилі, зменшено приблизно вдвічі.

Недоліком методу є необхідність виділення додаткового розряду пам'яті на кожне робоче місце поля для зберігання інформації про приналежність її до першої або другої хвилі. Виграш у підвищенні швидкодії виконує зазначений недолік, тому даний метод використовують у всіх випадках, коли дозволяє обсяг оперативної пам'яті ЕОМ.

### Променевий алгоритм трасування

У даному алгоритмі, що запропонований Л. Б. Абрайтисом, вибір місць для визначення шляху між точками  $A$  і  $B$ , що необхідно з'єднати, проводять по заданих напрямках, подібних до променів. Це дозволяє скоротити число місць, що аналізуються алгоритмом, а отже, і час на аналіз і кодування їх стану, однак приводить до зниження ймовірності знаходження шляхів складної конфігурації, і ускладнює облік конструктивних вимог до технології друкованої плати.

На першому кроці необхідно задати число променів, що буде розповсюджено із точок  $A$  і  $B$ , а також присвоїти шляхові координати (число променів для кожного місця-джерела треба вважати однаковим). Промені  $A(1), A(2), \dots, A(n)$  і  $B(1), B(2), \dots, B(n)$  вважають однойменними, якщо їх поширено з однойменних точок  $A$  або  $B$ . Промені  $A(i)$  і  $B(i)$  є різнойменними відносно один до одного.

Поширення променів проводиться одночасно з обох джерел до зустрічі двох різнойменних променів у деякій точці  $C$ . Шлях необхідно проводити з точки  $C$  через зони, по яких поширювалися промені. При поширенні променями може виникнути ситуація, коли всі сусідні зони будуть зайняті. У цьому випадку промінь є заблокованим і його поширення припинено.

#### Промені

1.  $A(1)$ : нагору, вліво.
2.  $A(2)$ : уліво, нагору.
3.  $B(1)$ : униз, вправо.
4.  $B(2)$ : вправо, вниз.

На другому кроці промінь В(1) виявлено заблокованим, а на четвертому кроці буде заблоковано і промінь А(2). Промені А(1) і В(2) зустрічаються в точці С на восьмому кроці.

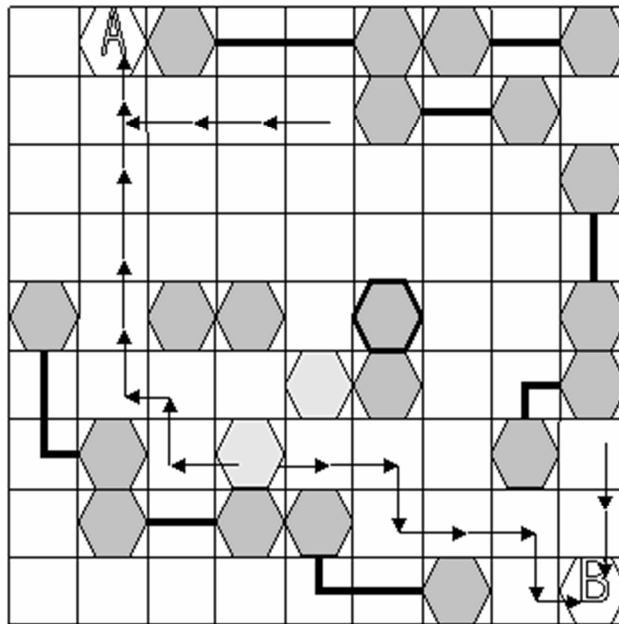


Рисунок 3.2 – Схема руху променів (променевий алгоритм)

Звичайно за допомогою променевого алгоритму можна побудувати до 70-80% трас, інші проводять, використовуючи хвильовий алгоритм або вручну. Застосування такого методу особливо пріоритетне при проектуванні плат з невисокою щільністю монтажу.

### ***3.2 Порядок виконання роботи***

1. Відповідно до схеми з'єднань обрати елемент, що має максимальну кількість з'єднань і з'єднати даний елемент з іншими, що мають спільні безпосередні зв'язки використовуючи алгоритм Лі.

2. Виконати трасування наступних елементів на схемі. При відсутності вільних зон для продовження трасування необхідно створити наступний шар і продовжити трасування на ньому.

3. Відповідно до схеми з'єднань провести трасування, використовуючи променевий алгоритм.

4. Визначити критерії якості трасування для схем, що трасовані алгоритмом Лі і променевим. Алгоритми критерію якості являють собою загальну довжину провідників.

5. Порівняти значення критеріїв.

### 3.3 Зміст звіту

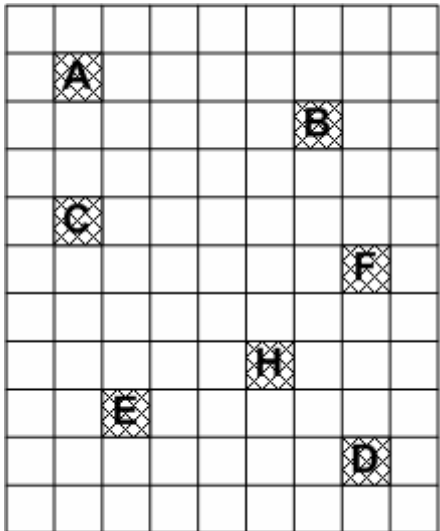
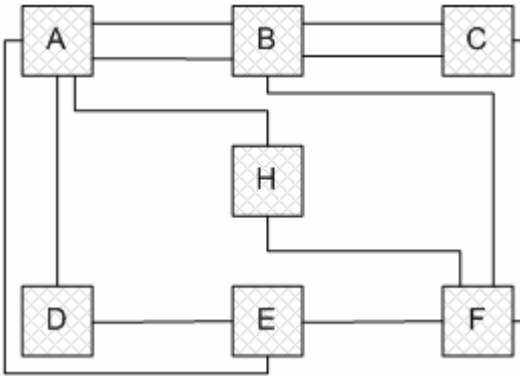
1. Мета та цілі роботи.
2. Розрахункова частина. (Основні розрахункові формули та розрахунок)
3. Програма, написана мовою програмування (C++, C# , Pascal), що виконує задачу поставлену у лабораторній роботі.
4. Висновки.

### 3.4 Контрольні запитання

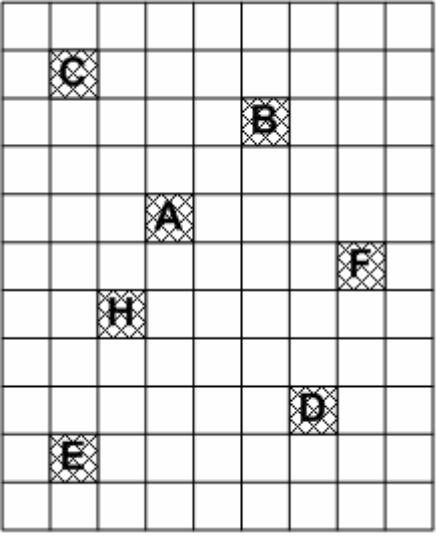
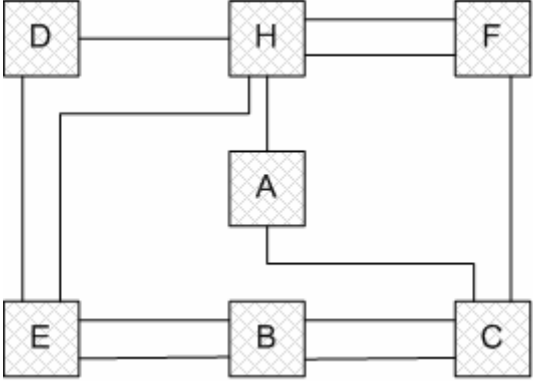
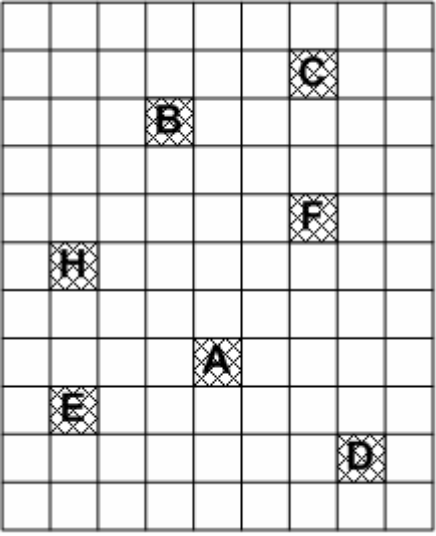
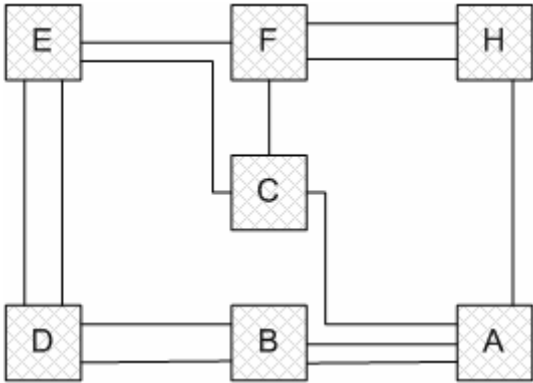
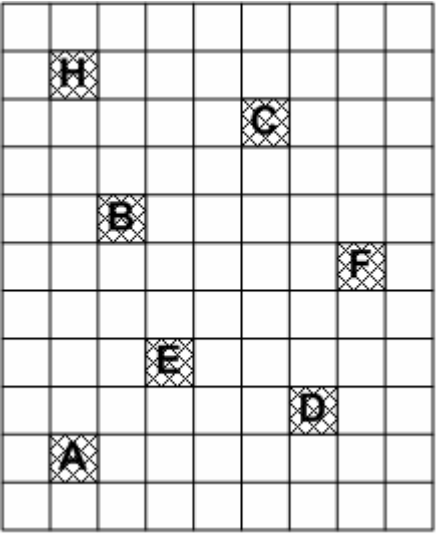
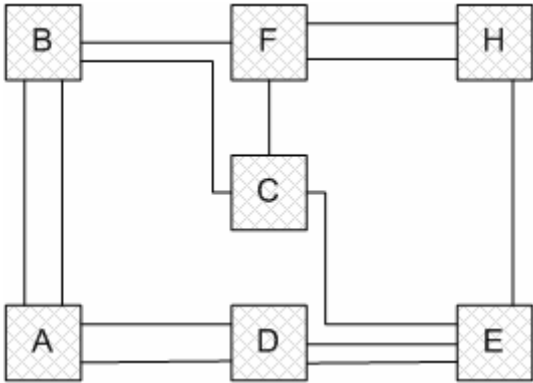
1. Принципи роботи алгоритму Лі.
2. Принципи роботи променевого алгоритму.
3. До якої групи алгоритмів відносяться алгоритм Лі і променевий алгоритм?
4. Які критерії використовуються для оцінювання якості трасування?
5. Поясніть трасування між двома елементами, що найбільш завантажені.
6. В якому випадку необхідно збільшувати кількість шарів при трасуванні?

### 3.5 Варіанти завдань

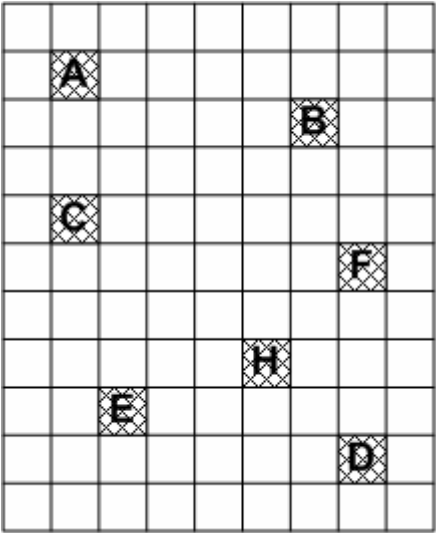
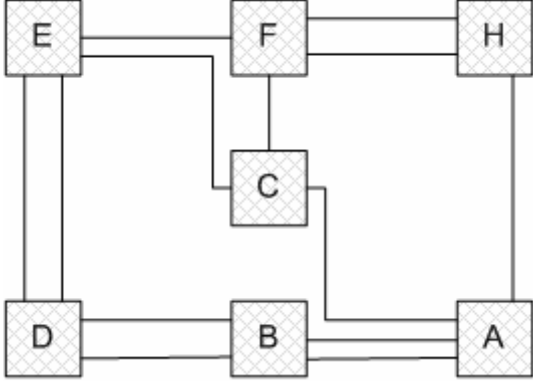
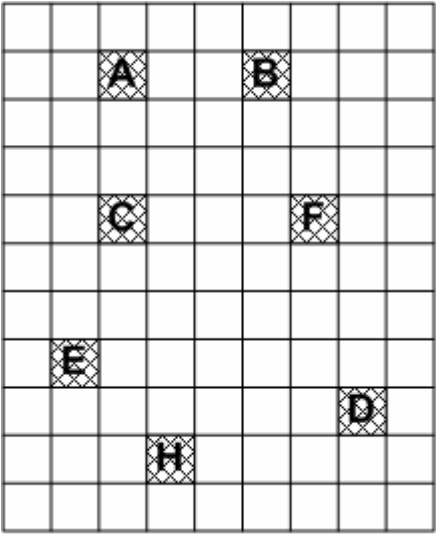
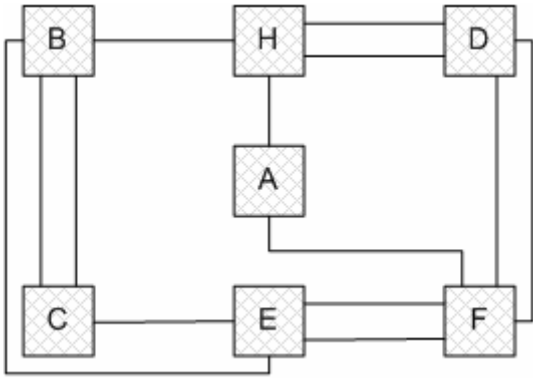
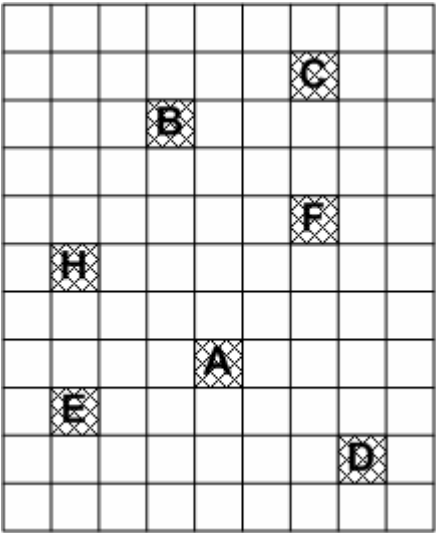
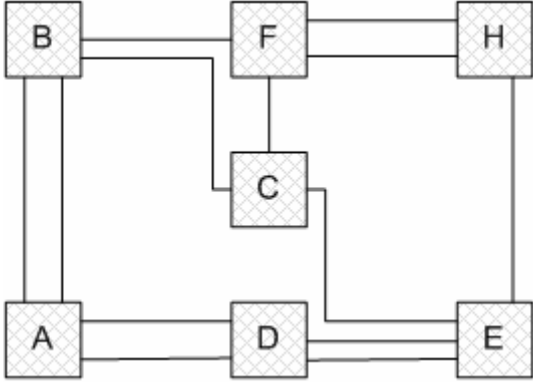
Таблиця 3. 1 – Варіанти завдань

номер	Схема місць	Схема з'єднань
1	2	3
1		

Продовження таблиці 3. 1

1	2	3
2		
3		
4		

Продовження таблиці 3. 1

1	2	3
5	 <p>An 8x8 grid with letters placed at the following coordinates (row, column): A(2,1), B(2,5), C(3,1), F(3,7), E(5,2), H(5,4), D(7,7).</p>	 <p>A diagram with nodes E, F, H, D, B, A, C. Connections: E-F, F-H, H-A, A-B, B-D, D-E, F-C, C-B, C-A.</p>
6	 <p>An 8x8 grid with letters placed at the following coordinates (row, column): A(2,2), B(2,4), C(3,2), F(3,6), E(5,1), D(5,7), H(7,4).</p>	 <p>A diagram with nodes B, H, D, C, E, F, A. Connections: B-H, H-D, D-F, F-E, E-C, C-B, H-A, A-E, A-F.</p>
7	 <p>An 8x8 grid with letters placed at the following coordinates (row, column): B(2,3), C(2,6), F(3,6), H(4,1), A(5,3), E(6,1), D(7,7).</p>	 <p>A diagram with nodes B, F, H, A, D, E. Connections: B-F, F-H, H-E, E-D, D-A, A-B, F-C, C-D, C-A.</p>

## Лабораторна робота № 4

### Аналіз і синтез комбінаційних схем

*Мета:* отримати навички аналізу і синтезу комбінаційних схем.

#### 4.1 Теоретичні відомості

Для складання схеми електричної функціональної необхідно, вирішити задачу написання системи власних функцій або функцій, що відображають логіку роботи цієї схеми і мають однозначний розв'язок. Для цього необхідно скласти таблицю істинності, в якій вказати значення функції залежно від комбінації вхідних сигналів.

Синтез полягає в побудові функціональної електричної схеми за мінімізованою функцією (найчастіше в єдиному базисі І–НІ, АБО–НІ).

Для розроблення необхідного цифрового пристрою на основі таблиці істинності записують його логічний вираз. Потім з метою спрощення цифрового пристрою проводять мінімізацію логічного виразу і розроблення схеми, що реалізує отриманий логічний вираз.

Досконалу диз'юнктивну нормальну форму (ДЗНФ) подають добутком груп. Кожну групу складено з суми, в яку входять всі змінні.

Якщо схема має декілька виходів, то кожен вихід описано своєю функцією. Таку систему функцій названо системою власних функцій, що складена на основі таблиці істинності (табл. 4.1) за таким правилом: для кожного набору змінних, при якому функція дорівнює 1, записана як добуток, в якому із запереченням беруться змінні, що мають значення 0.

Таблиця 4.1 – Таблиця істинності вхідних і вихідних сигналів

X1	X2	X3	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y = (\overline{X1} \& \overline{X2} \& X3) + (\overline{X1} \& X2 \& X3) + (X1 \& X2 \& \overline{X3}) + (X1 \& X2 \& X3) \quad (4.1)$$

Досконалу кон'юнктивну нормальну форму (ДКНФ) складають на основі таблиці істинності (див. табл. 4.1) за правилом: для кожного набору

змінних, при якому функція дорівнює 0, записана як сума, в якій з інверсією беруться змінні, що мають значення 1.

$$Y = (X_1 + X_2 + X_3) \& (X_1 + \overline{X_2} + X_3) \& (\overline{X_1} + X_2 + X_3) \& (\overline{X_1} + X_2 + \overline{X_3}) \quad (4.2)$$

Для мінімізації потрібно функцію привести до досконалої диз'юнктивної нормальної форми, після чого заповнити діаграму Вейча (карти Карно) для  $n$  змінних. При цьому у відповідну клітинку діаграми вписати 1, якщо функція при даному наборі аргументів дорівнює одиниці. У решту клітинок вписати нулі або такі клітинки взагалі залишити порожніми.

В карту Карно булеві змінні передаються з таблиці істинності і впорядковуються за допомогою коду Грея, в якому кожне наступне число відмінне від попереднього тільки одним розрядом (див. рис. 4.1).

	X2		
X1 \	0	1	
0			
1			

а)

	X2X3				
X1 \	00	01	11	10	
0					
1					

б)

	X3X4				
X1X2 \	00	01	11	10	
00					
01					
11					
10					

в)

Рисунок 4.1 – Карти Карно для двох змінних (а), трьох змінних (б) та чотирьох змінних (в)

Для прикладу розглянуто випадок, коли таблиця подана чотирма змінними і заповнено її у відповідності із наведеними правилами.

У заповненій діаграмі обводяться прямокутними контурами клітинки з одиницями, після чого було записано мінімізовану функцію у вигляді диз'юнкції простих імплікантів, що описують ці контури. При проведенні контурів дотримуються таких правил:

- усередині контуру мають бути тільки клітинки з одиницями;
- кількість клітинок з одиницями повинна виражатися величиною  $2^i$  (де  $i = 0, 1, 2, \dots$ ), тобто може дорівнювати 1, 2, 4, 8 і т. д.;
- одиниці в крайніх клітинках одного стовпця або одного рядка можуть включатися в один контур; кожен контур повинен включати як можна більше число клітинок з одиницями, а спільне число контурів має бути якомога меншим.

В результаті мінімізації отримана ДЗНФ такого вигляду:

$$f(X1, X2, X3, X4) = X3X4 + X1X2 + X2X4 + X1X4 + X1X3 + X2X3 \quad (4.3)$$

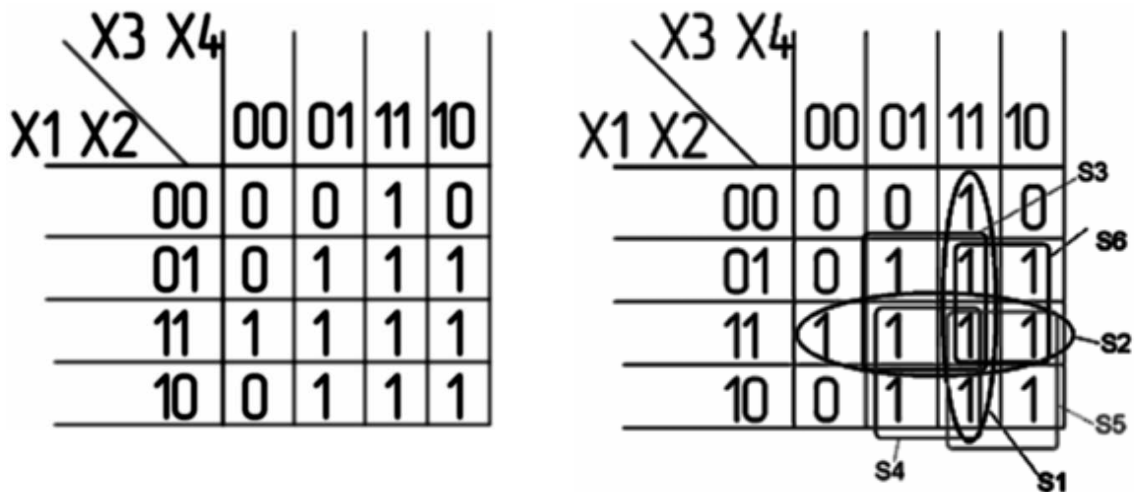


Рисунок 4.2 – Мінімізація за картами Карно

#### 4.2 Порядок виконання роботи

1. Відповідно до таблиці станів отримати ДЗНФ і ДКНФ.
2. Мінімізувати ДЗНФ та ДКНФ за допомогою карт Карно.
3. Побудувати схему на основі базисних елементів для отриманої мінімізованої ДЗНФ, ДКНФ.
4. Визначити критерії мінімізації як загальне число різних елементарних кон'юнкцій в отриманій системі.
5. Порівняти значення критеріїв.



### 4.3 Зміст звіту

1. Мета та цілі роботи.
2. Розрахункова частина. (Основні розрахункові формули та розрахунок)
3. Програма, написана мовою програмування (C++, C# , Pascal), що виконує задачу поставлену у лабораторній роботі.
4. Висновки.

### 4.4 Контрольні питання

1. Принципи формування ДЗНФ.
2. Принципи формування ДКНФ.
3. Як передаються булеві змінні з таблиці істинності в карту Карно?
4. Які основні правила при проведенні контурів?
5. Розрахуйте ефективність оптимізації за допомогою карт Карно.

### 4.5 Варіанти завдань

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань

Но- мер	Таблиця станів					Но- мер	Таблиця станів					
1	2					1	2					
1	X1	X2	X3	X4	Y	2	X1	X2	X3	X4	Y	
	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0		0	0	0	0	1	0
	0	0	1	0	1		0	0	0	1	0	0
	0	0	1	1	0		0	0	0	1	1	0
	0	1	0	0	1		0	0	1	0	0	1
	0	1	0	1	1		0	0	1	0	1	1
	0	1	1	0	1		0	0	1	1	0	1
	0	1	1	1	1		0	0	1	1	1	0
	1	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	1		0	1	0	0	1	0
	1	0	1	0	1		0	1	0	1	0	1
	1	0	1	1	1		0	1	0	1	1	1
	1	1	0	0	0		0	1	1	0	0	0
	1	1	0	1	1		0	1	1	0	1	1
	1	1	1	1	0		1	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0

Продовження таблиці 4. 2

1	2					1	2					
3	X1	X2	X3	X4	Y	4	X1	X2	X3	X4	Y	
	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0		0	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	1		0	0	0	1	0	0
	0	0	1	1	0		0	0	0	1	1	0
	0	1	0	0	1		0	0	1	0	0	1
	0	1	0	1	1		0	0	1	0	1	1
	0	1	1	0	1		0	0	1	1	0	0
	0	1	1	1	0		0	0	1	1	1	1
	1	0	0	0	1		0	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	1		0	1	0	0	1	0
	1	0	1	0	1		0	1	0	1	0	1
	1	0	1	1	0		0	1	0	1	1	0
	1	1	0	0	0		0	1	1	0	0	1
	1	1	0	1	1		0	1	1	0	1	0
	1	1	1	0	1		0	1	1	1	0	0
	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0
5	X1	X2	X3	X4	Y	6	X1	X2	X3	X4	Y	
	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1		0	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	1
	0	0	1	1	0		0	0	0	1	1	0
	0	1	0	0	1		0	0	1	0	0	0
	0	1	0	1	0		0	0	1	0	1	1
	0	1	1	0	1		0	0	1	1	0	0
	0	1	1	1	0		0	0	1	1	1	0
	1	0	0	0	1		0	1	0	0	0	1
	1	0	0	1	0		0	1	0	0	1	0
	1	0	1	0	1		0	1	0	1	0	1
	1	0	1	1	1		0	1	0	1	1	0
	1	1	0	0	1		0	1	1	0	0	1
	1	1	0	1	0		0	1	1	0	1	1
	1	1	1	0	0		0	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0

Продовження таблиці 4. 2

1	2					1	2				
7	X1	X2	X3	X4	Y	8	X1	X2	X3	X4	Y
	0	0	0	0	1		0	0	0	0	1
	0	0	0	1	1		0	0	0	1	1
	0	0	1	0	0		0	0	1	0	0
	0	0	1	1	1		0	0	1	1	0
	0	1	0	0	1		0	0	1	0	0
	0	1	0	1	1		0	0	1	0	1
	0	1	1	0	0		0	0	1	1	0
	0	1	1	1	1		1	0	1	1	1
	1	0	0	0	0		0	1	0	0	1
	1	0	0	1	1		1	1	0	0	1
	1	0	1	0	1		0	1	0	1	1
	1	0	1	1	1		0	1	0	1	1
	1	1	0	0	1		1	1	1	0	0
	1	1	0	1	0		0	1	1	0	1
	1	1	1	0	1		0	1	1	1	0
	1	1	1	1	0		0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
9	X1	X2	X3	X4	Y	10	X1	X2	X3	X4	Y
	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1
	0	0	0	1	1		0	0	0	1	1
	0	0	1	0	0		0	0	1	0	1
	0	0	1	1	1		0	0	1	1	1
	0	1	0	0	0		0	0	1	0	0
	0	1	0	1	1		0	0	1	0	1
	0	1	1	0	0		0	0	1	1	0
	0	1	1	1	1		1	0	1	1	1
	1	0	0	0	0		1	1	0	0	1
	1	0	0	1	1		1	1	0	0	1
	1	0	1	0	0		0	1	0	1	0
	1	0	1	1	1		0	1	0	1	1
	1	1	0	0	1		1	1	1	0	0
	1	1	0	1	1		1	1	1	0	1
	1	1	1	0	0		0	1	1	1	0
	1	1	1	0	1		1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	1	1	1	0		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		


## Лабораторна робота № 5

### Проектування електричних принципових схем у програмі "OrCAD Capture"

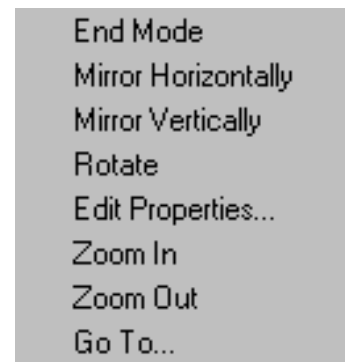
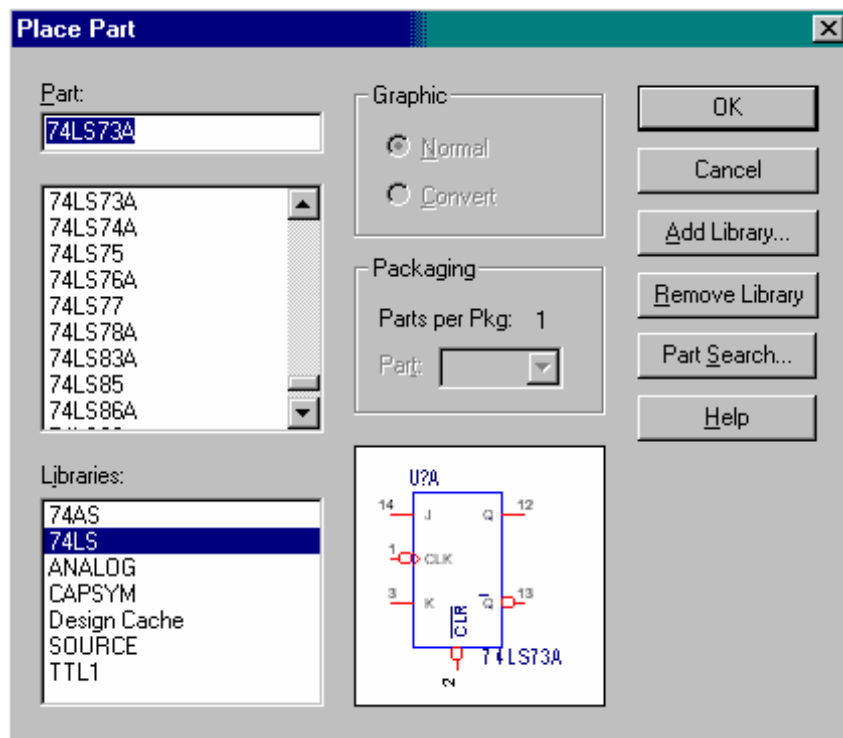
*Мета:* отримати навички роботи в "OrCAD Capture" з проектування електричних принципових схем і підготовки документації.

#### 5.1 Теоретичні відомості

##### *Розміщення символів компонентів*

Бібліотеки програми "Capture" містять символи компонентів, джерел "живлення" і "землі" і розміщуються на схемі за командою "Place/Part", що буде активізована також натисканням на піктограму  меню інструментів. У діалоговому вікні цієї команди (рис. 5.1, а) в списку "Libraries" необхідно вибрати ім'я однієї або декількох бібліотек, вміст яких відображено на панелі "Part" (для вибору декількох бібліотек необхідно натиснути і утримувати клавішу "Ctrl". Після цього на панелі "Part" необхідно вибрати ім'я компонента, символ якого потрібно розмістити на схемі (якщо обрано кілька бібліотек, то після імені кожного компонента міститься символ "/" і ім'я бібліотеки).

У розділі "Graphic" вибирається нормальне (Normal) або еквівалентне зображення логічних компонентів у стилі "DeMorgan" (Convert). У розділі "Packaging" потрібно вказати номер секції компонента, після чого у вікні, що розташоване нижче, буде виведено зображення обраної секції компонента із вказанням номерів цоколювання виводів (на рядку "Parts per Pkg" укаzana загальна кількість секцій компонента). При натисканні на кнопку "Add Library" буде відкрито діалогове вікно для додання бібліотек у список "Libraries". Натискання на кнопку "Remove Library" видаляє обрану бібліотеку із списку. Кнопка "Part Search" призначена для пошуку конкретного компонента в бібліотеках зі списку "Libraries". Після натискання на кнопку "OK" символ обраного компонента буде перенесено на схему. Рухом курсора компонент необхідно перемістити в потрібне місце схеми і зафіксувати натисканням лівої кнопки миші. Натискання правої кнопки миші відкриває висхідне меню (рис. 5.1, б), у якому дубльовано виклик команд основного меню. Завершення розміщення на схемі символу обраного компонента буде проведено після вибору команди "End Mode" або натискання на клавішу "Esc".



a)

б)

Рисунок 5.1 – Діалогове вікно команди "Place part" (а) і висхідне меню (б)

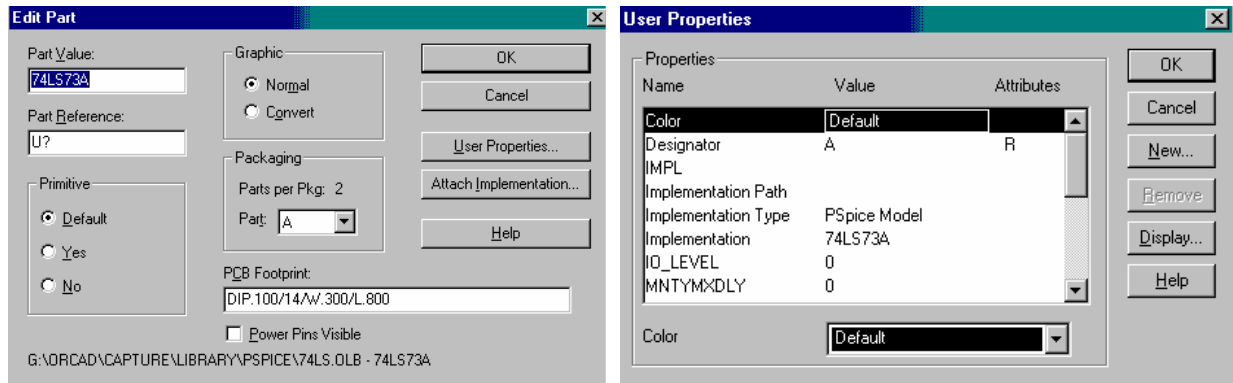
При виборі команди "Edit Properties", буде виведено діалогове вікно "Edit Part" – редагування параметрів поточного символу (рис. 5.2, а). "Part Reference" – позиційне позначення компонента, що необхідно поставити вручну, якщо на закладці Miscellaneous" команди "Options/Preferences" необраний параметр "Automatically reference placed parts" – автоматичне присвоєння позиційних позначень розташованих на схемі компонентів.

На панелі "PCB Footprint" вибрати або скорегувати ім'я корпусу компонента, вибір на панелі "Power Pins Visible" указує на необхідність відображення на схемі виводів "землі" і живлення.

На панелі "Primitive" вибрати тип компонента: "Yes" – елементарний (примітивний) компонент, "No" – компонент, що має ієрархічну структуру, За замовчуванням (відповідно до настроювання конфігурації на закладці "Hierarchy" команди "Options/Design Template". На панелі "Packaging" вказати загальну кількість однотипних секцій компонента і ім'я (номер) поточної секції.

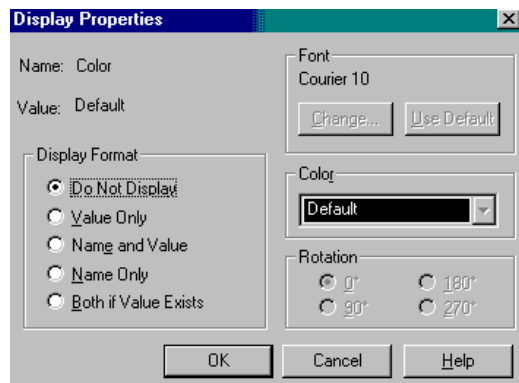
Після натискання на панелі "User Properties" буде відкрито діалогове вікно перегляду і редагування параметрів компонента (рис. 5.2, б). У графі "Name" потрібно вказати ім'я параметра, у графі "Value" – його значення, у графі "Attributes" – характеристики (атрибути) його відображення на

схемі "R" – тільки для читання, "V" – видимі на схемі, цю ознаку необхідно задати на панелі "Display", див. нижче).



a)

б)



в)

Рисунок 5.2 – Діалогові вікна редагування параметрів компонента, розташованого на схемі (а), редагування властивостей (б), видимості їх на схемі (в)

Після вибору параметра його ім'я буде виведено в нижній частині вікна, а в розташованій поруч панелі необхідно ввести його значення (після натискання на клавішу "Enter" введене значення буде відображено в графі "Value" — у такий спосіб вводяться необхідні для моделювання за допомогою "PSpice" значення параметрів компонентів; їх можна ввести і пізніше, за командою "Edit/Properties" після створення схеми.

Натискання на панель "Display" відкриває діалогове вікно ( рис. 5.2 в) для задання видимості на схемі обраного параметра:

1. "Do Not Display" – нічого не відображати на схемі;
2. "Value Only" – відобразити тільки значення параметра;
3. "Name and Value" – відобразити ім'я, значення параметра;
4. "Name Only" – відобразити тільки ім'я параметра;
5. "Both if Value Exists" – відобразити ім'я, значення параметра, якщо його значення існує.

Після розміщення компонентів на схемі можна переглянути параметри одного або декількох компонентів. При подвійному натисканні курсором миші на компоненті, буде показано електронну таблицю "Property Editor", у якій наведено параметри (властивості) обраних компонентів (рис. 5.3, а). Дозволено виділення одного або декілька об'єктів при натисненні правої кнопки і виконанні команди "Edit Properties". Активізувати таблицю можна також за допомогою гарячої клавіші "Ctrl+E".

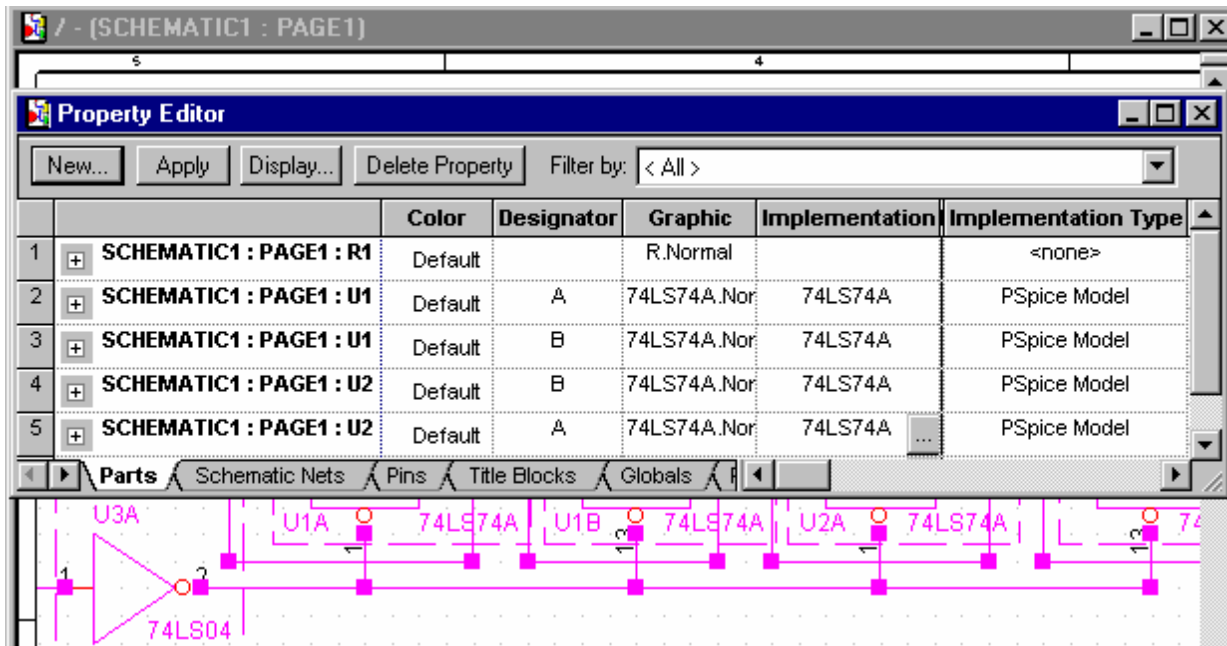


Рисунок 5.3 – Електронна таблиця "Property Editor" з параметрами обраних компонентів

Таблиця містить сім вкладок за числом типів об'єктів: "Parts", "Schematic Nets", "Pins", "Title Blocks", "Globals", "Ports" і "Aliases". Для кожного об'єкта схеми виділено один рядок, а в стовпцях записано його властивості. Отже, на перетині рядка і стовпця необхідно вказати значення властивості об'єкта. Оскільки дана таблиця дозволяє не тільки переглядати властивості об'єкта, але і проводити їх редакцію, то її часто називають редактором властивостей.

Для редагування властивостей об'єкта треба виділити відповідну клітинку рядка і натиснути на ній ЛКМ.

Для візуалізації будь-якої властивості в клітинці рядка, необхідно натиснути на кнопку "Display", у діалоговому вікні "Display Property" вибрати формат виводу "Value Only" (або "Name and Value" і натиснути кнопку ОК. Після закриття таблиці "Property Editor" дану властивість буде візуалізовано на схемі. На рис. 5.4 наведено приклад виведення на схему всіх властивостей інвертора "U3A", отриманий у результаті виділення в

таблиці всього рядка "Schematic:Page:U3" (рядку з порожніми властивостями зі списку були вилучені).

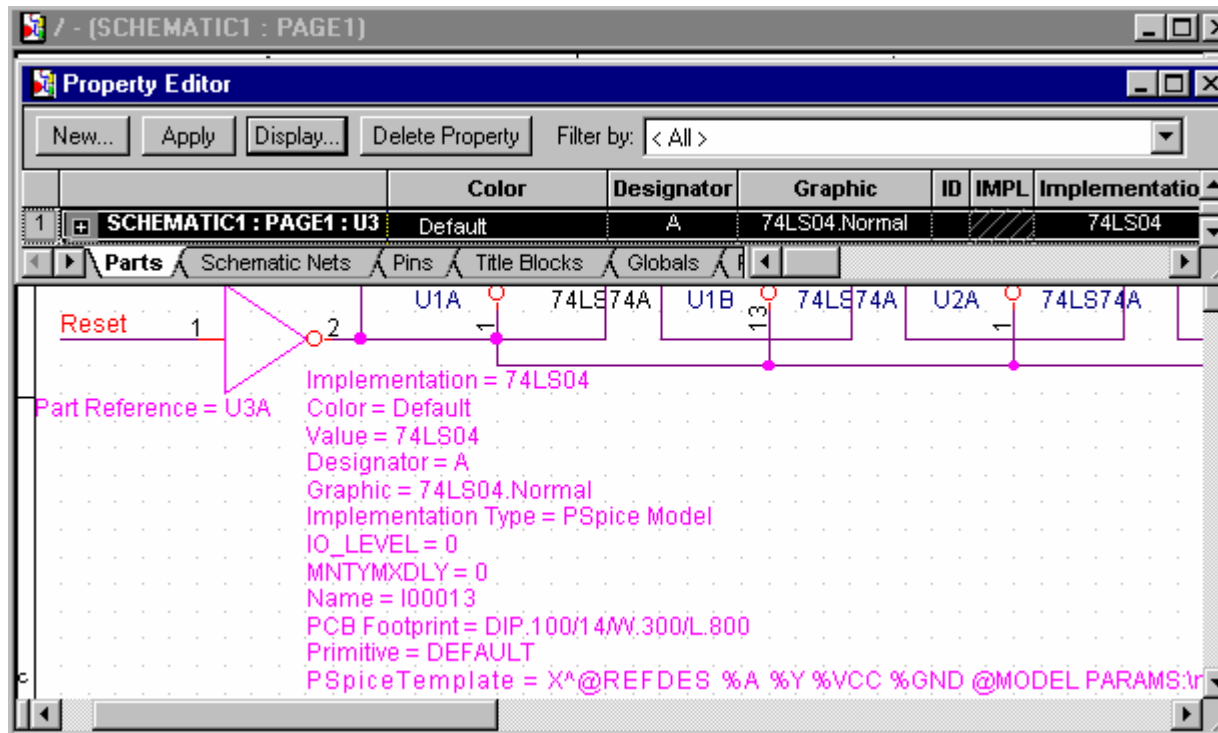



Рисунок 5.4 – Приклад зображення на схемі всіх властивостей обраного компонента схеми

### ***Розміщення електричних зв'язків***


Зв'язки розміщуються за командою "Place/Wire", натисканням комбінації клавіш "Shift"+"W" або натисканням на кнопку  панелі інструментів. Для початку введення зв'язку необхідно натиснути ЛКМ, після чого курсор змінює свою форму на хрестик. Кожен злам зв'язку буде зафіксовано після натискання ЛКМ. Таким чином, можна зробити ортогональні злами під кутами, кратними 90°. *Проведення зв'язку під довільним кутом буде дозволено при одночасно натиснутій клавіші "Shift".* Введення поточного зв'язку буде завершено, якщо його кінець збігається з виводом компонента або будь-якою точкою іншого зв'язку. Для примусового завершення введення зв'язку необхідно виконати подвійне натискання ЛКМ. Режим введення зв'язків буде завершено натисканням клавіші "Esc" або вибором команди "End Wire" у висхідному меню, що буде відкрито натисканням ПКМ.

Якщо зв'язки починаються або закінчуються в будь-якій точці сегмента іншого зв'язку або на виводі компонента, між ними є електричне з'єднання. Ознакою приєднання зв'язку до виводу є зміна його форми –



квадратика на його кінці. *Сегменти зв'язків, що перетинаються не з'єднуються один з одним.* Їх з'єднання можна виконувати двома методами:

- при прокладанні зв'язку, що перетинається, потрібно зупинитися в точці з'єднання і двічі натиснути лівою кнопкою миші – у результаті точка з'єднання буде позначена спеціальною точкою "junction";

- для з'єднання провідників, що перетинаються, курсор необхідно установити в точку перетину і натиснути комбінацію клавіш "Shift"+"J" або кнопку  на панелі інструментів; для скасування електричного з'єднання необхідно поверх точки з'єднання розмістити іншу таку ж точку.


Для перевірки з'єднань якого-небудь зв'язку треба виділити в ній будь-який сегмент, натиснути праву кнопку миші і вибрати із висхідного меню команду "Select Entire Net". Весь зв'язок буде виділений з сегментами, що йому належать.

Якщо при розміщенні компонентів на схемі один або кілька виводів перетинаються, між ними є електричне з'єднання, і якщо потім ці компоненти розсунути, автоматично буде прокладено зв'язок.

Якщо при переміщенні компонента або фрагмента зв'язку буде закорочено ряд зв'язків, то виводиться повідомлення з попередженням про те, що зв'язки закорочено. Для скасування цього переміщення необхідно натиснути на кнопку "OK" і виконати команду "Edit/Undo Move". Для відриву сегмента від зв'язку потрібно натиснути клавішу "Alt". Після натиснення на клавішу "Alt" проводиться переміщення зв'язків без врахування його електричних з'єднань.

На схемі зв'язки зображуються лініями стандартної ширини 0,2 мм при масштабі 1:1 (змінити цю ширину не можна). Лініями такої ж товщини зображуються лінії контурів символів компонентів і їх виводи.

### ***Присвоєння зв'язкам імен***

При розміщенні зв'язків їм автоматично буде присвоєно *системні користувачькі імена*, наприклад "N01049", які неможливо змінити (це системні імена). Однак у списки з'єднань заносяться так звані *псевдоніми "Alias" або користувачькі імена зв'язків*, які для обраного зв'язку визначаються за командою "Place/Net Alias", що буде активізовано при натисканні комбінації клавіш "Shift"+"N" або натисканні на кнопку  на панелі інструментів.

У діалоговій панелі, що відкрилася, "Place Net Alias" (рис. 5.5) треба ввести ім'я (у поле "Alias". В панелі можна змінити орієнтацію імені, його кольори, шрифт, розмір і накреслення. Натиснувши "OK", помістити прикріплений до курсору миші габаритний прямокутник, що визначає розміри імені, поруч із необхідним зв'язком.

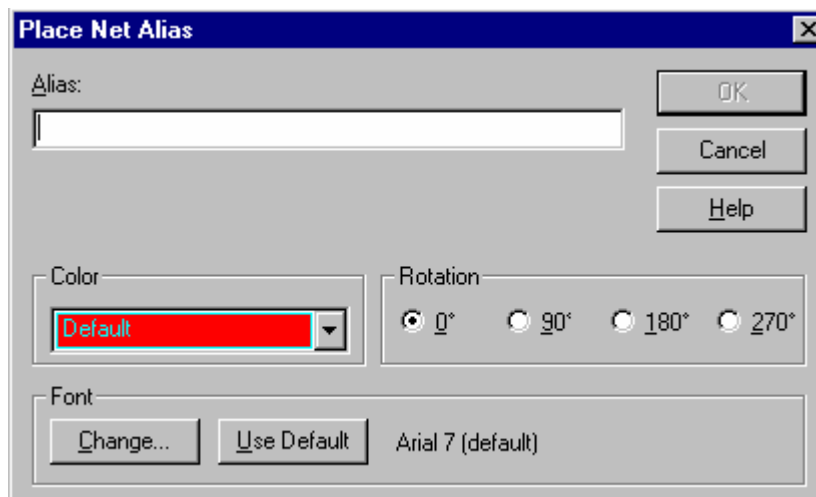




Рисунок 5.5 – Діалогова панель для задання імен

Системні імена за замовчуванням не видимі, тоді як імена користувача завжди видимі і "прив'язані" до зв'язку. Кожен зв'язок може мати кілька псевдонімів, з яких у таблиці "Properties" потрібно вибрати перший псевдонім, що і буде використано при складанні списку з'єднань.

Зв'язки, що мають однакові імена схемний редактор поєднає в один.

#### ***Розміщення ліній групового зв'язку (шин).***

Лінії групового зв'язку (шину) буде проведено за командою "Place/Bus" "Shift+B" або при натисканні на кнопку  панелі інструментів. На схемі вони зображуються більш широкими лініями, порівняно з електричними зв'язками (рис. 5.6). Кінці окремих зв'язків, нахилені під кутом 45°, проводяться за командою "Place/Bus Entry" "Shift+B" або при натисканні на кнопку  за такими ж правилами, що і окремі зв'язки.

При цьому зручно копіювати сегменти провідників, перетаскуючи їх натиснувши клавішу "Ctrl" і зберігаючи вихідний об'єкт незмінним. Призначення імен (псевдоніми) шинам і вхідним у їх склад зв'язкам виконується за командою "Place/Net Alias", причому при установленні імен окремих провідників їх номери, що пропонуються в діалоговому вікні команди, автоматично збільшуються на одиницю, наприклад, "ADDR1", "ADDR2", "ADDR3", "ADDR4".

Ім'я шини, що складена, необхідно записати у форматі: "ADDR" [1..4] (після першої цифри необхідно проставити дві точки). На схемі шини зображуються лініями стандартної ширини 0,8 мм (при масштабі 1:1).

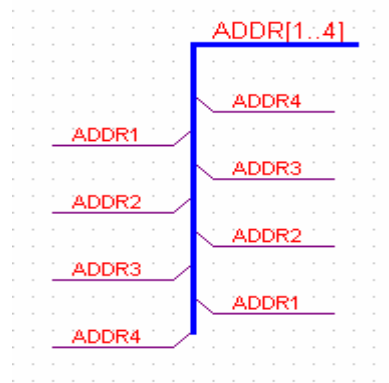





Рисунок 5.6 – Лінія групового зв'язку (шина)

### ***Розміщення символів "землі", джерел "живлення" і відсутності з'єднань***

За командами "Place/Ground" і "Place/Power" або натискання на кнопки   панелі інструментів, відкриваються діалогові вікна, що зображені на рис. 5.7. Таке вікно схоже на діалогове вікно введення компонентів (див. рис. 5.1, а). Перелік символів "землі" і джерел живлення, розміщених у бібліотеках "CAPSYM.OLB" і "SOURCE.OLB", наведено у табл. 1.3. Причому ці символи можуть бути розміщені на схемі тільки за допомогою команд "Place/Ground" і "Place/Power". Обидві ці команди еквівалентні.

При цьому символи живлення мають видимі атрибути їхніх імен, які можна змінювати на панелі "Name", наприклад, можна вказати ім'я плюс 5V (за замовчуванням це ім'я, відображується на схемі і повинно збігатися з ім'ям символу). Імена "Name" не мають принципового значення, вони наносяться лише для більшої наочності схеми.

Символи "землі" і "живлення" під'єднують до вузла з ім'ям 0 або до виводів компонентів, до яких вони повинні бути приєднані (щоб переконатися в цьому, досить переглянути файли списків з'єднань \*.net або завдань на моделювання \*.cir). Тому при моделюванні за допомогою програми "PSpice" символи джерел живлення під'єднувати не можна, можна використати лише будь-які символи "землі". Крім символу "землі" 0 у бібліотеку "SOURCE.OLB" поміщені також символи постійних сигналів логічні "1" і "0". Для створення власних символів "землі" і "живлення" потрібно використати команда "Design/New Symbol" з меню менеджера команд.

За командою "Place/No connect" або натисканням на кнопку  панелі інструментів наносяться символи відсутності з'єднань "No-connect"

"NC", які на схемі відображаються у вигляді символів "X", приєднаних до виводів компонентів. Символи "NC" не можуть бути вилучені натисканням на клавішу "Delete", для їх видалення потрібно поверх символу "NC" розмістити ще один такий же символ. Виводи, позначені такими символами, не включаються у звіти повідомлень про помилки і у списки з'єднань.

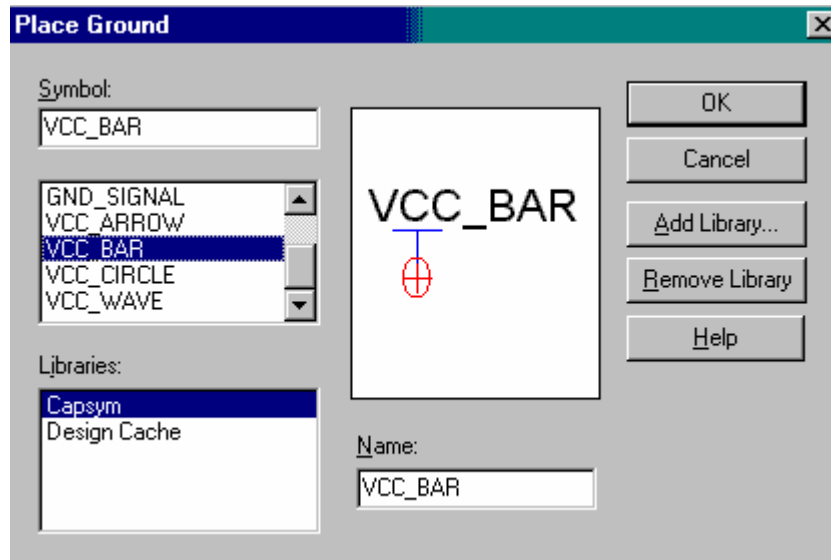



Рисунок 5.7 – Діалогове вікно для уведення символів живлення і "землі"

Таблиця 5.1 – Символи "землі" і "живлення"

Бібліотека символів	Ім'я символу	Призначення
CAPSYM.OLB	GND_EARTH	"Земля"
	GND_FIELD	— / —
	SIGNAL	
	GND_POWER	— / —
	GND_SIGNAL	— / —
	VCC_BAR	Джерело живлення
	VCC_CIRCLE	— / —
VCC_WAVE	— / —	
SOURCE.OLB (для "Pspice")	0	Глобальна "земля"
	\$D_HI	Логічна "1"
	\$D_L0	Логічний "0"

## **Установлення позиційних позначень компонентів**

Позиційні позначення компонентів "Part Reference" і номери секцій "Designator" указуються вручну при установленні компонентів або при редагуванні їх параметрів. В автоматичному режимі позиційні позначення компонентів і упаковані секції компонентів у корпуси проставляються на схемі за командою "Tools/Annotate" менеджера проектів або натисканням на кнопку . У діалоговому вікні цієї команди є такі поля:

а) "Scope" (задати області):

- 1) "Update entire design" – оновити позиційні позначення всього проекту;
- 2) "Update selection" – оновити позиційні позначення обраної частини проекту.

б) Action" (дії):

- 1) "Incremental reference update" – оновити позиційні позначення компонентів, у яких замість номера проставлений знак питання "?", номери компонентів збільшуються на одиницю;
- 2) "Unconditional reference update" – відновлення позиційних позначень і пакувальної інформації всіх компонентів;
- 3) "Reset part reference to" "?" – заміна номерів компонентів на "?";
- 4) "Add Intersheet Reference" – додання посилань на інші сторінки;
- 5) "Delete Intersheet Reference" – видалення посилань на інші сторінки;
- 6) "Mode" (режим відновлення):
- 7) "Update Occurrences" — відновлення індивідуальних параметрів всіх зразків компонента;
- 8) "Update Instances" "Preferred" — відновлення загальних параметрів компонента і всіх посилань на нього (цей режим кращий при роботі із ПЛІС і "PSpice" проектами);
- 9) "Physical Packaging" (пакування компонента у відповідність із зазначеними властивостями).

в) "Combined property string" — рядок властивостей:


- 1) "Reset reference numbers to begin at 1 in each page" – починати з "1" нумерацію позиційних позначень однотипних компонентів на кожній сторінці;
- 2) "Do not change the page number" – не змінювати номер сторінки.


За командою "Annotate" прилеглі символи секцій багатосекційних компонентів упаковуються в корпуси і проставляються позиційні позначення компонентів у напрямку вліво, вправо і зверху вниз. Крім того,

символам компонентів можуть бути поставлені у відповідність певні корпуси, що задовольняють ряд характеристик, зазначених у рядку властивостей "Combined property string".

**Увага!** Для запобігання помилок обов'язково проставте прапорець "Unconditional reference update" – відновлення позиційних позначень і пакувальної інформації всіх компонентів.

### ***Розміщення символів з'єднувачів сторінок***

За командою "Place/Off-Page Connector" або при натисканні на кнопку  панелі інструментів буде відкрито діалогове вікно для нанесення на схему символів з'єднувачів сторінок. У штатній бібліотеці CAPSYM.OLB є два символи з'єднувачів сторінок: "<<L" і ">>R". На панелі "Name" діалогового вікна вводяться імена з'єднувачів сторінок, які автоматично присвоюються іменам, що приєднують до них зв'язки. Зв'язки, що розташовані на одній або різних сторінках схеми з *однаковими іменами вважаються з'єднаними*.

На рис. 5.8 зображені фрагменти однієї схеми, що розташована на різних сторінках. Нову сторінку проекту можна створити, натиснувши піктограму  на головній панелі інструментів.

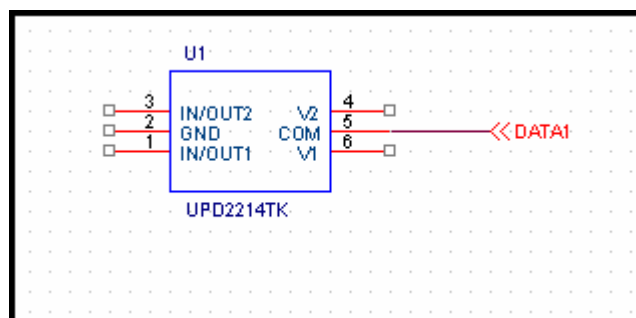
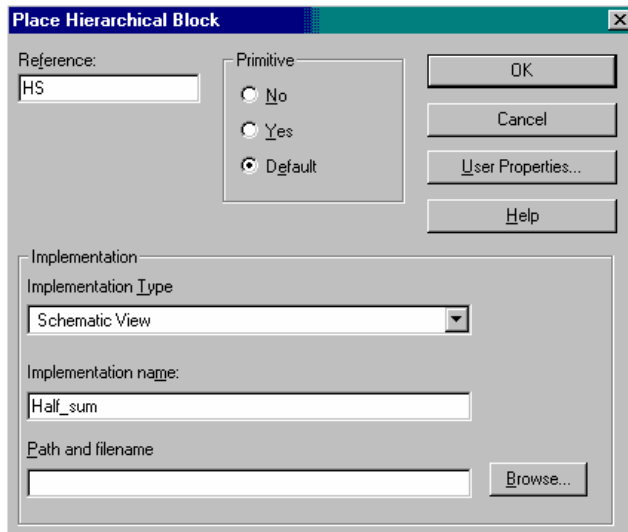


Рисунок 5.8 – Використання з'єднувачів сторінок

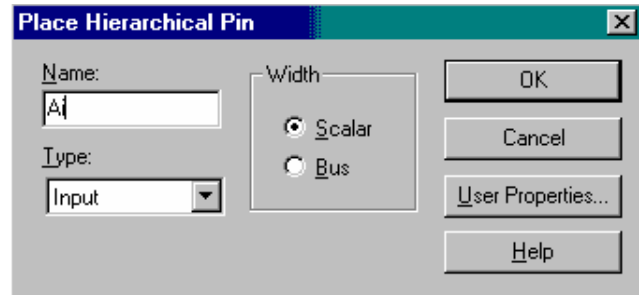
### ***Ієрархічні блоки***

Будь-який фрагмент схеми можна оформити у вигляді ієрархічного блоку, символ якого являє собою прямокутник, і потім помістити його на схемі, що дозволяє зменшити її розміри. Інше застосування ієрархічних блоків – подання з їх допомогою фрагментів схем, що повторюються: різних фільтрів, підсилювачів, випрямлячів, суматорів і под.

У силу відносної складності створення і використання в проектах ієрархічних блоків розглянемо даний процес у вигляді послідовності кроків для відкритого проекту.




a)



б)

Рисунок 5.9 – Діалогові вікна створення ієрархічного блоку (а) і нанесення його виводів (б)

1. Зробити активним вікно "SCHEMATIC1:PAGE1. У цьому вікні створимо ієрархічний блок півсуматора, з метою наступного використання його в схем.

1. Виконати команду "Place/Hierarchical Block" або натиснути на кнопку  панелі інструментів. На екрані з'явиться діалогова панель із однойменною назвою (рис. 5.9, а).


2. Задати у вікні "Reference" позиційне позначення блоку, наприклад HS.


3. У вікні "Implementation Type" (спосіб реалізації ієрархічного блоку) конкретизувати тип – "Schematic View".


4. У вікні "Implementation name" вказати ім'я.

5. Нижнє вікно "Path and filename" залишити порожнім. У цьому випадку за замовчуванням схема заміщення блоку буде розміщена в каталозі поточного проекту, тобто усередині проекту.

6. У розділі "Primitive" поставимо тип "No" або зберегти задане за замовчуванням значення "Default". Установлення можна перевірити, набравши команду "Options/Design Template" і вибравши закладку "Hierarchy".

7. Після закриття вікна необхідно виконати команду "Place Hierarchical Pin" або натиснути на кнопку  і курсором нарисувати ієрархічний блок. Його розміри визначаються числом вхідних або вихідних контактів.

8. Виконати команду "Place Hierarchical Pin", що приведе до появи одноіменного діалогового вікна рис. 5.9, б) у якому розмістити усередині контуру ієрархічного блоку контакти (вхідні контакти блоку розміщуються з лівого краю, вихідні – з правого). Введемо імена  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ ,  $S_i$  і  $C_{i+1}$  і тип виводів "Input", "Output". Щоб команда "Place Hierarchical Pin" (кнопка ) була доступна для виконання, необхідно кожний раз виділяти ієрархічний блок.

9. Підвести до ієрархічних контактів зв'язки (команда "Place/Wire" або кнопка на панелі інструментів) і задати для них користувацькі імена – аліаси (команда "Place/Net Alias" або кнопка ) ). Провідники можуть мати ті ж імена, що і контакти, або відрізнятись від них. Після всіх виконаних дій схема повинна виглядати так, як показано на рис. 5.10, а.

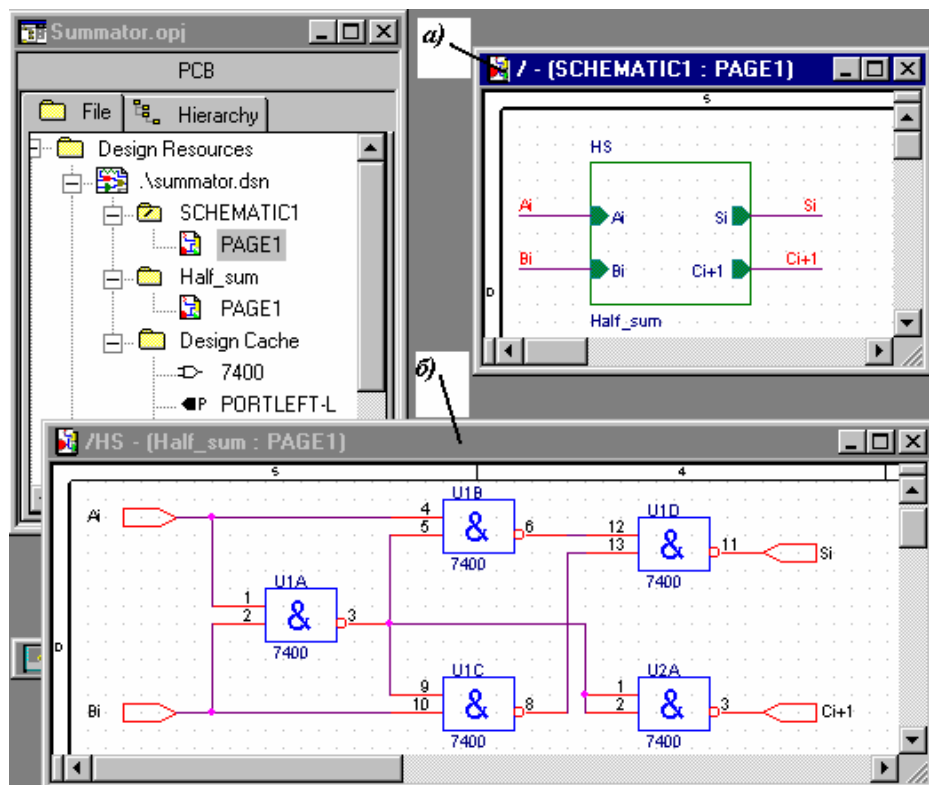


Рисунок 5.10 – Ієрархічний блок (а), схема заміщення в проєкті (б)

10. Виділити блок і натиснути на ньому правою кнопкою миші. У меню, що з'явилось, активізуємо команду "Descend Hierarchy" (понижити рівень). Редактор відкриє нову схемну сторінку "PAGE1" (рис. 5.10, б). Папка з ім'ям у вигляді окремого файлу не існує, що забезпечує незалежність проєкту від зовнішнього середовища. На сторінці будуть автоматично створені порти, що відповідають вхідним і вихідним контактам ієрархічного блоку.



11. Активізувати вікно "SCHEMATIC1:PAGE1, щоб нарисувати в ньому схему однорозрядного суматора на основі використання ієрархічного блоку півсуматора. "Тиражувати" блок можна за допомогою команд "Copy" і "Paste" з меню "Edit". У результаті вийде схема, зображена на рис. 5.11.

12. Переконайтеся, що кожному ієрархічному блоку відповідає своя схема заміщення. Для цього, виділивши відповідний блок (наприклад, "HS\_1"), виконаєте команду "View/Descend Hierarchy", що приведе до появи вікна "PAGE1". Виконання команди "View/Ascend Hierarchy" (підвищити рівень ієрархії) повертає вас у вихідне вікно зі схемою однорозрядного суматора. Зазначена вище пара команд "Descend/Ascend Hierarchy", дозволить надалі робити автоматичний перехід з одного аркуша схеми на інший.

У менеджері проекту в папці виділити зображення позначки "PAGE1" і двічі натиснути на ньому ЛКМ. На екрані з'явиться діалогове вікно "Select Occurrence" з запитанням, що уточнює зв'язок між схемою заміщення і позиційним позначенням ієрархічного блоку (див. рис. 5.12)

При виконанні процедур п. 15 зміна позиційного позначення ієрархічного блоку не позначена на позиційних позначеннях компонентів схеми заміщення.

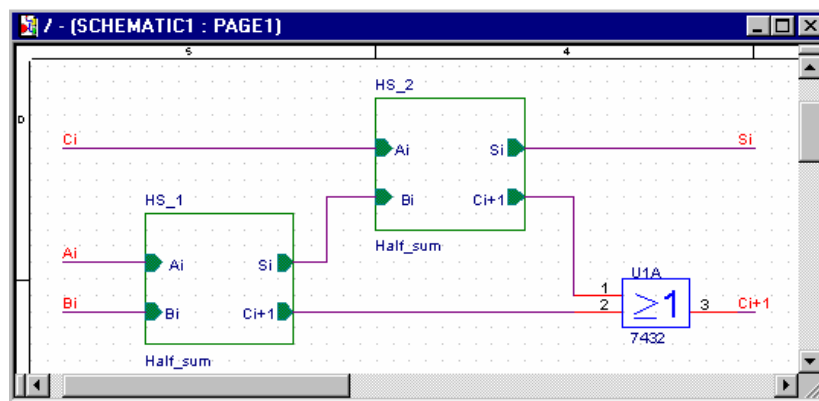


Рисунок 5.11 – Схема однорозрядного суматора

Потрібно проставити позиційні позначення компонентів "Part Reference" і секцій "Designator" у корпуси для всього проекту. Зручніше за все це зробити в автоматичному режимі за командою "Tools/Annotate" з опцією "Unconditional reference update" – відновлення позиційних позначень і пакувальної інформації всіх компонентів.

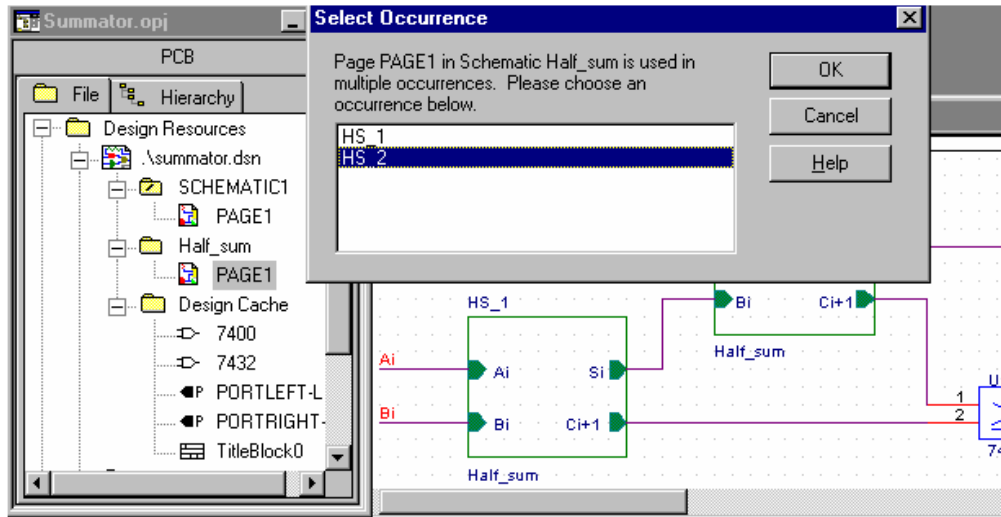

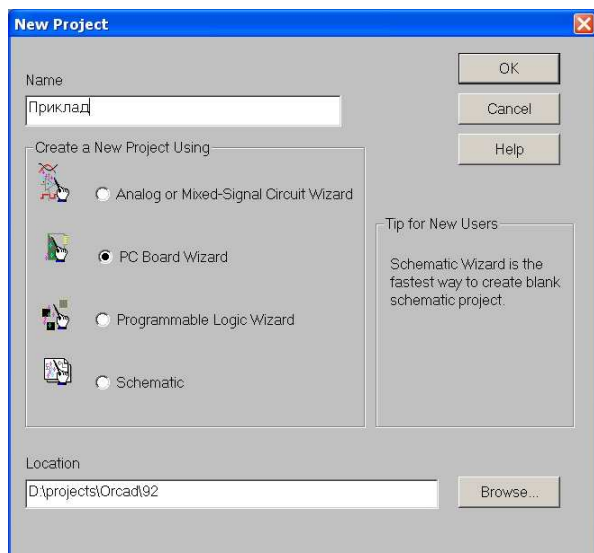


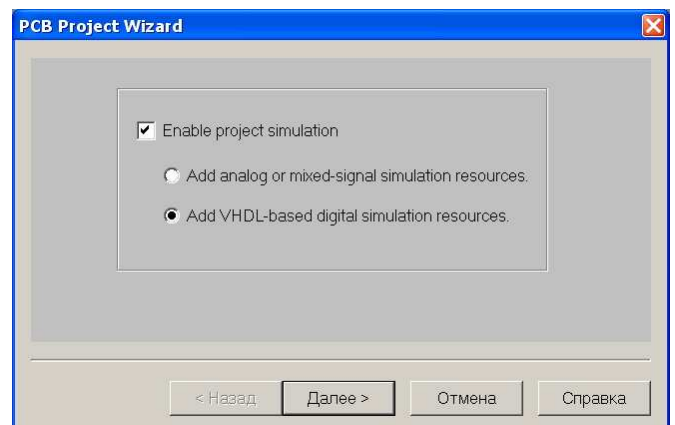
Рисунок 5.12 – Виклик схеми заміщення ієрархічного блоку

## 5.2 Порядок виконання роботи

1. Створити проект для введення схеми електричної принципової. Для створення проекту необхідно вибрати пункт меню "File/New/Project" або натиснути на кнопку із піктограмою . У результаті натиснення буде виведено вікно для вибору типу проекту (див. рис. 5.13 а) і типу моделювання (див. рис. 5.13 б).



а)



б)

Рисунок 5.13 – Вибір типу проекту (а) і типу моделювання (б)

У результаті натискання на кнопку "Далее" необхідно вибрати файли бібліотек (\*.OLB і \*.VHD) для подальшої роботи, як показано на рис. 5.14.

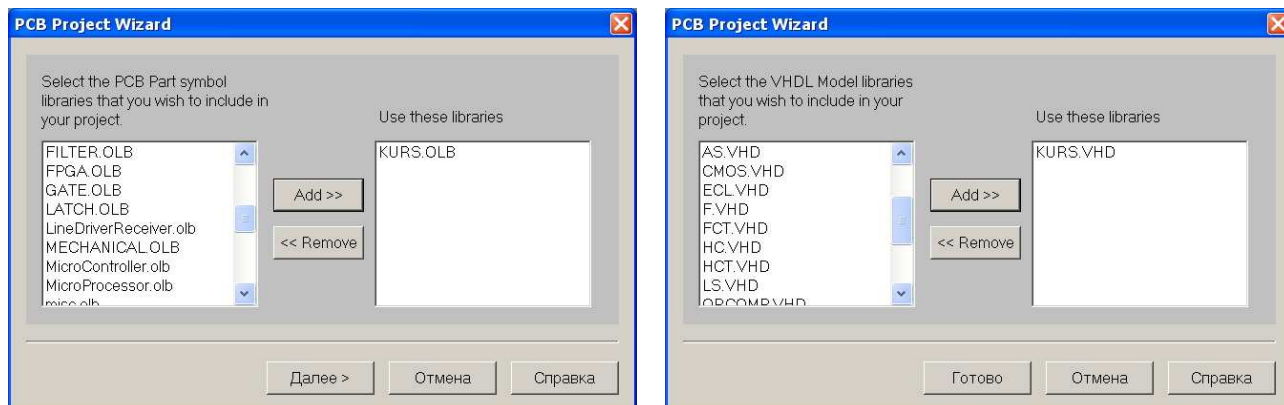


Рисунок 5.14 – Вибір бібліотек проекту

13. Ввести схему електричну принципову використовуючи елементи вказаних бібліотек. Для введення елементів треба вибрати пункт меню "Place\Part" (див. рис. 5.15), вводу зв'язків "Place\Wire" і інші або відповідні кнопки з піктограмами. Результуюча схема подана на рис. 5.16.

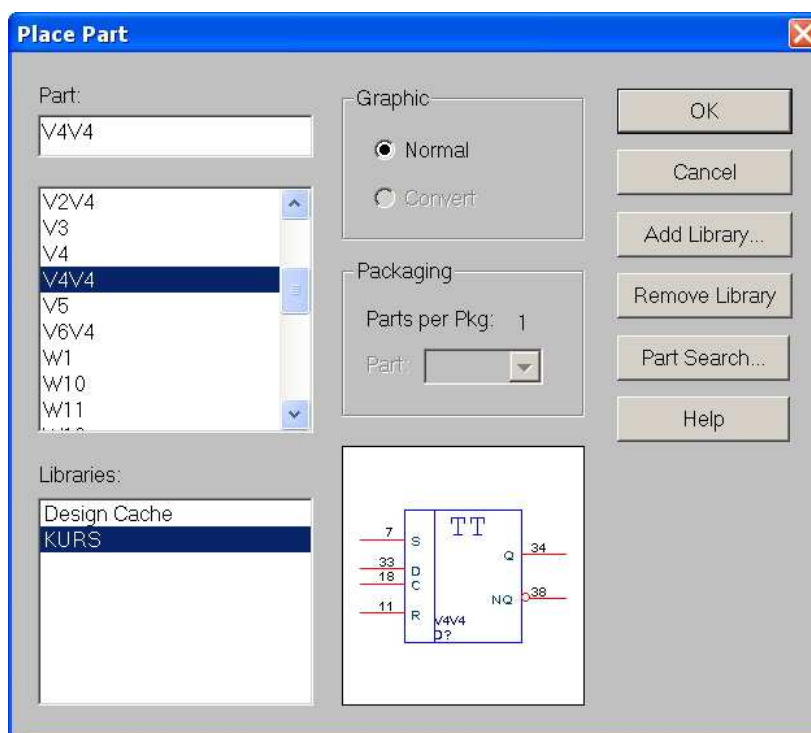


Рисунок 5.15 – Вікно вибору елементів

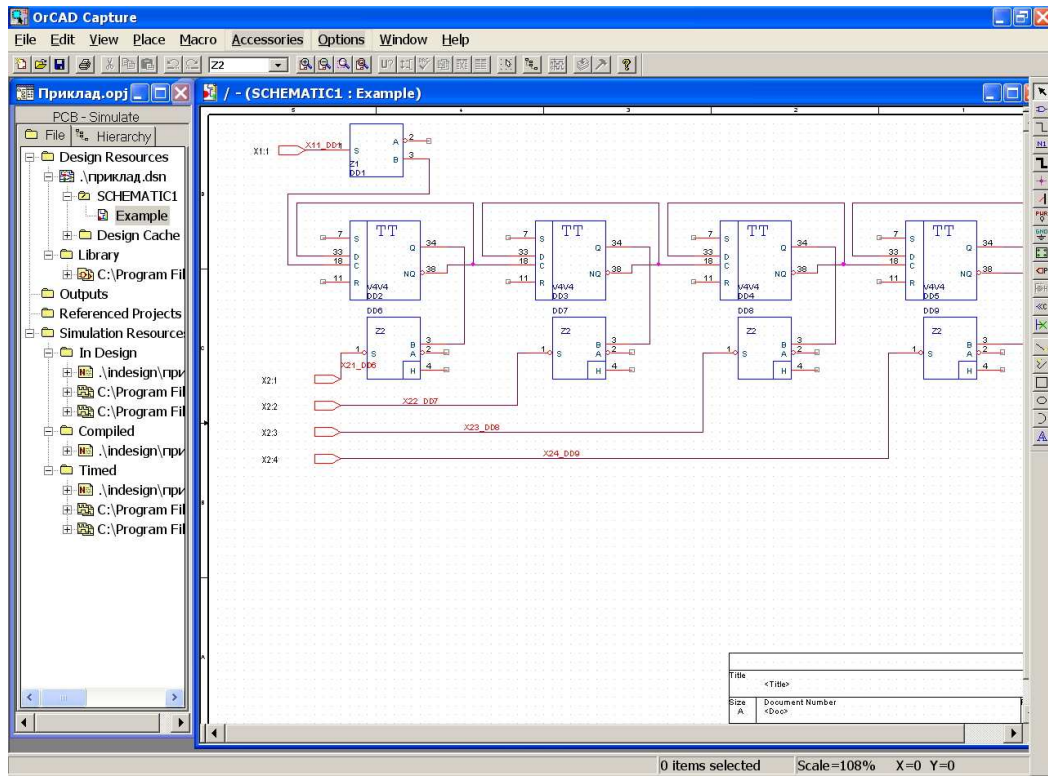


Рисунок 5.16 – Схема електрична принципова

### 5.3 Зміст звіту

1. Мета та цілі роботи.
2. Схема електрична принципова (схема повинна містити з'єднання окремих елементів за допомогою окремих зв'язків, шин, а також ієрархічні блоки і декілька сторінок, зв'язаних між собою).
3. До схеми необхідно додати специфікацію виконану відповідно до ДСТУ.
4. Висновки.

### 5.4 Контрольні запитання

1. Для чого використовується редактор "OrCAD Capture"?
2. Як створити новий проект?
3. Як створити ієрархічний блок і що він собою являє?
4. Як створити багатосторінковий проект (визначити зв'язок між сторінками)?
5. Як провести шину групового зв'язку?
6. Як змінити нумерацію компонентів на схемі?

## Лабораторна робота № 6

### Проведення моделювання схем у програмі "OrCAD"

*Мета:* отримати навички роботи в "OrCAD Simulation" з моделювання еkleктичних принципових схем.

#### 6.1 Теоретичні відомості

У графічному редакторі "OrCAD Capture", активізувавши вікно менеджера проектів, виконати команду "Tools/Design rules Check".... Якщо команда недоступна, у вікні менеджера проекту необхідно виділити схему (\*.dsn файл), для якої буде виконано пошук помилок. Натиснути на пункті меню ЛКМ, для виведення діалогової панелі із відповідною назвою (рис. 6.1). Провести перевірку не тільки на помилки, але і попередження "Warnings". Для цього необхідно встановити прапорець "Create DRC markers for warnings", встановити прапорець "View Output". У цьому випадку помилки і попередження будуть записані у файл \*.drc і його вміст з'явиться на екрані.

При наявності помилок або попереджень на принциповій схемі, будуть вказані "DRC"-маркери. Подвійне натискання на маркері відкриває панель, що пояснює характер помилки або попередження.

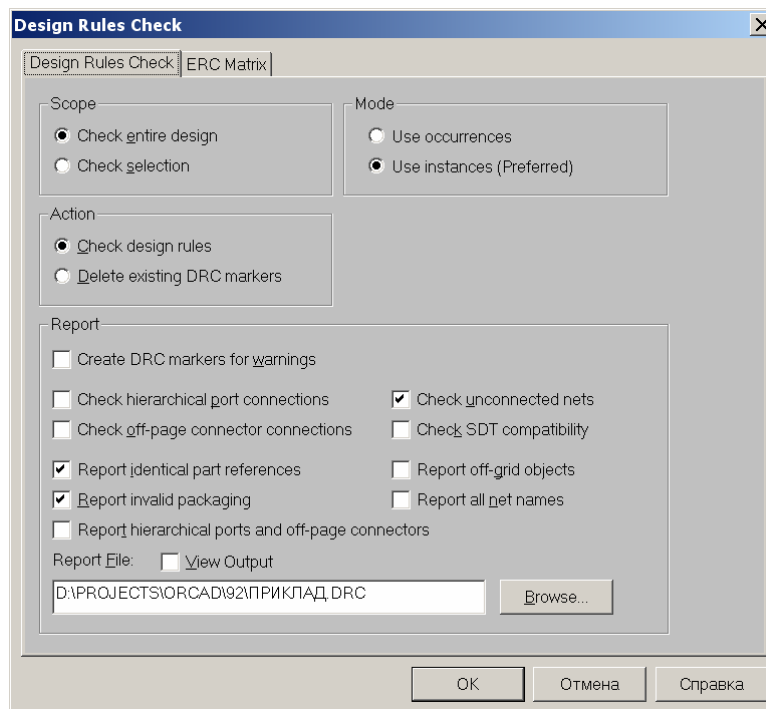


Рисунок 6.1 – Діалогова панель для задання умов електричного контролю схеми

На панелі "PCB Project Wizard" необхідно встановити прапорець "Enable Project Simulation" і вибрати нижню кнопку: "Add VHDL-based digital simulation re-sources" для виконання моделювання за допомогою "VHDL-моделей і "OrCAD Simulate".

Додати до проекту дві бібліотеки – "kurs.olb" і "kurs.vhd". У першій перебувають графічні зображення цифрових елементів, і, зокрема, потрібні компоненти, у другій – їх математичні "VHDL"-моделі.

Після створення схеми потрібно активізувати команду "Tools/Simulate"... При цьому автоматично буде створений список провідників "Netlist" схеми, що моделюється у форматі мови "VHDL" і запропоновано на вибір один із двох можливих способів моделювання див. рис. 6.3.

Для проведення функціонального моделювання необхідно вибрати "In Design", тимчасового – "Timed". Після натискання на кнопку "OK" буде завантажена програма моделювання цифрових схем "OrCAD Simulate" модуля "Express Plus".

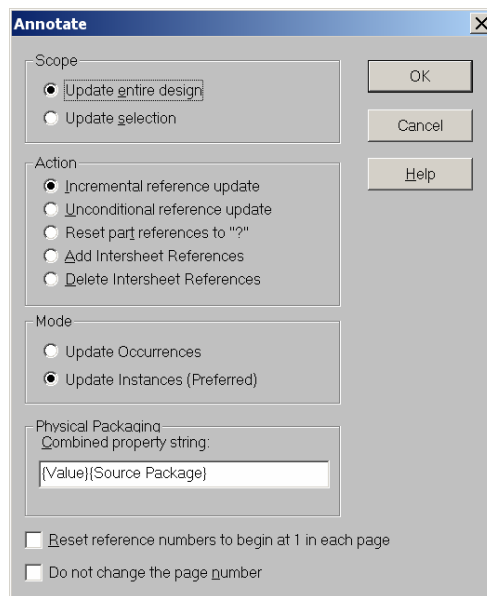


Рисунок 6.2 – Вікно "Annotate"

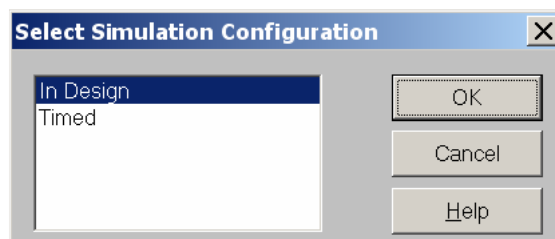


Рисунок 6.3 – Вікно "Select Simulation Configuration"

Після завантаження програми "Simulate" автоматично буде генеруватися список з'єднань схеми мовою "VHDL". Моделювання почнеться із задання вхідних сигналів. Вхідні сигнали створюються за командою "Stimulus/New Interactive". У діалоговому вікні цієї команди (рис. 6.4) є можливість вибрати один із трьох типів сигналів для складання опису сигналів.

1. "Basic" – основний сигнал, що задає набором моментів часу зміни логічних станів.

2. "Advanced" – розширення сигналу типу "Basic" з можливістю завдання циклів повторення;

3. "Clock" – періодичні сигнали.

На панелі "Simulate Signal Named" указується ім'я сигналу. При цьому замість явного вказання цього імені можна натиснути на панель "Browse", потім у вікні "Signals in Context" (рис. 6.5) вибрати один із входів і натиснути ОК.

Створені сигнали можна зберегти за командою "File/Save" для наступного використання. Сигнали під ім'ям "Stimulus.stm" зберігаються в каталозі "In Design" робочого проекту.

Якщо створено кілька видів вхідних сигналів "Stimulus, Stimulus1, ...", то під'єднання необхідного сигналу виконується за командою "Stimulus/Load Interactive" і у вікні потрібно вибрати ім'я сигналу.

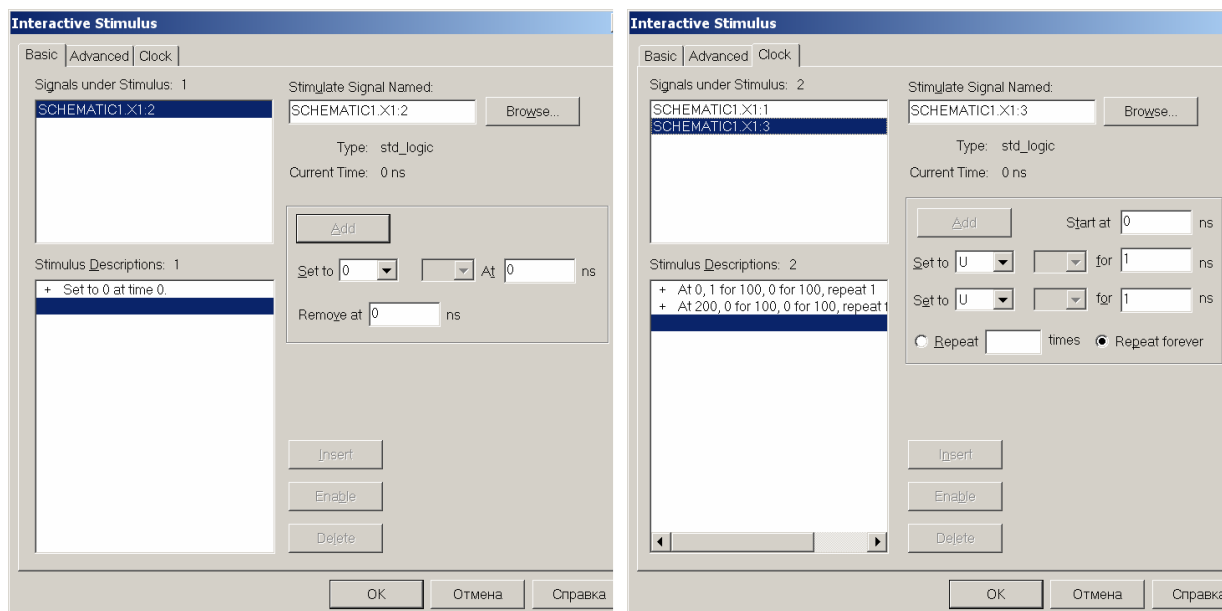



Рисунок 6.4 – Вікно "Interactive Stimulus"

Після задання всіх вхідних сигналів необхідно виконати моделювання за командою "Simulate/Run" (позначка команди ). Результати моделювання відображаються в графічному вигляді у вікні "Wave" (рис. 6.6).

Натисканням ЛКМ на графічному вікні наноситься візирна лінія для зчитування даних часових діаграм. Натисканням ПКМ буде відкрито контекстне меню зі списком команд: "Cut", "Copy", "Paste", "Delete", "Edit Traces", "Properties" і ін. Такі команди призначено для редагування вхідних сигналів. При редагуванні є можливість перетаскувати графік сигналу в інше місце на часовій діаграмі.

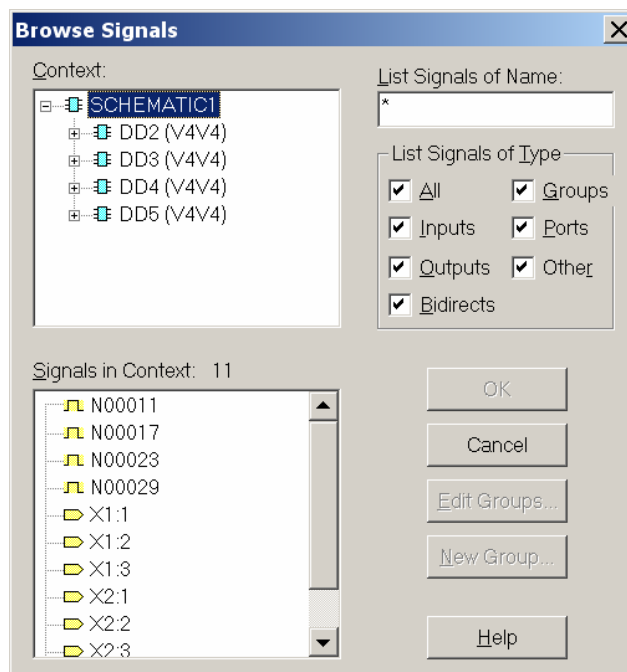


Рисунок 6.5 – Вікно "Browse Signals"

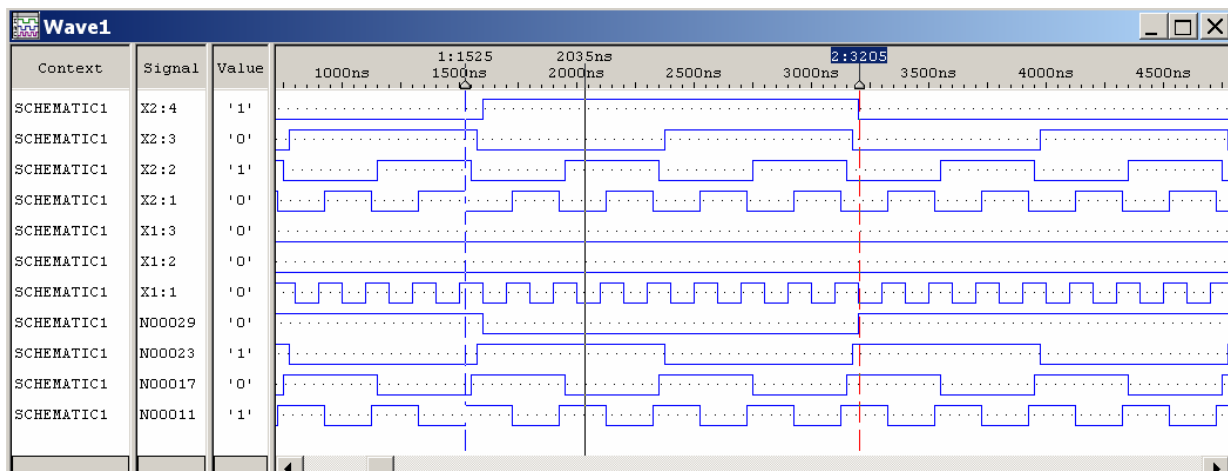


Рисунок 6.6 – Вікно перегляду часових діаграм "WAVE"



Якщо вхідні сигнали коректуються користувачем, то для наступного моделювання треба вибрати команди: "Simulate/Reload" – перезавантаження проекту і "Simulate/Restart" – установлення системи в початковий стан (при  $t = 0$ ).

## **6.2 Порядок виконання роботи**

1. Провести моделювання роботи схеми електричної принципової, розробленої в лабораторній роботі №5. Моделювання проводити відповідно до п. 6.1 для одиночних і групових сигналів.

2. Розрахувати максимальну затримку сигналу у схемі і порівняти її із результатами моделювання. Результати порівняння навести у звіті з лабораторної роботи.

3. Результати моделювання подати у друкованому вигляді. У звіті подати часову діаграму роботи схеми "WAVE" таким чином, щоб на поданому матеріалі відображалась робота всієї схеми, а не лише її частини. Також необхідно подати таблицю даних "LIST". У кінці звіту необхідно подати висновки з лабораторної роботи.

## **6.3 Зміст звіту**

1. Мета та цілі роботи.
2. Часова діаграма роботи схеми "WAVE" і таблиця даних "LIST".
3. Висновки.

## **6.4 Контрольні запитання**

1. Для чого використовується редактор "OrCAD Simulation"?
2. Як створити новий проект?
3. Як визначити вхідні і вихідні сигнали для проведення моделювання?
4. Як визначити одиночні вхідні сигнали для моделювання?
5. Як визначити групу вхідних сигналів для моделювання?
6. Як визначити одиночні вихідні сигнали для моделювання?
7. Як визначити групу вихідних сигналів для моделювання?
8. Які види моделювання сигналів вибираються в "OrCAD Simulation"?

## Лабораторна робота №7

### Настроювання проекту і розміщення компонентів в "OrCAD Layout Plus"

*Мета:* отримати навички роботи в "OrCAD Layout" з виконання автоматичного і "ручного" розміщення компонентів на друкованій платі.

#### 7.1 Теоретичні відомості

##### Завантаження списку з'єднань і технологічного шаблону

Після створення і перевірки схеми електричної принципової в "OrCAD Capture" необхідно скласти список з'єднань для наступного розміщення корпусів елементів і трасування друкованої плати за допомогою команди "OrCAD Capture\Create Netlist". Результатом виконання даної команди є файл із розширенням \*.mnl, що містить необхідну інформацію для подальшої роботи в "OrCAD Layout". Для завантаження списку з'єднань в "OrCAD Layout" потрібно вибрати меню "File/New" і після вибору технологічного шаблону (файли з розширенням \*.tch або \*.tcl) вибрати файл списку з'єднань. Якщо в процесі завантаження списку з'єднань виявлені елементи, що не мають посилання на існуючі посадочні місця (корпус), то в діалоговому вікні, що з'явилося, необхідно вибрати ім'я бібліотеки і ім'я корпусу відповідного елементу "Link existing footprint to... component".

Технологічні шаблони (файли з розширенням \*.tch або \*.tcl) містять початкову інформацію про друковану плату: установлення сіток, зазорів, шарів, контактних площадок, перехідних отворів, стратегії розміщення компонентів, трасування плати і т.д. Для створення власного технологічного шаблону необхідно визначити всі необхідні параметри друкованої плати і зберегти файл з явним вказанням розширення (\*.tch або \*.tcl).

Після успішного завершення завантаження списку з'єднань в "OrCAD Layout" відображаються корпуси елементів із вказанням електричних з'єднань (рис. 7.1).

##### *Настроювання параметрів проекту "OrCAD"*

Глобальні настроювання проекту в "OrCAD Layout" доступні за командою "Options/System Settings".

Всі інші необхідні настроювання здійснюються за допомогою команд меню електронних таблиць "View/Database Spreadsheets" (рис. 7.2) або за допомогою клавіші меню швидкого доступу "View Spreadsheet".

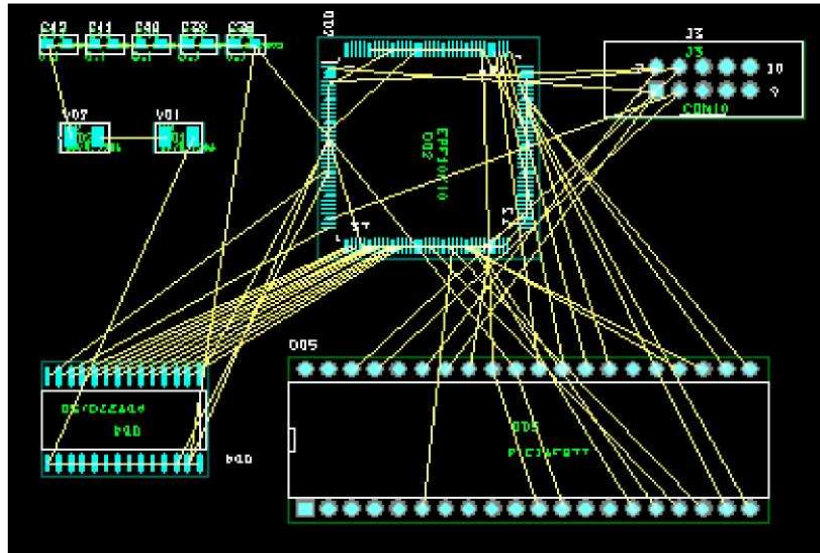


Рисунок 7.1 – Корпуси елементів і електричні з'єднання в "OrCAD Layout" після завантаження списку з'єднань

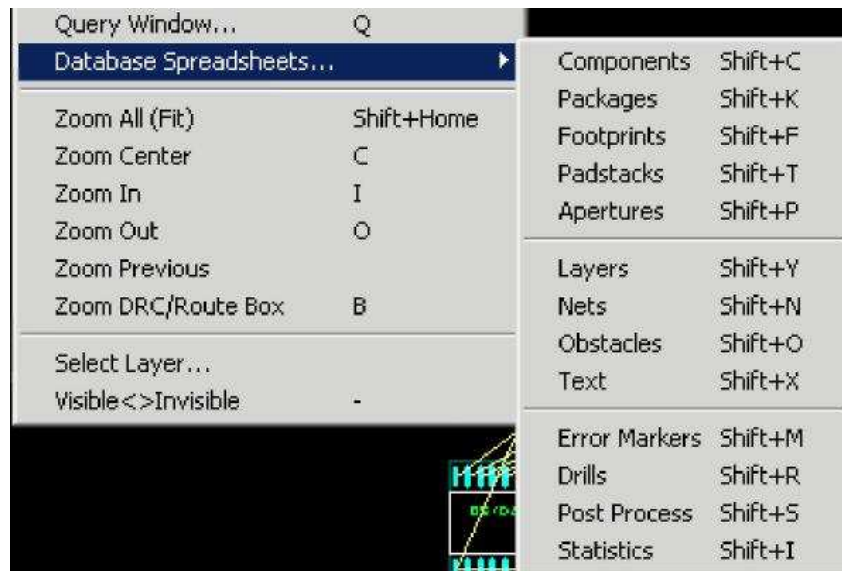


Рисунок 7.2 – Вікно "View/Database Spreadsheets"

Властивості елементів, що відображаються на екрані "OrCAD Layout", а також дії над ними доступні з контекстного меню, що буде показано при виділенні елементу і натисканні правої клавіші миші.

Таблиця "Components" містить позиційні позначення елементів, їх посадочні місця, координати корпусів, прапорці дозволу і блокування, кут повороту. Параметри компонентів для зміни і редагування доступні за командою "Properties" (контекстне меню).

Таблиці "Footprints" і "Padstacks" містять списки корпусів елементів і контактних площадок, для яких визначено бібліотеки і координати.

При перегляді або редагуванні властивостей контактних площадок (КП) доступні такі параметри.

1. "NonPlated" – ознака наявності наскрізного отвору.
2. "Use For Test Point" – ознака використання як контрольна точка.
3. "Large Thermal Relief" – ознака використання як тепловий бар'єр.
4. "Pad Shape" – форма площадки "Round" – кругла, "Square" – квадратна, "Oval" – овальна, "Annular" – у формі кільця, "Oblong" – довгастої форми з округленими краями, "Rectangle" – прямокутна, "Thermal Relief" – тепловий бар'єр, "Undefined" – невизначений).
5. "No Connection" – ознака відсутності підключення.
6. "Pad Width", "Pad Height" – ширина і висота КП, відповідно;
7. "X Offset", "Y Offset" – зсув точки підмікнення траси щодо геометричного центра КП по осях X і Y, відповідно. Таблиця апертур "Apertures" містить опис апертур, що буде використано. Таблиця "Layers" містить список шарів, що буде використано в "OrCAD Layout". Шари можуть бути таких типів:
  - а) "Routing" – шар трасування;
  - б) "Plane" – шар металізації;
  - в) "Drill" – шар символів отворів;
  - г) "Jumper" – шар перемичок;
  - д) "Documentation" – шар маркування;
  - е) "Unused" – невикористаний шар.

Кожен шар має зменшувальне ім'я, що складене із трьох символів. За замовчуванням в "OrCAD Layout" буде активовано два зовнішніх шари "TOP", "BOT", два шари металізації "GND", "POWER", 12 внутрішніх шарів "INNER", шар символів отворів "DRILL" і 10 шарів маркування. Дії над шарами доступні з контекстного меню "Properties" або меню "Edit/Properties". Додатковий шар – "Global Layer" – необхідно використати для відображення електричних зв'язків і меж друкованої плати.

Таблиця електричних зв'язків "Nets" містить перелік "трас" (провідників) і їх параметри.

1. Net Name" – ім'я провідника.
2. Net Attributes" – атрибути провідника:
  - а) "Routing Enable" – ознака дозволу трасування;
  - б) "Retry Enable" – ознака дозволу "перетрасування" зв'язку;
  - в) "Share Enable" – ознака дозволу "Т"- з'єднання;
  - г) "Shove Enable" – ознака дозволу трасування, що розштовхує;
  - д) "Highlight" – дозвіл підсвічування провідника;
  - е) "Test Point" – ознака дозволу використання провідника як контрольної точки.

14. "Group" – належність до групи провідників.
15. "Weight" – пріоритет провідника при трасуванні (чим вищий пріоритет, тим більша вага).
16. "Min", "Conn", "Max Width" – діапазон ширини доріжок.
17. "Net Layers" – відображає діалогове вікно для вибору з дозволених до трасування шарів для даного провідника.
18. "Width By Layer" – відображає діалогове вікно, для введення ширини зв'язку на активних для трасування шарах.
19. "Net Recon..." – відображає діалогове вікно, для вибору правила під'єднання до даного зв'язку:
  - а) "None" – забороняє трасувальнику перерозводити будь-які прямі з'єднання для зазначеного зв'язку;
  - б) "Horizontal/Vertical" – указує трасувальнику шукати насамперед горизонтальні/вертикальні з'єднання;
  - в) "STD. Orthog". – указує трасувальнику шукати найкоротший шлях між двома точками зі схильністю до горизонтальних або вертикальних трас;
  - г) "High speed" – забороняє "Т" - з'єднання і задає трасувальнику шукати шлях від однієї точки до іншої;
  - д) "No Dyn. Recon" – забороняє динамічне перепід'єднання.
20. "Net Spacing" – встановлення відстані між обраним зв'язком і іншими.

Якщо значення відсутні, то діють параметри зазначені в стратегії трасування "Route Spacing".

Таблиці "Obstacle", "Text", "Drills", "Apertures" містять імена і параметри бар'єрів і перелік текстових областей, їх параметри і належність, параметри сверління і використовуваних апертур, відповідно.

Таблиця "Error Markers" відображає список всіх помилок, позначених спеціальними маркерами, після перевірки проекту командою "Auto/Design Rule Check" з їх координатами і описом. Для очищення проекту від маркерів необхідно використати команду "Auto/Remove Violations".

Таблиця "Post Process" відображає установлення формування вихідних файлів для підготовки і виробництва друкованих плат, настроювання якого здійснюються за командами "Options/Gerber Settings" і "Options/Post Process Settings".

Таблиця "Statistics" відображає статистичні дані (кількість розведених трас, перехідних отворів, і т.д.) про друковану плату.

## **Настроювання стратегій компоунання і трасування "OrCAD Layout"**

Настроювання автокомпоновщика "OrCAD Layout Plus" буде здійснено за командами "Options/Placement Strategy" або "View Spreadsheet/Place Pass" (з меню швидкого доступу) і "Options/Place Settings".

Команда "Options/Placement Strategy" визначає правила виконання проходів при компоунанні, де визначаються кількість ітерацій проходу "Iterations", кількість спроб "Attempts", максимальне число кластерів "Max Clusters" і опції компоунання.

1. "Enable" – ознака дозволу виконання проходу.
2. "Done" – ознака виконаного проходу (можна використати дану ознаку, для того, щоб тимчасово заборонити даний прохід).
3. "Fast Reconnect" – ознака дозволу використання більше швидкого алгоритму компоунання (незначно зменшує якість розміщення).
4. "Swap Gates" – ознака дозволу перестановки вентилів.

Установки параметрів проходів мають такі значення.

1. "Assign Clusters" – компоновщик "OrCAD Layout Plus" автоматично групує компоненти в кластери з мінімальною кількістю зв'язків між кластерами.

2. "Proximity Place" – розміщення "близьких" (що мають найбільшу кількість зв'язків між собою) компонентів.

3. "Adjust Comps" – призначення індивідуального місця кожному компоненту після розміщення кластерів.

4. "Place Clusters" – розміщення кластерів у найбільш вигідні місця на платі стосовно інших груп і фіксованих компонентів.

5. "Swap Comps" – використовує інформацію "Capture" для того, щоб переставити суміжні компоненти (наприклад, якщо в одному корпусі перебуває кілька однакових елементів).

6. "Swap Pins" – використовує інформацію "Capture" для того, щоб перевизначити виводи компонентів.

7. Команда "Options/Place Settings" викликає діалогове вікно, у якому буде здійснено додаткове налаштування компоновщика "Layout Plus":

8. "Allow Outlines to Overlap" – ознака дозволу компоунання із межами, що перекриваються, компонентів.

9. "Auto Swap" – ознака дозволу перестановки компонентів.

OrCAD Layout Plus" містить файли стратегій компоунвання і трасування, які можуть бути завантажені за командою "File/Load". Імена файлів стратегій компоунвання починаються із символів "PL". Для того, щоб зберегти створену стратегію використайте команду "File/Save as" з явним вказанням розширення – \*.sf.

### **Створення контура друкованої плати**

Для створення контура друкованої плати необхідно використати команду "Obstacle" з меню "Tool" або з меню швидкого доступу. Контур друкованої плати "Board Outline" повинен бути нарисований у додатковому шарі "Global Layer". Для створення складного контура друкованої плати можна скористатися редактором "Visual CADD" (спрощений аналог "AutoCAD", що входить у пакет "OrCAD" "Tool/Visual CAD" або зовнішнім редактором і імпортувати в "OrCAD Layout" "File/Import".

### **Автоматичне компоунвання друкованої плати**

Дії з посадочними місцями доступні з меню "*Tool/Component*" або з контекстного меню.

1. "Select Tool" – режим вибору компонента.
2. "Select Filtered" – вибір декількох компонентів за допомогою фільтра.
3. "Select From Spreadsheet" – вибір компонента з таблиці.
4. "Queue For Placement" – створення черги для розміщення компонента.
5. "Place" – розміщення компонента.
6. "New" – додання нового компонента.
7. "Copy" – копіювання компонента.
8. "Adjust" "Ctrl+J" – вирівнювання групи компонентів.
9. "Opposite" "T" – перенос компонента на протилежну сторону друкованої плати із дзеркальним відображенням.
10. "Rotate" "R" – поворот на 90°.
11. "Shove" "J" – дозвіл трасувальнику пересувати компоненти.
12. "Swap" "Ctrl+W" – дозвіл трасувальнику переставляти секції.
13. "Lock" "L" – тимчасова фіксація компонента.
14. "Fix" – постійна фіксація компонента.
15. "Alternate Footprint" – вибір альтернативного корпусу.

16. "Properties" "Ctrl+E" – перегляд і редагування властивостей компонента.

17. "Delete" "Del" – видалення.

Перед автоматичним компонуванням друкованої плати необхідно розставити необхідні корпуси, наприклад, роз'єми, у необхідні місця і зафіксувати їх.

Розміщення компонентів необхідно виконати за командою "Auto/Place".

1. "Board" – виконати компонування друкованої плати.
2. "Component" – виконати компонування обраного компонента.
3. "Array..." – кругове розміщення компонентів.
4. "Matrix" – розміщення обраних компонентів у матриці.
5. "Free Via Matrix" – матричне розміщення вільних перехідних отворів.
6. "Test Points" – генерація контрольних точок.

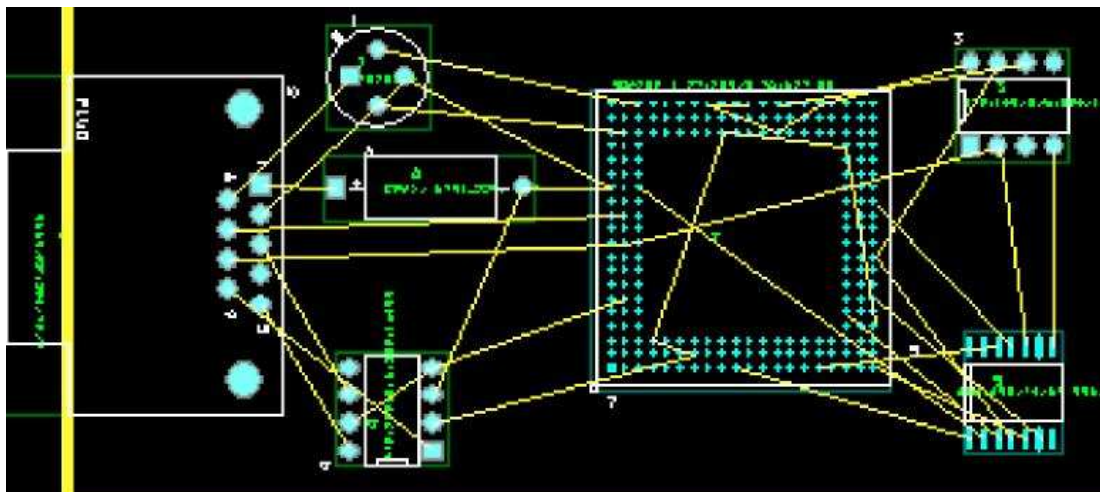


Рисунок 7.3 – Приклад розміщення компонентів в "OrCAD Layout"

Для розміщення обраного корпусу або групи корпусів по колу буде використовуватися команда "Auto/Place/Array..." де вказуються номер групи "Group Number", координати центра "Circle Center X, Y", радіус кола "Circle Radius", початковий кут "Start Angle", координати відносно центра кола для першого компонента в групі "Rel Start X, Y" і т.д.

Команда "Auto/Unplace" використовується для того, щоб скасувати компонування всієї друкованої плати "Board" або окремого компонента "Component".



## 7.2 Порядок виконання роботи

1. В "OrCAD Capture" створити список з'єднань для наступного розміщення корпусів елементів і трасування друкованої плати за допомогою команди "OrCAD Capture/Create Netlist" див. рис. 7.4. Перед виконанням команди необхідно встановити прапорець "User Properties are in inches".

2. Результатом виконання даної команди є файл із розширенням \*.mnl, що містить необхідну інформацію для подальшої роботи в "OrCAD Layout". Для завантаження списку з'єднань в "OrCAD Layout" потрібно вибрати меню "File/New" і після вибору технологічного шаблону (файли з розширенням \*.tch або \*.tcl – "DEFAULT.TCH" указати на файл списку з'єднань. Імена файлів повинні бути набрані латинськими літерами. Якщо в процесі завантаження списку з'єднань виявлені елементи, що не мають посилання на існуюче місце установлення, то в діалоговому вікні, що з'явилося, необхідно вибрати ім'я бібліотеки і ім'я корпусу відповідного елементу "Link existing footprint to..." див. рис. 7.5. У вікні, поданому на рис. 7.5 необхідно натиснути на кнопку "Link existing footprint to component". У результаті натискання на екрані з'явиться вікно, подане на рис. 7.6.

3. Для загрузки шаблонів місць установлення компонентів необхідно натиснути на кнопку "Add" і вибрати в діалоговому вікні необхідну бібліотеку "KURS.LLB". Після вибору бібліотеки виберіть її у списку "Libraries" і активізуйте тип необхідного корпусу.

4. Результати завантаження списку з'єднань на ДП показані на рис. 7.7. Якщо параметри технологічного шаблону не задовольняють, їх можна змінити.

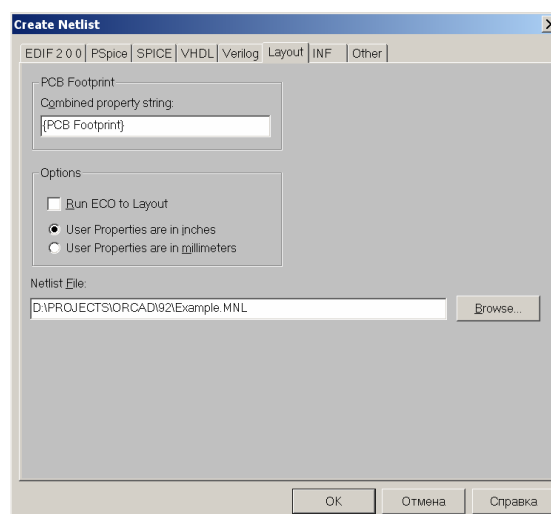


Рисунок 7.4 – Вікно "Create Netlist" сторінка "Layout"

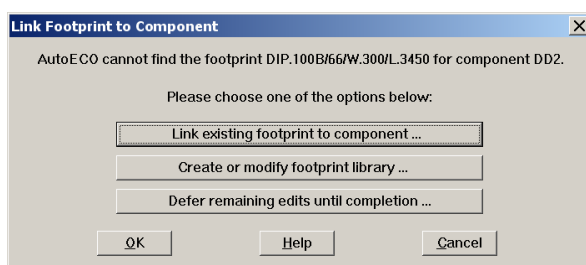


Рисунок 7.5 – Вікно "Link footprint to component"

Глобальні параметри проекту (система одиниць, крок сітки розміщення компонентів, крок сітки прив'язки і ін.) встановлюються в діалоговому вікні (рис. 7.8), що буде відкрито за командою "Options/System setting".

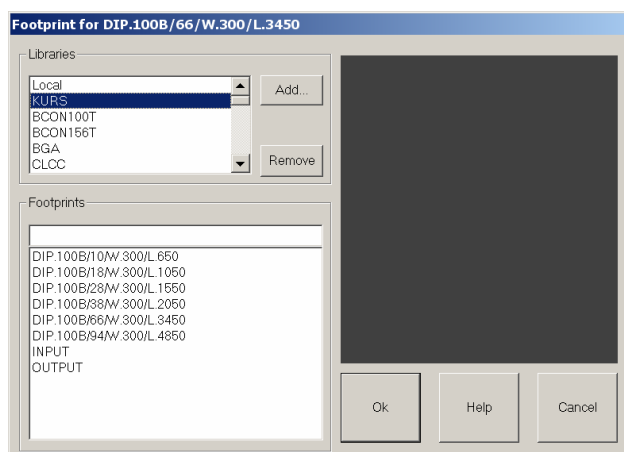


Рисунок 7.6 – Вікно "Footprint for" ..."

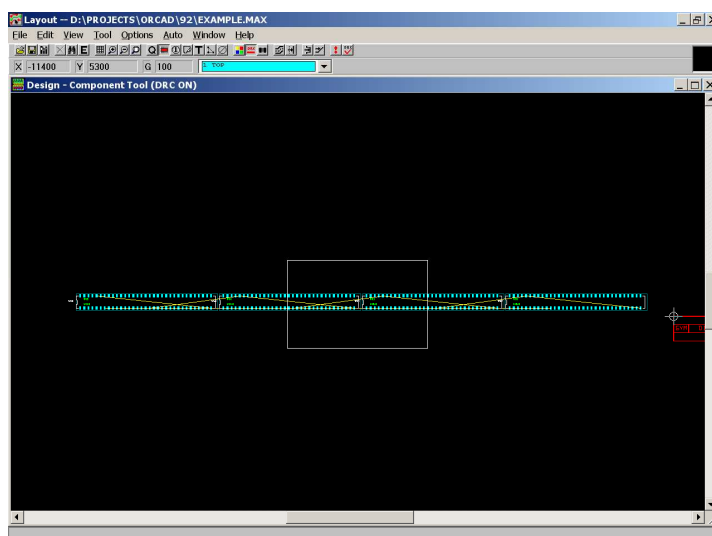


Рисунок 7.7 – Схема попереднього розміщення компонентів

За замовчуванням встановлено англійську систему одиниць mils (0,001 дюйма). Для переведення в міліметри розміри, наведені в mils, треба розділити на 40.

Шари, у яких буде проводитись розведення зв'язків, задаються в діалоговому вікні, що відкрито за командою "View/Database Spreadsheets/Layers".

Шар, у якому виконується розведення, виділяється як "Routing", відсутність розведення – "Unused". Для зміни стану необхідно натиснути ЛКМ на імені шару виділити рядок, що відповідає певному шару. (Якщо змінюються одночасно стани декількох шарів, то натискання ЛКМ на імені шару проводиться при натиснутій клавіші "Ctrl". Потім викликати контекстне меню натисканням ПКМ, необхідно вибрати рядок "Properties" і натиснути ЛКМ. У вікні, що відкрилося (рис. В.3) у полі "Layer Type" необхідно визначити стан шару "Routing", "Unused" і ін.

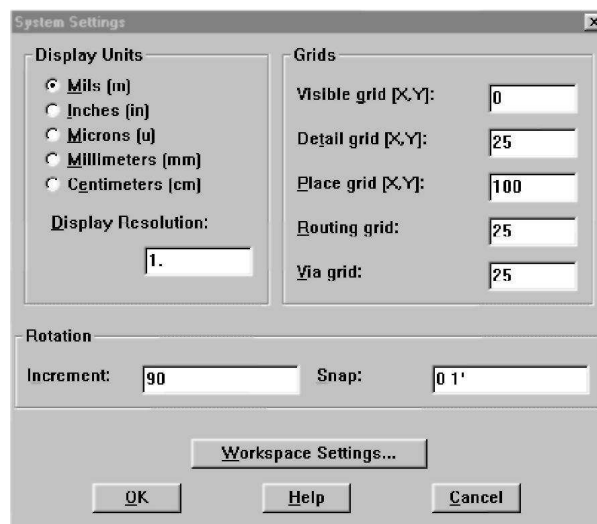


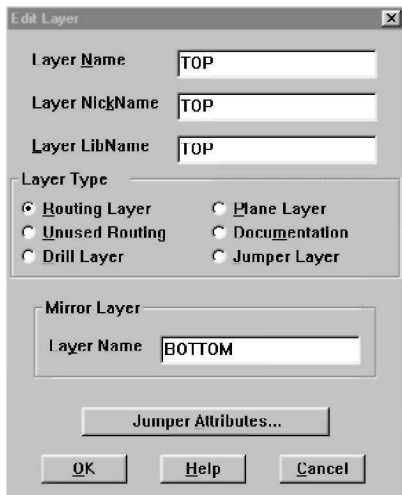
Рисунок 7.8 – Вікно "System settings"

Ширину провідників можна задати командою "View/Database Spreadsheets/Nets", яка відкриває діалогове вікно (рис. 7.9 а).

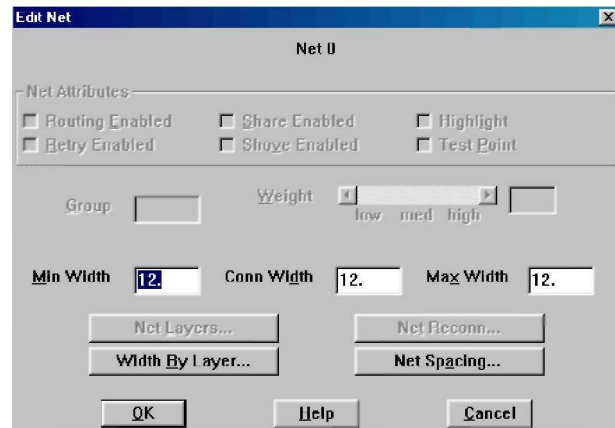
Подвійне натискання на цифрі в колонці "Width" розкриває вікно (рис. 7.9 б), у якому потрібно задати мінімальну, середню і максимальну ширину провідника в рядках "Min Width", "Conn Width" і "Max Width".

Зазори між провідниками, провідниками і контактними площадками і т.п. необхідно встановити в діалоговому вікні (рис. 5.14), що відкриває за командою "Options/Global Spacing".

При натисканні ЛКМ на імені шару в колонці "Layer Name" буде виділений рядок. Потім необхідно викликати контекстне меню, вибрати рядок "Properties" і натиснути ЛКМ. У вікні "Edit Spacing" (рис. 7.10) редагуються зазори.



a)




б)

Рисунок 7.9 – Вікно "Edit Layer"(a) і "Edit Net" (б)




Рисунок 7.10 – Вікно "Edit Spacing"

У центрі екрана розташований пунктирний прямокутник, що оточує область "DRC Box", усередині якої при розробленні ДП в автоматичному режимі дотримуються всі встановлені технологічні обмеження. Природно, коли ця область збігається з контуром ДП. Для задання нової області "DRC Box" необхідно виконати команду "View/Zoom DRC Route Box", установити значок "Z" в один з кутів ДП і, утримуючи натиснутою ЛКМ, переміщують позначку діагонально в інший кут ДП. Для переміщення області "DRC Box" після виконання команди "View/Zoom DRC Route Box" проводиться натискання ЛКМ після чого область "DRC Box" переміщена разом з курсором.

Увімкнення або вимкнення режиму дотримання технологічних норм проводиться натисканням ЛКМ на позначці . При вимкненому режимі пунктирний прямокутник зникає. Керувати режимом "DRC Box" можна і

командою "Options/User Preferences". Увімкнення режиму проводиться встановленням позначки в рядку "Activate Online DRC".

Провести розміщення компонентів на поле друкованої плати. Спочатку необхідно створити контур ДП за командою "Tool/Obstacle/New". Натиснувши ЛКМ в одному з кутів, що визначає ДП і утримуючи його, перемістити мишку по діагоналі і відпустити ЛКМ. Створено прямокутний контур ДП. Товщину лінії контура можна відредагувати у вікні, що буде відкрито після подвійного натискання ЛКМ на лінії контура ДП.

Розміщувати компоненти можна вручну, виділяючи і переміщаючи їх. Для цього треба виконати команду вибору компонента: "Tool/Component/Select Tool" позначка команди . Потім виділити компонент натисканням ЛКМ на ньому і переміщати компонент рухом мишки. Для фіксації компонента натиснути ЛКМ.

В автоматичному режимі розміщення виконується за командою "Auto/Place/Board". Перед виконанням розміщення можна задати правила розміщення за командою "Options/Placement Strategy". Необхідні компоненти перед автоматичним розміщенням потрібно зафіксувати на ДП (наприклад, роз'єми), вибравши компонент і у контекстному меню натиснути ЛКМ на рядку "Fix".

Результати розміщення надати в друкованому вигляді. У звіті подати схему розміщення в автоматичному і ручному режимах. У кінці звіту необхідно подати висновки по лабораторній роботі.

### ***7.3 Зміст звіту***

1. Мета та цілі роботи.
2. Подати розміщення елементів схеми в ручному і автоматичному режимах.
3. Висновки.

### ***7.4 Контрольні запитання***

4. Для чого використовується редактор "OrCAD Layout Plus"?
5. Як створити новий проект розміщення компонентів?
6. Що таке файл зв'язків і як його генерувати?
7. Як створити корпус друкованої плати?
8. Як провести ручне розміщення компонентів в корпусі друкованої плати?
9. Як провести автоматичне розміщення компонентів в корпусі друкованої плати?
10. Як зафіксувати компоненти в корпусі друкованої плати?

## Лабораторна робота №8

### Трасування провідників в "OrCAD Layout Plus"

*Мета:* оволодіти навичками автоматичного і "ручного" трасування друкованих плат в "OrCAD Layout".

#### 8.1 Теоретичні відомості

#### Настроювання параметрів трасувальника "OrCAD Layout"

Глобальні параметри автотрасування задаються в діалоговому вікні "Options/Route Settings".

1. "Route Mode" – вибір режиму трасування (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – Режими трасування

Режим трасування	Опис режиму трасування
Add/Edit Route Mode	Дозвіл вибору окремих зв'язків для ручного трасування критичних провідників без переміщення раніше створених трас
Edit Segment Mode	Дозвіл редагування сегмента траси
Shove Track Mode	Дозвіл редагування траси з переміщенням існуючих провідників. "High Power" – режим переміщення існуючих трас із можливістю їхнього розриву та перерозведення, "Medium Power" – дозволяє рухати і розсовувати навколишні траси, "Low Power" – дозволяє злегка розсовувати навколишні траси. Режим переміщення існуючих трас
Auto Path Route Mode	Дозвіл автотрасувальнику показувати можливі варіанти прокладки траси і показувати місця розташування потенційних перехідних отворів "Suggest Vias"

2. "Interactive Auto Route Settings" – настроювання діалогового режиму трасування:

- а) "Allow Off-Grid Routing" – дозвіл відображення можливих шляхів трасування без обліку сітки розведення;
- б) "Shove Components" – дозвіл переміщення компонентів і трас;
- в) "Maximize 135 Corners" – дозвіл оптимізувати зазор трасування вершинами од 45° або 90°;
- г) "Use All Via Types" – дозвіл розводити з'єднання з оптимальними перехідними отворами, з тих, які визначені в "Padstacks Spreadsheet".

3. "Manual Route Settings" – настроювання ручного трасування.

4. "Snap to Grid Routing" – ознака трасування по сітці розведення; "Use Routing Hints" – дозвіл підказок напрямку при прокладанні траси "Never" – трасувальник не використовує підказки напрямку, "Pads/Vias" – трасувальник використовує підказки напрямку тільки при виході з контактів і перехідних отворів, "Always" – трасувальник використовує підказки напрямку і под.).

5. "Drawing Method" – установлення кутів вершин при створенні трас у режимі ручного трасування "Any Angle Corners" – будь-який кут, "135 Corners" – кути 45°, 90°, 135°, "90 Corners" – кути тільки 90°, "Curve Corners" – вигнуті траси). Настроювання окремих стратегій трасувальника "OrCAD Layout" здійснюються за командою меню "Route/Strategies" і за допомогою меню швидкого доступу "View Spreadsheet/Strategies".

6. "Manual Route Strategy" – установлення параметрів поведінки інтерактивних інструментів.

7. "Route Sweeps" – установлення загальних параметрів для трасування (тип і розмір вікна і шаблон напрямку). Шаблон визначає рух активного вікна трасування ДП. Нульовий шаблон – "Sweep #0" – призначений для операцій ручного розведення. Шаблиони "Sweep #1" – "Sweep #6" для автотрасування :

- а) "Sweep #0" "WIN/COM" – установлення параметрів для ручного трасування або автотрасування окремого вікна;
- б) "Sweep #1" (попереднє розведення) – для трасування насичених зв'язками ділянок друкованої плати (мікросхеми пам'яті і т.д.);
- в) "Sweep #2" (розведення лабіринтом – "Maze Route" – для трасування більшої частини трас методом з можливістю повторного трасування;
- г) "Sweep #3", "Sweep #4", "Sweep #5" "Next 1", "Next 2", "Next3" – розведення нерозведених трас або ділянок;

д) "Sweep #6" (спеціальні опції) – установлення параметрів для того, щоб розвести якнайбільше зв'язків без перехідних отворів, зменшити їхню кількість, усунути додаткові кути.

Для настроювання кожного шаблону (контекстне меню) використовують такі параметри:

8. "Diagonal Routing" – кількість "Off" – виключено, "On" – включено, "Maximize" – максимальне) діагонального трасування (під кутом в 45°);

9. "Sweep Direction" – напрямок пересування шаблону трасування;

10. "Route Box" – розмір активної області трасування;

11. "Overlap%" – перекриття між вікнами трасування (у відсотках);

12. "Route Layers" – стратегії автотрасування для кожного шару і шаблону:

13. "Routing Enable" – ознака дозволу використання даного шаблону на обраному шарі;

14. "Layer Cost" – вартість шару;

15. "Primary Direction" – первинний напрямок трасування;

16. "Between Pins" – вартість трасування між выводами;

17. "Route Passes" – стратегії автотрасування для кожного проходу:

а) "Enable" – ознака дозволу виконання проходу;

б) "Done" – ознака виконаного проходу (можна використати даний признак, для того, щоб тимчасово заборонити даний прохід);

в) "Type" – алгоритм трасування;

18. "Heuristics" – метод трасування, що складено з кількох спроб застосувати дуже прості зразки трасування на нерозведені зв'язки, щоб закінчити трасування швидко і "чисто". Як правило, евристика необхідна для пам'яті і коротких двоточкових трасувань.

19. "Maze" – (лабіринт) дозволяє використати всі можливості розміщення і повторення трасування. Всі установлення активні, коли використовується опція "Maze". Один "Maze" шаблон повинен розвести більшість плат.

20. "Auto DFM" – (проект для технологічності). Вибір цієї опції для проходу трасування ідентичний виклику "Cleanup Design...з меню "Auto" відразу після завершення трасування вашої плати.

21. "Fanout" – рекомендується в більшості випадків для використання команди "Fanout", доступної з меню "Auto". Трасувальник розведе більшість контактів до перехідних отворів і використає простий евристичний



алгоритм, спочатку для пошуку коректного місця розміщення "усередині" мікросхеми, і якщо це не вийде, то "поза" нею.

22. "Via Reduce" – скорочення кількості перехідних отворів. У більшості випадків ви можете не запускати "Via Reduce", тому що трасувальник за своєю природою мінімізує кількість перехідних отворів у процесі розведення.

23. "Auto CDE" "clear design error" – unrouter, що видаляє всі замкнуті траси так, щоб автотрасувальник мав чистий проект, для перерозведення плати. Коли повторно завантажується "Layout", після внесення технічних змін, спочатку повинні виконати шаблон "Auto CDE", для автоматичного видалення всіх замкнутих трас на платі:

- а) "Partial" – часткове автотрасування – від джерела до краю активного вікна трасування;
- б) "Fast" – швидке автотрасування. Необхідне для оцінювання розміщення трас на платі;
- в) "Via Cost", "Retry Cost", "Route Limit", "Attempts" – вартість перехідного отвору, повтору, зусилля, що трасувальник вкладає в прохід, кількість спроб трасування

За командою "Options/Global Spacing" або в таблиці "Strategy/Route Spacing" виконати налаштування параметрів відстаней між елементами друкованої плати:

- "Track to Track" – відстань між доріжками;
- "Track to Via" – відстань між доріжкою і перехідними отворами;
- "Track to Pad" – відстань між доріжкою і выводами корпусу;
- "Via to Via" – відстань між перехідними отворами;
- "Via to Pad" – відстань між перехідними отворами і выводами корпусу;
- "Pad to Pad" – відстань між выводами корпусу.

## **Ручне і автоматичне трасування друкованої плати в "OrCAD Layout**

У загальному випадку, перед трасуванням необхідно визначити:

1. Діаметри монтажних і перехідних отворів;
2. Форми і розміри контактних площадок;
3. Розміри друкованих провідників, кількість шарів плати і її розмірів;
4. Відстані між елементами друкованого рисунка.

5. Ручне трасування друкованої плати буде здійснене за командами "Add/Edit Route Mode", "Edit Segment Mode", "Shove Track Mode", "Auto Path Route Mode".

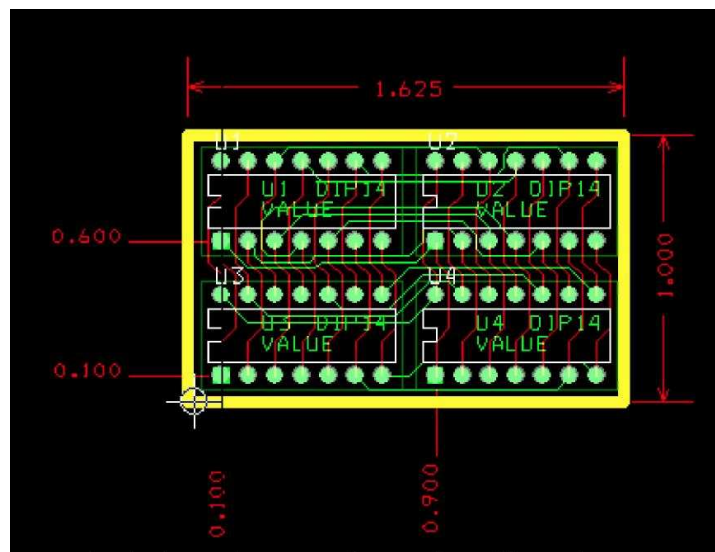


Рисунок 8.1 – Приклад трасування друкованої плати в "OrCAD Layout"

Автоматичне трасування (рис. 8.1) друкованої плати виконується за командою меню "Auto/Autoroute":

1. "Board" – виконати трасування всієї друкованої плати;
2. "DRC/Route Box" – виконати трасування всіх компонентів, що перебувають у вікні;
3. "Component" – виконати трасування зворотного компонента;
4. "Halt Autoroute" – зупинити трасування;
5. "Resume Routing" – продовжити трасування.

Команда "Auto/Unroute" необхідна для того, щоб скасувати трасування всієї друкованої плати "Board", вікна "DRC/Route Box", окремого провідника "Net" і окремого компонента "Component".

Для "очищення" проекту після завершення трасування треба виконати команду "Auto/Cleanup Design", що автоматично згладжує, з'єднує під кутом 45° і перевіряє як естетичні, так і виробничі проблеми, які могли виникнути в процесі ручного або автоматичного трасування.

### **Автотрасування**

Автотрасування провідників виконувати за командою "Auto/Autoroute/Board". Після закінчення розведення плата буде масштабована на весь екран за командою "View/Zoom All" для візуального

оцінювання результатів трасування. Якщо видно, що деякі елементи розставлені неоптимальним образом, (наприклад, їх бажано перемістити, повернути і под.), потрібно скасувати результати трасування (команда "Auto/Unroute/Board" і перемістити елементи вручну, потім повторити розведення. Повторюючи цей прийом, можна домогтися гарних результатів у трасуванні провідників. Розведена ДП показана на рис. 8.2.

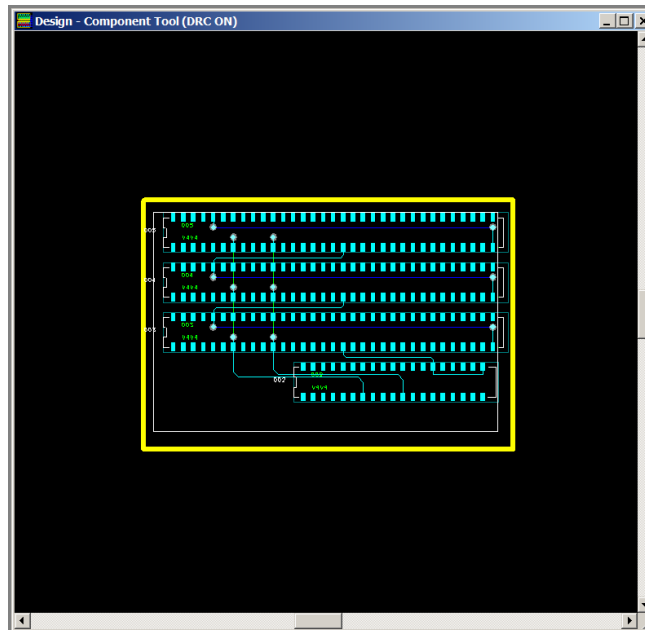


Рисунок 8.2 – Вікно "Design" – "Component Tool"

Після закінчення трасування перейти в метричну систему одиниць (команда "Options/System Settings") і проставити розміри ДП у міліметрах за командою "Tool/Dimension/New".

### **Оформлення документації**

Доробка креслень і оформлення документації на схеми електричні і ДП виконується у вбудованому в САПР "OrCAD9.1" модулі "Visual CADD" (спрощена версія програми "AutoCAD". У програмі завантажуються файли з розширенням \*.dxf. Трансляція електричних схем у формат "DXF" виконується за командою "File/Export Design". У діалоговому вікні (рис. 8.3,а) необхідно натиснути на закладку "DXF" і у рядок "Save As" занести ім'я файлу \*.dxf, розкриваючи вміст каталогів кнопкою "Browse". Натиснути ОК.

Для експорту друковану плату у форматі \*.max, перетворити у формат "DXF" виконати команду "File/Export/Layout to DXF", що знаходиться у початковому меню модуля "Layout Express". У діалоговому вікні "MAX to DXF" (рис. 8.3,б) у полі "Input Layout File" після натискання

на кнопку "Browse", буде відкрито файл друкованої плати \*.max. У полі "Output DXF File" ввести ім'я ДП із розширенням \*.dxf і натиснути кнопку "Translate".

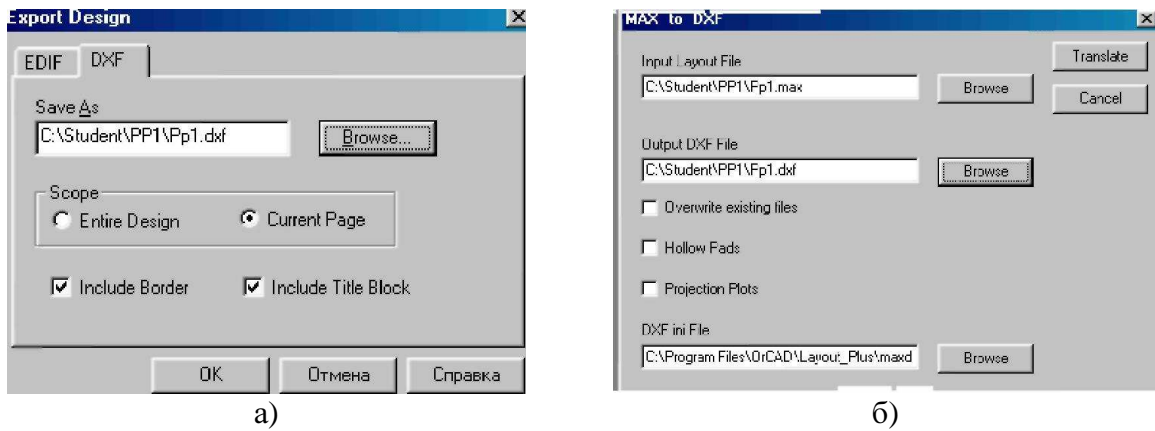


Рисунок 8.3 – Вікно "Export Design"

У комплект креслень друкованої плати входять два креслення, які можна оформити з файлу друкованої плати \*.max: креслення плати, що містить друковані провідники, і складальне креслення, що відображає розміщення компонентів на ДП. Однак файл ДП \*.max містить як друковані провідники, так і компоненти. Для оформлення креслень необхідно зробити видимими тільки певні шари.

Після видалення з екрана друкованих провідників, файл ДП \*.max" приймає вигляд, придатний для оформлення складального креслення. Для видалення провідників треба вибрати шар із провідниками в меню шарів, розташованому в рядку позначок команд програми "Layout Plus" (рис. 8.4).

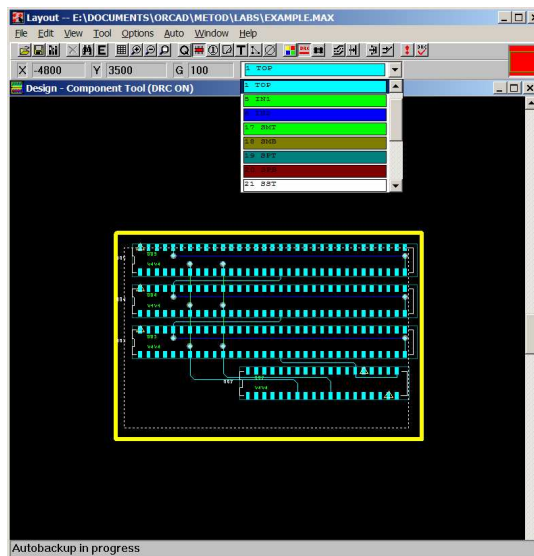


Рисунок 8.4 – Шар із провідниками в меню шарів

Для створення креслення плати потрібно за командою "View/Clear Screen" очистити екран і потім набрати на клавіатурі номер виведеного шару провідників (або його ім'я). На шарі "TOP" (номер шару 1) розташовуються провідники на верхній стороні плати (з боку компонентів), на шарі "BOT" (номер шару 2) розташовуються провідники на нижній стороні плати. Рамка креслення відноситься до глобального шару, що має номер 0. Зображення ДП повністю буде відновлено на екрані після виконання команди "View/Redraw" (клавіша "Home" на клавіатурі).

Виконати команду "View/Visible (Invisible)" (або натиснути клавішу " - " на клавіатурі) і обраний шар стає невидимим. (Повторне виконання цієї команди робить шар видимим). Для видалення текстових написів робиться невидимим шар 23AST. Аналогічно видаляються і контакти.

## **8.2 Порядок виконання роботи**

6. У роботі провести трасування відповідно до схеми електричної принципової, розробленої в лабораторній роботі №5 і схеми розміщення елементів у ручному і автоматичному режимах.

7. Трасування компонентів провести в ручному і автоматичному режимах.

8. Результати трасування надати у друкованому вигляді. У звіті подати трасування в автоматичному і ручному режимах.

## **8.3 Зміст звіту**

1. Мета та цілі роботи.
2. Подати зображення шарів трасування і складальне креслення схеми в ручному і автоматичному режимах.
3. Висновки.

## **8.4 Контрольні запитання**

1. Для чого використовується редактор "OrCAD Layout Plus"?
2. Як визначити стратегії трасування?
3. Як визначити кількість шарів для трасування і основні характеристики друкованої плати?
4. Як створити корпус друкованої плати?
5. Як провести ручне трасування компонентів в корпусі друкованої плати?
6. Як провести автоматичне трасування компонентів в корпусі друкованої плати?

## Література

1. Савельев М. В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: Учеб. пособие для вузов по спец. "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети" / М. В. Савельев. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
2. Ушаков Н. Н. Технология производства ЭВМ: Учеб. для вузов по спец. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети – 3-е изд., перераб. и доп. / Н. Н. Ушаков. – М.: Высш. шк., 1991. – 416 с.
3. Билибин К. И. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др. Под общ. ред. В. А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.– 528 с. (Сер. Информатика в техническом университете).
4. Курейчик В. М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР / В. М. Курейчик.– Москва: Радио и связь, 1990.
5. Морозов К. К. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры / К. К. Морозов, В. Г. Одинокоев, В. М. Курейчик. – Москва: Радио и связь, 1983.
6. Ильин В. Н. Автоматизация схемотехнического проектирования: Учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин, А. И. Бутко и др.– Москва: Радио и связь, 1987.
7. Пестряков В. Б. Конструирование радиоэлектронных средств. / В. Б. Пестряков. – М.: Радио и связь, 1992. – 425 с.
8. Верхопятницкий П. Д. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. / П. Д. Верхопятницкий, В. С. Латинский. – Л.: Судостроение, 1988. – 232 с.
9. Журавский В. Г. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах. / В. Г. Журавский. – М.: Радио и связь, 1988. – 280 с.
10. Токхейм Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ. Р. Токхейм. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
11. Евреинова Э. В. Цифровая и вычислительная техника / Э. В. Евреинова. – М.: Радио и связь, 1981. – 464 с.
12. Зельдин Е. А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. Е. А. Зельдин. – Л.: Энергоатомиздат 1986. – 286 с.
13. Зубчук В. И. Справочник по цифровой схемотехнике / В. И. Зубчук, В. П. Сигорский, А. Н. Шкуро. – К.: Техніка, 1990. – 448 с.

Навчальне видання

**Рейда Олександр Миколайович**  
**Романюк Олександр Никифирович**  
**Петух Анатолій Михайлович**

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ**

Лабораторний практикум

Редактор О. Скалоцька

Оригінал-макет підготовлено О. Рейдою

Підписано до друку  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.  
Наклад 75 прим. Зам № 2011-008

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.