МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ

методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)»

Витебск
2024

УДК 658.512.2

Составитель
А. М. Науменко

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 16.11.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 27.12.2023.

Системы автоматизированного проектирования отрасли: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А. М. Науменко, – Витебск : УО «ВГТУ», 2024. – 48 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования отрасли», определяют порядок выбора студентом темы работы, общие требования, предъявляемые к лабораторным работам, освещают последовательность их подготовки, требования к структуре и содержанию.

Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения на базе ссуза специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)».

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ».

УДК 658.512.2

© УО «ВГТУ», 2024

Содержание

Лабораторная работа 1. Разработка электрической схемы в приложении ISIS PROFESSIONAL 4
1.1 Цель работы 4
1.2 Теоретическая часть 4
1.3 Порядок выполнения работы 18
1.4 Контрольные вопросы 20
Лабораторная работа 2. Разводка печатной платы в приложении ARES PROFESSIONAL 21
2.1 Цель работы 21
2.2 Теоретическая часть 21
2.3 Порядок выполнения работы 38
2.4 Контрольные вопросы 45
Список рекомендуемых литературных источников и веб-ресурсов 47

Лабораторная работа 1.
Разработка электрической схемы в приложении ISIS PROFESSIONAL

1.1 Цель работы

Получить базовые навыки сборки радиоэлектронного устройства при помощи приложения ISIS Professional.

1.2 Теоретическая часть

Proteus – это пакет программ класса САПР, объединяющий в себе две основные программы:

– ISIS – средство разработки и отладки в режиме реального времени электронных схем;

– ARES – средство разработки печатных плат.

Разработчиком пакета Proteus является фирма Labcenter Electronics, Великобритания.

Отличие от аналогичных по назначению пакетов программ, например, Electronics Workbench Multisim, MicroCap, Tina и т. п. в развитой системе симуляции (интерактивной отладки в режиме реального времени и пошаговой) для различных семейств МК: 8051, PIC (Microchip), AVR (Atmel), и др. Программа Proteus имеет обширные библиотеки компонентов, в том числе и периферийных устройств: индикации, температурных датчиков, интерактивных элементов ввода-вывода: кнопок, переключателей, виртуальных портов и виртуальных измерительных приборов, интерактивных графиков, которые не всегда присутствуют в других подобных программах.

В качестве автоматического встроенного трассировщика в ARES, начиная с версии 7.4, используется программа ELECTRA Autorouter. До этого она являлась дополнительным и самостоятельным средством трассировки и устанавливалась в отдельную папку. Для создания собственных VSM (программных) моделей с версиями до 6.3 распространялась библиотека VSM SDK (папка INCLUDE), которая в более поздних версиях отсутствует, т. к. разработчик посчитал необходимым закрыть данную информацию с целью предотвращения «плагиата» моделей другими фирмами.

ISIS использует следующие типы файлов:

- файлы проектов (.DSN);
- файлы резервных копий (.DBK);
- файлы секций (.SEC);
- файлы модулей (.MOD);
- файлы библиотек (.LIB);
- файлы списков соединений (.SDF).

Файлы проектов содержат всю информацию об одной схеме и имеют расширение DSN. Резервные копии файлов проектов создаются, когда перезаписывается имеющийся файл, предоставляя ему расширение DBK.

Секция чертежа может быть экспортирована в файл секции и впоследствии передана в другой проект. Файлы секций имеют расширение SEC и могут быть прочитаны и записаны командами Импорт (Import) и Экспорт (Export) в меню Файл (File).

Файлы модулей имеют расширение MOD и используются в связке с другими функциями иерархического проекта. Смотрите соответствующий раздел для дополнительной информации.

Библиотеки символов и устройств имеют расширение LIB.

Файлы списков соединений создаются при экспортировании связей в ProSPICE и ARES и имеют расширение SDF; другие расширения используются при создании списка соединений в других форматах.

Система моделирования Proteus VSM использует также другие типы файлов. Смотрите руководство VSM для дополнительной информации.

Интерфейс программы ISIS представлен на рисунке 1.

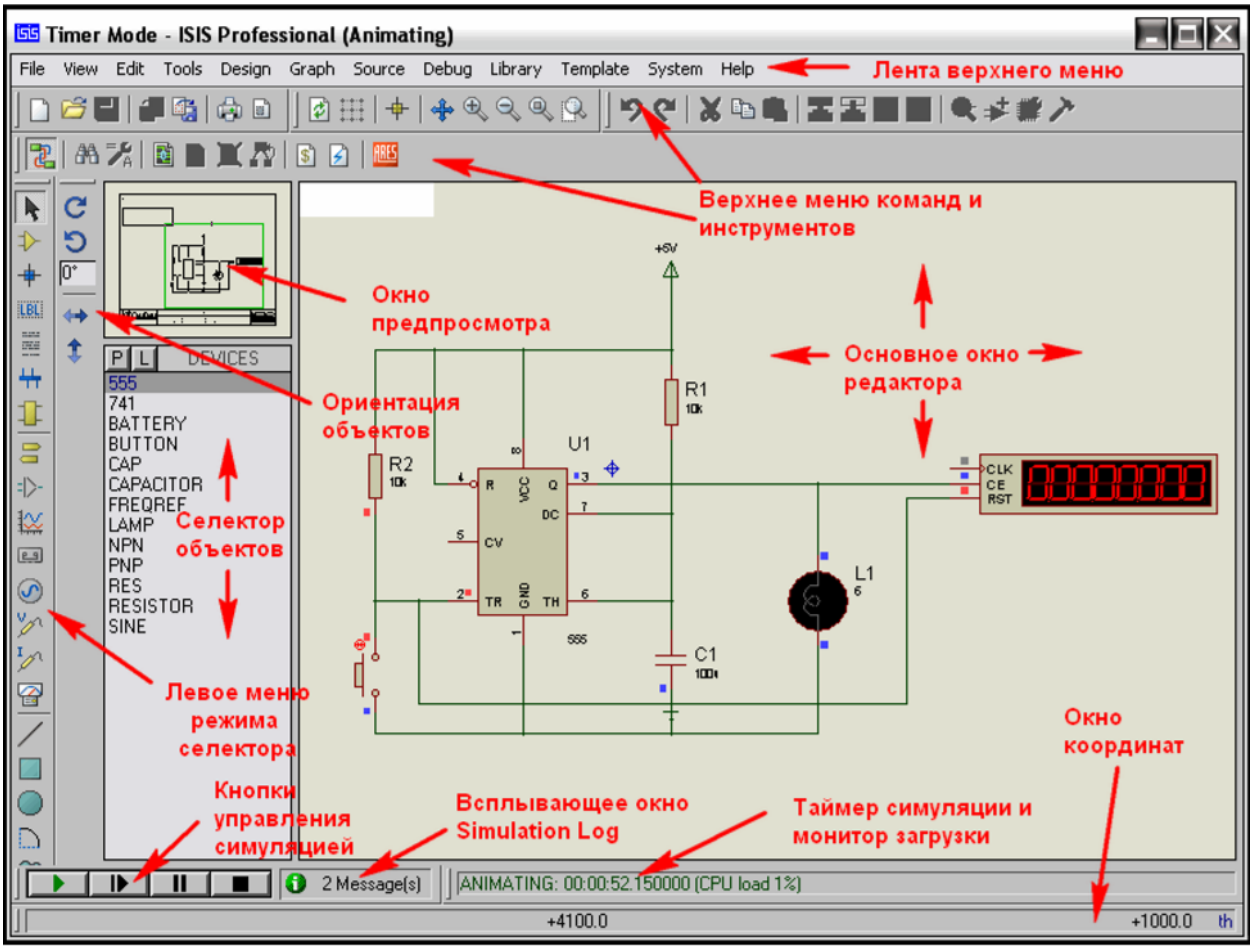


Рисунок 1 – Интерфейс программы ISIS

Панель меню расположена параллельно верхней границе окна, и главная её цель (выбор команд из меню) такая же, как и в других приложениях Windows. В дополнение, пространство панели заголовка над именами меню

используется для показа некоторых подсказок, которые показывают, когда программа входит в режим редактирования или обработки.

ISIS обеспечивает доступ к многим его командам и режимам через использование панелей инструментов. Панели инструментов могут быть перетянуты на любую из четырех границ окна приложения ISIS.

Инструменты, расположенные вдоль верхней границы экрана (по умолчанию), обеспечивают альтернативный доступ к следующим командам меню и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Панель команд меню

Пиктограмма	Назначение
1	2
Команды Файл/Печать	
	Новый файл
	Открыть проект
	Сохранить проект
	Импорт секции
	Экспорт секции
	Печать проекта
	Выбрать область вывода
Команды отображения	
	Обновить экран
	Переключить сетку
	Переключить начало координат
	Центровать по курсору
	Увеличить
	Уменьшить
	Вписать во весь лист
	Вписать в область
Команды редактирования	
	Отменить изменения
	Вернуть изменения

Окончание таблицы 1.

1	2
	Вырезать в буфер обмена
	Копировать в буфер обмена
	Вставить в буфер обмена
	Копировать блок
	Переместить блок
	Повернуть блок
	Удалить блок
	Выбрать элемент из библиотеки
	Создать устройство
	Создать корпус
	Разложить отмеченные элементы
Инструменты проектирования	
	Переключить автотрассировку связей
	Поиск и выбор компонента
	Присваивание свойств
	Проводник проекта
	Новый (корневой лист)
	Убрать / удалить лист
	Выход из родительского листа
	Показать BOM отчет (перечень используемых компонентов)
	Показать электрический отчет
	Передача в ARES списка соединений

Панель, расположенная внизу левой границы экрана, выбирает режим редактора, то есть что происходит, когда вы кликаете на окне редактирования (табл. 2).

Панель положения показывает и управляет поворотом и отражением объектов, помещенных на схему. В ISIS могут быть введены только ортогональные углы.

Когда выделяется существующий объект, иконки поворота и отражения подсвечиваются красным, чтобы показать, как они изменят ориентацию объекта на схеме. Когда иконки не подсвечены, они служат для определения ориентации новых объектов.

Таблица 2 – Панель редактора

Пиктограмма	Назначение
Основные режимы	
	Режим выбора
	Компоненты библиотеки
	Точка соединения
	Метка соединения
	Текст
	Шина
	Субсхема
Приспособления	
	Создание подсхем
	Вставка выводов устройств
	Создание диаграмм
	Создание, использование записей
	Использование различных типов генераторов
	Использование датчиков напряжения
	Использование датчиков тока
	Использование виртуальных инструментов
2D графика	
	Линия
	Прямоугольник
	Круг
	Дуга
	Полилиния
	Текст
	Символ
	Маркер

Окно редактирования показывает часть схемы, которую вы сейчас редактируете. Содержимое окна редактирования может быть перерисовано использованием команды **Перерисовать** (**Redraw**) в меню **Вид** (**View**). Это также перерисует окно обзора. Вы можете использовать эту особенность после любых других команд, которые оставили экран частично «загрязнённым».

Вы можете перемещать окно редактирования над различными элементами проекта несколькими способами:

- кликнув левой кнопкой мыши в точке на окне обзора – это переместит центр окна редактирования на указанную точку;
- кликнув средним колесом мыши на окне редактирования, чтобы «подцепить» лист и затем переместить мышь для перемещения листа. Мы будем ссылаться на эту особенность как на *прокрутку по траектории* (*Track-Pan*). Заметьте, что вы можете вращать среднее колесо мыши во время прокрутки по траектории, чтобы увеличивать и уменьшать масштаб схемы;
- перемещая мышь над окном редактирования, зажав кнопку SHIFT, и «ударяя» курсором об одну из его границ. Это прокручивает экран в соответствующем направлении. Мы будем ссылаться на эту особенность как на *Shift-прокрутку* (*Shift-Pan*);
- наведением курсора в окне редактирования и нажатием на одну из клавиш масштаба (смотрите ниже). Это переместит центр экрана на позицию курсора;
- используя иконку **Прокрутки** (**Pan**) на панели инструментов.

Вы можете увеличить или уменьшить изображение чертежа, используя команды **Увеличить** (**Zoom In**) и **Уменьшить** (**Zoom Out**), которые также вызываются горячими клавишами F6 и F7. В качестве альтернативы вы можете вращать среднее колесо мыши, чтобы увеличить или уменьшить пространство, на которое указывает мышь. Нажатие F8 покажет весь чертеж целиком. Вы можете также использовать соответствующие иконки на панели инструментов.

Если для вызова команд используется клавиатура, то окно редактирования будет перерисовано, чтобы показать пространство с центром в месте, на которое указывал перед этим курсор мыши. Это также обеспечивает способ выполнения прокрутки, нажимая клавишы масштаба и одновременно указывая мышью туда, где вы хотите, чтоб находился центр нового изображения.

Произвольная степень увеличения может быть достигнута, используя особенность Shift-масштабирования. Заданное пространство чертежа может быть выбрано зажатием клавиши SHIFT, нажатием левой кнопки мыши и расстягиванием прямоугольника вокруг требуемого пространства. Пространство может быть отмечено как в окне редактирования, так и окне обзора. Вы можете также увеличить участок нажатием иконки **Увеличить участок** (**Zoom Area**) на панели инструментов.

Окно обзора (рис. 2) показывает упрощенный образ всего чертежа с шагом сетки в пол-дюйма. Голубой прямоугольник показывает контур листа, а

зеленый прямоугольник показывает пространство проекта, видимое сейчас в окне редактирования.

Клик левой кнопкой мыши в точке сетки перемещает центр окна редактирования в эту точку и перерисовывает окно редактирования.

Вы также можете использовать в окне обзора особенности shift-масштабирования и прокрутки по траектории, описанных выше.

В других случаях окно редактирования используется для предпросмотра объекта, выбранного для размещения. Эта особенность предпросмотра размещения активируется при следующих обстоятельствах для любых объектов, которые могут быть переориентированы:

- когда объект выделен в переключателе объектов;
- когда активны иконки вращения и отражения;
- когда выбрана иконка типа объекта, для которого может быть установлена ориентация (иконки компонента, вывода прибора и т. д.).

Индикатор предпросмотра размещения очищается автоматически, как только вы устанавливаете объект или когда вы выполняете любые операции, отличные от перечисленных выше.

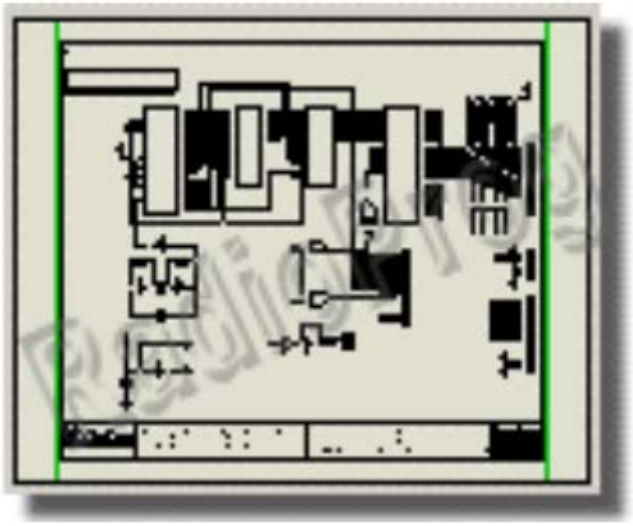


Рисунок 2 – Окно обзора

Переключатель объектов (рис. 3) используется для сортировки доступных компонентов, клемм, генераторов, типов диаграмм и т. д. Он всегда содержит заголовок, показывающий, что именно он перечисляет, и который служит для дополнения быстрой индикации состояния панели иконок, как текущего режима.

Ширина и позиция переключателя объектов могут быть настроены в связке с шириной и высотой окна обзора, как описано выше. Вы можете также скрыть эту панель, чтобы максимизировать пространство окна редактирования, правым кликом на переключателе объектов и выбором команды **Автоматически Скрывать** (**Auto-Hide**) в полученном контекстном меню.

Контекстное меню переключателя объектов предоставляет список опций, зависящих от режима и дающих вам быстрый и простой доступ к функциональным возможностям во время проектирования схемы.

Рисунок 3 – Переключатель объектов

Рассмотрим различные виды курсора при редактировании проекта, поскольку одна из функций Property Assigment Tools (A) характерно при включении меняет вид курсора. На рисунке 4 показаны различные виды курсора в зависимости от выполняемой функции.

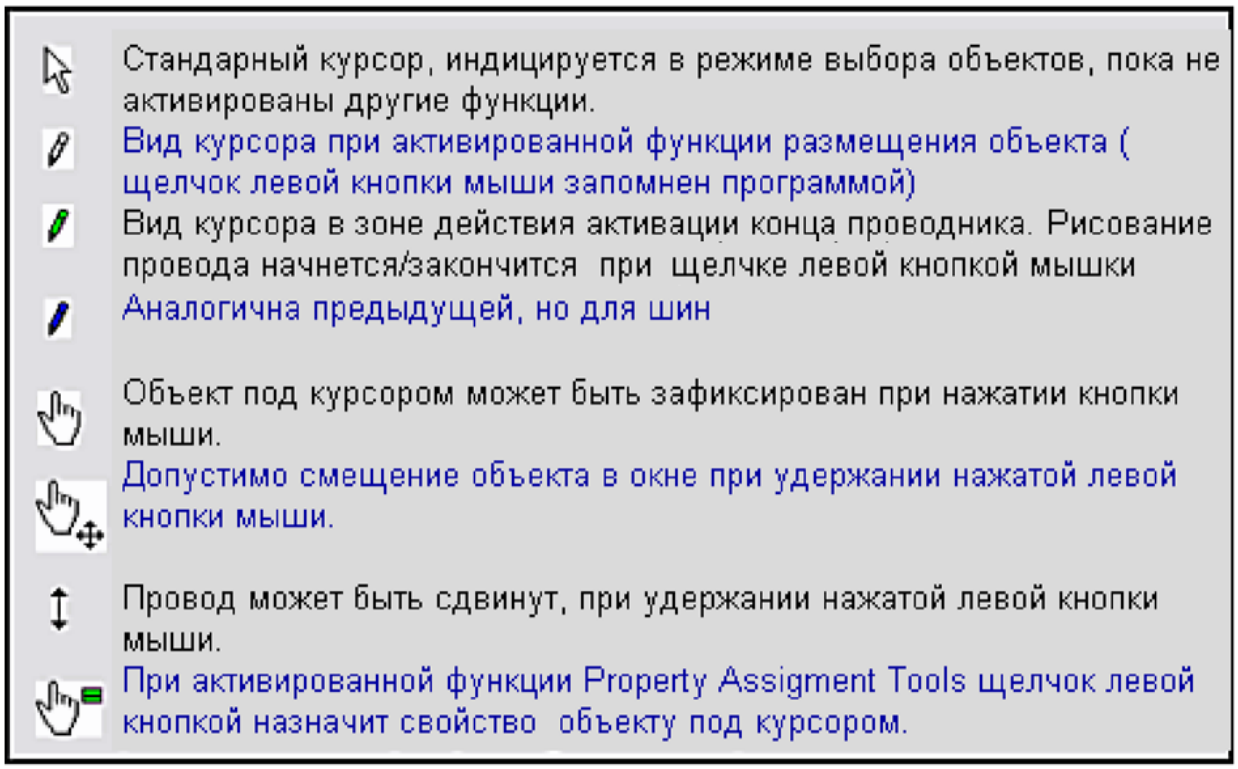


Рисунок 4 – Виды курсора в зависимости от выполняемой функции

По умолчанию текущие координаты указателя мыши показываются в правом нижнем углу экрана. Индикация может быть в имперской и метрической системе, а также может быть установлено ложное начало координат.

Команда **X-курсор** (**X-Cursor**) в дополнение к стрелке мыши покажет маленький или большой крестик в точном расположении текущих координат. Это особенно помогает, когда используется в связке с функцией привязки (Real Time Snap), что даёт вам непосредственную индикацию того, куда по мнению ISIS вы указываете.

Для открытия библиотеки протеуса необходимо нажать щелчком левой клавишей мыши по кнопке P вверху окна селектора объектов (рис. 1), либо используя ленту верхнего меню выбрать Библиотека / Выбрать устройство / символ (рис. 1), либо двойной щелчок левой клавишей мыши в любом месте внутри селектора объектов (рис. 3). В результате нам откроется окно браузера библиотеки компонентов, показанное на рисунке 5.

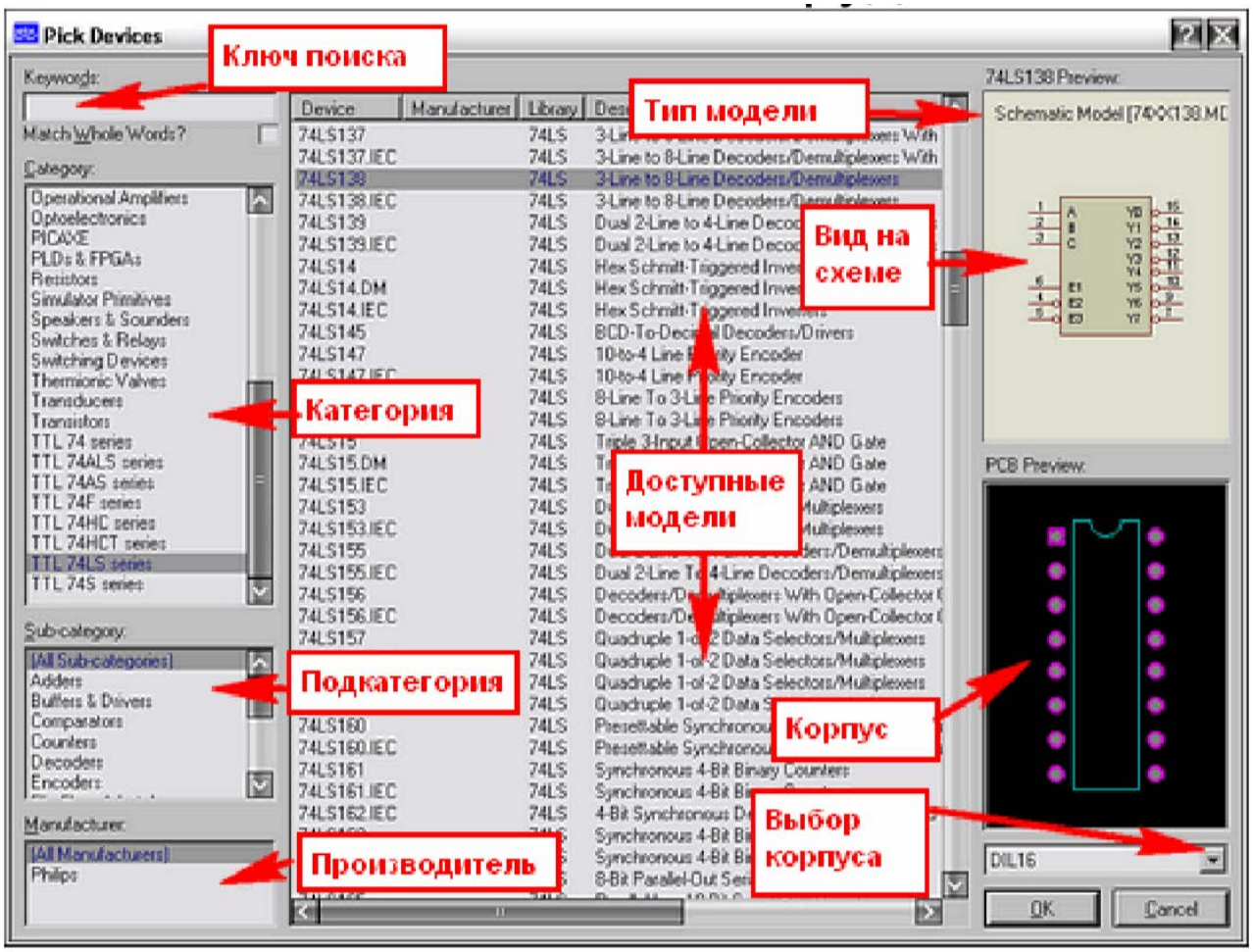


Рисунок 5 – Интерфейс браузера библиотеки компонентов

Для подбора компонента, например биполярного NPN транзистора с подходящими характеристиками, в окне **Категория** (**Category**) выбираем **Transistors**, в окне **Подкатегория (Subcategory)** – **Bipolar**. После этого в

списке доступных моделей отобрать подходящую (для многих в **Описание** (**Description**) указаны краткие характеристики) и двойным щелчком по этой строчке отправить ее в селектор объектов .

ISIS. Некоторые модели имеют несколько исполнений корпусов, которые можно просмотреть через **PCB Preview**.

Описание основных категорий каталога библиотеки компонентов представлены в таблицах 3–19. Компоненты, которые применяются для моделирования электрических схем и не имеют корпусов, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Компоненты для моделирования электрических схем

Двигатели	**Electromechanical** **Mechanic**
Операторы Лапласа	**Laplace Primitives**
Инструменты отладки	**Debugging Tools**
Триггеры прерывания	**Debugging Tools** / Breakpoint Triggers
Логические сигнализаторы	**Debugging Tools** / Logic Probes
Источник лог. сигнала	**Debugging Tools** / Logic Stimuli
Моделируемые элементы	**Modelling Primitives, Simulator Primitives**
Измерительные приборы	**Transducers**
Вакуумные лампы	**Thermionic Valves**

Таблица 4 – Динамики

Динамики	**Speakers & Sounders** / Buzzer **Speakers & Sounders** / Speaker

Таблица 5 – Диоды и кварцевые генераторы

Диоды	**Diodes**
Мостовые выпрямители	**Diodes** / Bridge Rectifiers
Общие	**Diodes** / Generic
Выпрямители	**Diodes** / Rectifiers
Шоттки	**Diodes** / Schottky
Коммутационные	**Diodes** / Switching
Подавители помех	**Diodes** / Transient Suppressors
Туннельные	**Diodes** / Tunnel
Варикап	**Diodes** / Varicap
Стабилитроны	**Diodes** / Zener
Кварцевые генераторы	**Miscellaneous /** Crystal

Таблица 6 – Конденсаторы

Конденсаторы	**Capacitors**
1	2
Анимированный	**Capacitors /** Animated
Аудио аксиальные	**Capacitors /** Audio Grade Axial
Полипропиленовые аксиальные	**Capacitors /** Axial Lead Polypropene

Окончание таблицы 6.

1	2
Полистирольные	**Capacitors /** Axial Lead Polustirene
Керамические дисковые	**Capacitors /** Ceramic Disc
Разделительные дисковые	**Capacitors /** Decoupling Disc
Электролитические алюминиевые	**Capacitors /** Electrolytic Aluminum
Общие	**Capacitors /** Generic
Высокотемпературные радиальные	**Capacitors /** High Temp Radial
Высокотемпературные аксиальные	**Capacitors /** High Temperature Axial Elect.
Металлизированные полиэстерные	**Capacitors /** Metallized Polyester
Металлизированные полипропиленовые	**Capacitors /** Metallized Polypropene
Металлизированные полипропиленовые пленочные	**Capacitors /** Metallized Polypropene Film
Микрорадиочастотные спецефические	**Capacitors /** Micro RF Specific
Миниатюрные электронные	**Capacitors /** Miniature Electronic
Многослойные керамические	**Capacitors /** Multilayer Ceramic
Многослойные металлизированные полиэстерные	**Capacitors /** Multilayer Metallized Polyester
Пленочные майларовые	**Capacitors /** Mylar Film
Разделительные никелеевые	**Capacitors /** Nickel Barrier
Неполяризовыванные	**Capacitors /** Non Polarized
Многопленочные ЧИП	**Capacitors /** Poly Film Chip
Пленочные полиэстерные	**Capacitors /** Polyester Layer
Радиальные электролитические	**Capacitors /** Radial Electrolytic
Танталовые шаровидные	**Capacitors /** Tantalum Bead
Танталовые SMD	**Capacitors /** Tantalum SMD
Тонкопленочные	**Capacitors /** Thin film
Регулируемые	**Capacitors /** Variable
Электролитические типа VX	**Capacitors /** VX Axial Electrolytic

Таблица 7 – Индуктивности

Индуктивности	**Inductors**
Постоянные индуктивности	**Inductors** / Fixed Inductors
Общие	**Inductors** / Generic
Многослойные чип индуктивности	**Inductors** / Multilayer Chip Inductors
SMT индуктивности	**Inductors** / SMT Inductors
Индуктивности для поверхностного монтажа	**Inductors** / Surface Mount Inductors
Индуктивности с жесткими допусками радиочастотные	**Inductors** / Tight Tolerance RF inductor
Трансформаторы (без корпуса)	**Inductors** / Transformers

Таблица 8 – Микросхемы аналоговые

Микросхемы аналоговые	**Analog ICs**
Усилители	**Analog ICs** / Amplifiers
Компараторы	**Analog ICs** / Comparators
Драйверы дисплея	**Analog ICs** / Display Drivers
Фильтры	**Analog ICs** / Filters
Регуляторы	**Analog ICs** / Regulators
Таймеры	**Analog ICs** / Timers
Источники опорного напряжения	**Analog ICs** / Voltage References

Таблица 9 – Микросхемы цифровые

Микросхемы цифровые	
Интегральные КМОП	**CMOS 4000 series**
Интегральные ЭСЛ	**ECL 10000 series**
Интегральные ТТЛ	**TTL 74 series**
Сумматоры	Adders
Буферы и драйверы	Buffers & Drivers
Компараторы	Comparators
Счетчики	Counters
Декодеры	Decoders
Енкодеры	Encoders
Тригеры	Flip-Flops & Latches
Делители частоты и таймеры	Frequency Divides & Timers
Инверторы	Gates & Inverters
Память	Memory
Смешанная логика	Misc. Logic
Мультиплексоры	Multiplexers
Мультивибраторы	Multivibrators
Устройства автоподстройки фазы	Phase-Locked-Loops (PLLs)
Реестры	Registers
Переключатели	Signal Switches

Таблица 10 – Микросхемы памяти

Микросхемы памяти	**Memory ICs**
Динамическая	**Memory ICs** / Dynamic RAM
Перепрограммируемое ПЗУ	**Memory ICs** / EEPROM
ПЗУ	**Memory ICs** / EPROM
Память с шиной I2C	**Memory ICs** / I2C Memories
Карты памяти (без корпуса)	**Memory ICs** / Memory Cards
Память с шиной SPI	**Memory ICs** / SPI Memories
Статическая	**Memory ICs** / Static RAM
Память с интерфейсом UNI/0	**Memory ICs** / UNI/0 Memories

Таблица 11 – Микропроцессоры

Микропроцессоры	**Microprocessor ICs**
Семейства PLD и FPGAs	**PLD&FPGAs**
Семейство PICAXE	**PICAXE**
Семейство 68000	**Microprocessor ICs** / 68000 Family
Семейство 8051	**Microprocessor ICs** / 8051 Family
Семейство ARM	**Microprocessor ICs** / ARM Family
Семейство AVR	**Microprocessor ICs** / AVR Family
Семейство BS	**Microprocessor ICs** / BASIC Stamp Modules
Семейство DSPIC33	**Microprocessor ICs** / DSPIC33 Family
Семейство HC11	**Microprocessor ICs** / HC11 Family
Семейство i86	**Microprocessor ICs** / i86 Family
Семейство MSP430	**Microprocessor ICs** / MSP430 Family
Периферия	**Microprocessor ICs** / Peripherals
Семейство PIC10	**Microprocessor ICs** / PIC10 Family
Семейство PIC12	**Microprocessor ICs** / PIC12 Family
Семейство PIC16	**Microprocessor ICs** / PIC16 Family
Семейство PIC18	**Microprocessor ICs** / PIC18 Family
Семейство PIC24	**Microprocessor ICs** / PIC24 Family
Семейство Z80	**Microprocessor ICs** / Z80 Family

Таблица 12 – Операционные усилители

Операционные усилители	**Operational Amplifiers**
Двухканальные	**Operational Amplifiers** / Dual
Идеальные (без корпуса)	**Operational Amplifiers** / Ideal
Макромодели (без корпуса)	**Operational Amplifiers** / Macromodel
Восьмиканальные (без корпуса)	**Operational Amplifiers** / Octal
Четырехканальные	**Operational Amplifiers** / Quad
Одноканальные	**Operational Amplifiers** / Single
Трехканальные	**Operational Amplifiers** / Triple

Таблица 13 – Оптоэлектронные элементы

Оптоэлектронные элементы	**Optoelectronics**
14-сегментные дисплеи (без корпуса)	**Optoelectronics** / 14-Segment Displays
16-сегментные дисплеи (без корпуса)	**Optoelectronics** / 16-Segment Displays
7-сегментные дисплеи (без корпуса)	**Optoelectronics** / 7-Segment Displays
Цифробуквенные дисплеи	**Optoelectronics** / Alphanumeric LCDs
Столбчатые дисплеи	**Optoelectronics** / Bargraph Displays
Точечный дисплей (без корпуса)	**Optoelectronics** / Dot Matrix Displays
Графические дисплеи	**Optoelectronics** / Graphical LCDs
Лампы (без корпуса)	**Optoelectronics** / Lamps
Контроллеры дисплея (без корпуса)	**Optoelectronics** / LCD Controllers
Панели (без корпуса)	**Optoelectronics** / LCD Panels Displays
Светодиоды (без корпуса)	**Optoelectronics** / LEDs
Оптопара	**Optoelectronics** / Optocouplers
Последовательный светодиодный дисплей (без корпуса)	**Optoelectronics** / Serial LCDs

Таблица 14 – Преобразователи сигналов

Преобразователи сигналов	**Data Converters**
АЦП	**Data Converters** / A/D Converters
ЦАП	**Data Converters** / D/A Converters
Световой сенсор	**Data Converters** / Light Sensors
Устройства выборки и хранения	**Data Converters** / Sample & Hold
Температурный сенсор	**Data Converters** / Temperature Sensors

Таблица 15 – Разъемы

Разъемы	**Connectors**
Звуковые	**Connectors** / Audio
Разъемы штырьковые типа D-Type	**Connectors** / D-Type
Разъемы для микросхем DIP	**Connectors** / DIL
Разъемы для гибких плоских шлейфов	**Connectors** / FFC/FPC Connectors
Разъемы под винт	**Connectors** / Header Blocks
Штырьковые разъемы	**Connectors** / Headers / Receptacles
Разъемы для шлейфов IDC	**Connectors** / IDC Headers
Прочие	**Connectors** / Miscellaneouse
Разъемы печатной платы	**Connectors** / PCB Transfer
Шлейфовые разъемы	**Connectors** / Ribbon Cabel
Шлейфовые разъемы Wire Trap	**Connectors** / Ribbon Cabel / Wire Trap Connectors
Штырьковый разъем типа SIL	**Connectors** / SIL
Клеммные колодки	**Connectors** / Terminal Blocks

Таблица 16 – Резисторы

Резисторы	**Resistors**
Металлические пленочные	**Resistors** / Metal Film
Проводные	**Resistors** / Wirewound
ЧИП резисторы	**Resistors** / Chip Resistor
ЧИП резисторы устойчивые к скачкам напряжения	**Resistors** / Chip Resistor anti-surge
Общие	**Resistors** / Generic
Высоковольтные	**Resistors** / High Voltage
Термисторы	**Resistors** / NTC
Сетевые	**Resistors** / Resistor Network
Наборы резисторов	**Resistors** / Resistor Packs
Регулируемые	**Resistors** / Variable
Варисторы	**Resistors** / Varistors

Таблица 17 – Реле, контакторы

Реле, контакторы	**Switches & Relays**
Клавиатуры (без корпуса)	**Switches & Relays** / Keypads
Реле (общие, без корпуса)	**Switches & Relays** / Relays (Generic)
Реле (специальные)	**Switches & Relays** / Relays (Specific)
Перемычки	**Switches & Relays** / Switches

Таблица 18 – Симмисторы

Симмисторы	**Switching Devices**
Динисторы	**Switching Devices /** DIACs
Общие (без корпуса)	**Switching Devices /** Generic
Однооперационные тиристоры	**Switching Devices /** SCRs
Симмисторы	**Switching Devices /** TRIACs

Таблица 19 – Транзисторы

Транзисторы	**Transistors**
Биполярые	**Transistors** / Bipolar
Общие	**Transistors** / Generic
Биполярые транзисторы с изолированным затвором	**Transistors** / IGBT
Полевые транзисторы с управляющим PN-переходом	**Transistors** / JFET
Полевые транзисторы с изолированным затвором	**Transistors** / MOSFET
СВЧ-транзисторы силовые типа LDMOS	**Transistors** / RF Rower LDMOS
СВЧ-транзисторы силовые типа VDMOS	**Transistors** / RF Rower VDMOS
Ключевые транзисторы	**Transistors** / Unijunction

1.3 Порядок выполнения работы

1.3.1 Задание:

– построить принципиальную схему, выбранного вами радиоэлектронного устройства при помощи приложения ISIS Professional;

– произвести выбор элементной базы с помощью библиотек приложения;

– осуществить наладку и тестирование построенной схемы.

1.3.2 Ход работы

1) Сначала нужно запустить приложение для моделирования электронных схем – ISIS Professional. При этом открывается окно, приведенное на рисунке 6.

2) Далее нажав кнопку , на левой вертикальной панели инструментов, переходим в режим добавления компонентов (devices). Изначально список компонентов пуст. В него необходимо добавить компоненты из библиотеки, для этого нажимаем кнопку над списком компонентов. В результате откроется окно библиотеки Pick Devices.

3) Вводя название компонента в поле Keywords: находим необходимый компонент. Пример нахождения элемента приведен на рисунке 6. В правой части окна приведены изображения предварительного просмотра выбранного компонента в схеме (окно Sch Preview) и на печатной плате (окно PCB Preview). Далее нажимаем «ОК» и компонент добавляется в список компонентов.

Важно иметь в виду, что для полноценного проектирования, необходимо проследить за наличием изображения корпуса элемента и изображения элемента на печатной плате (рис. 7).

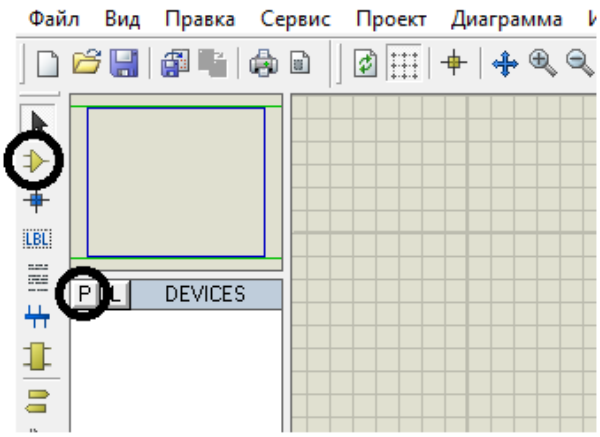


Рисунок 6 – Основное рабочее пространство ISIS

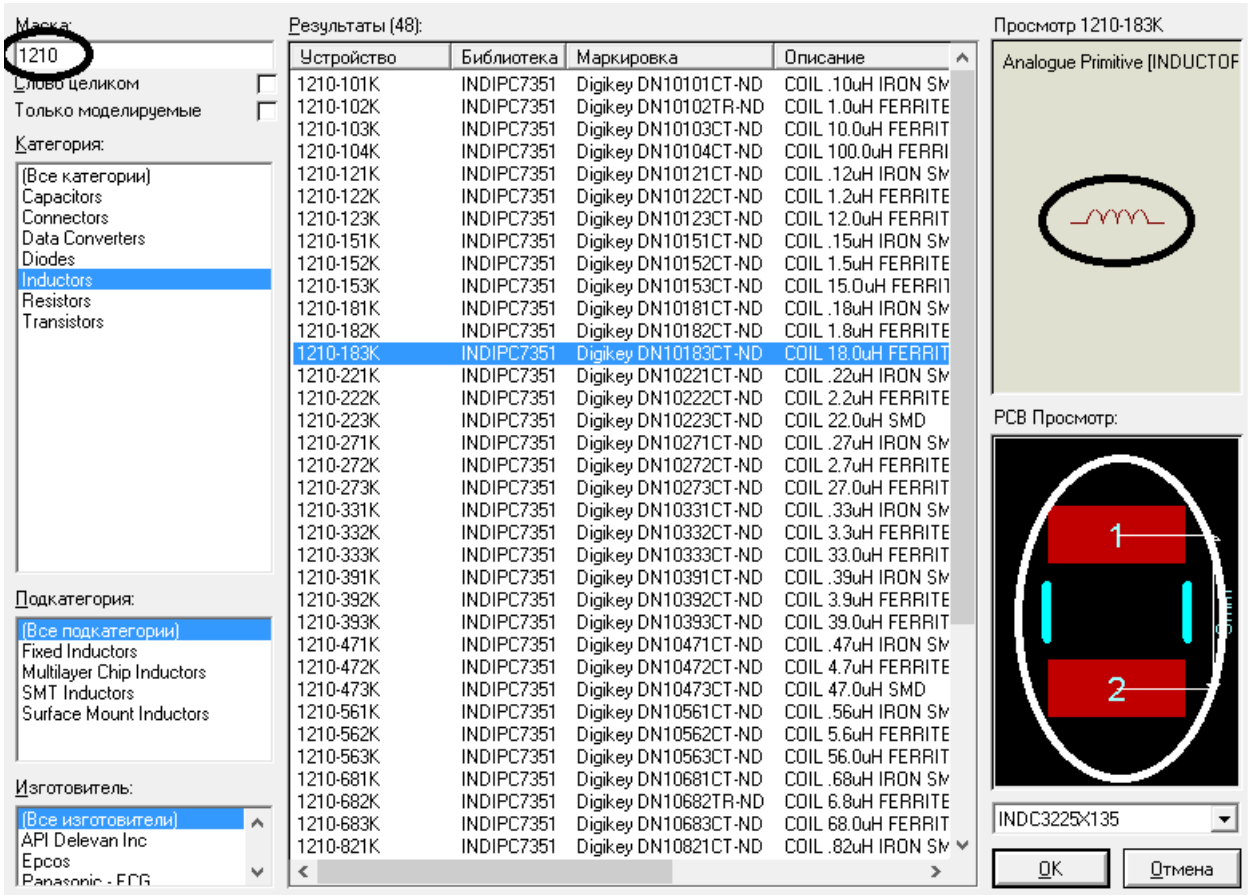


Рисунок 7 – Нахождение элемента в библиотеке

В правой части окна приведены изображения компонента.

4) Повторяя шаги 2 и 3, добавляем все необходимые компоненты. В результате формируется список используемых элементов, изображенный на рисунке 8.

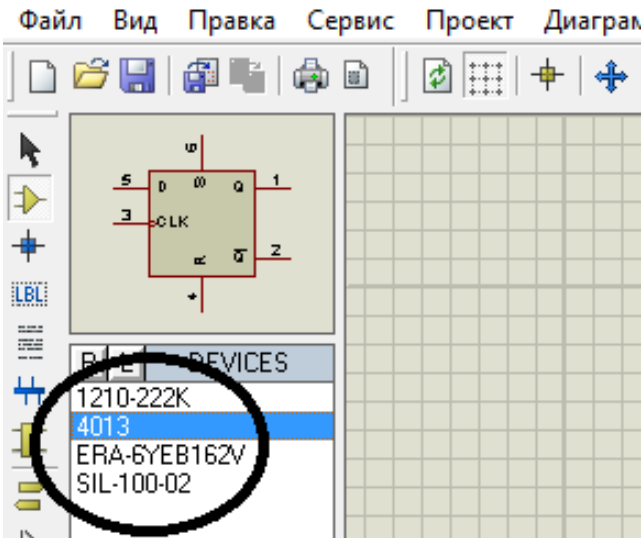


Рисунок 8 – Режим добавления элементов после работы с Pick Devices

5) Далее добавляем нужное количество компонентов в рабочую область и соединяем их в нужной последовательности. Для добавления питания и земли нажать кнопку , перейти в режим terminals (рис. 9).

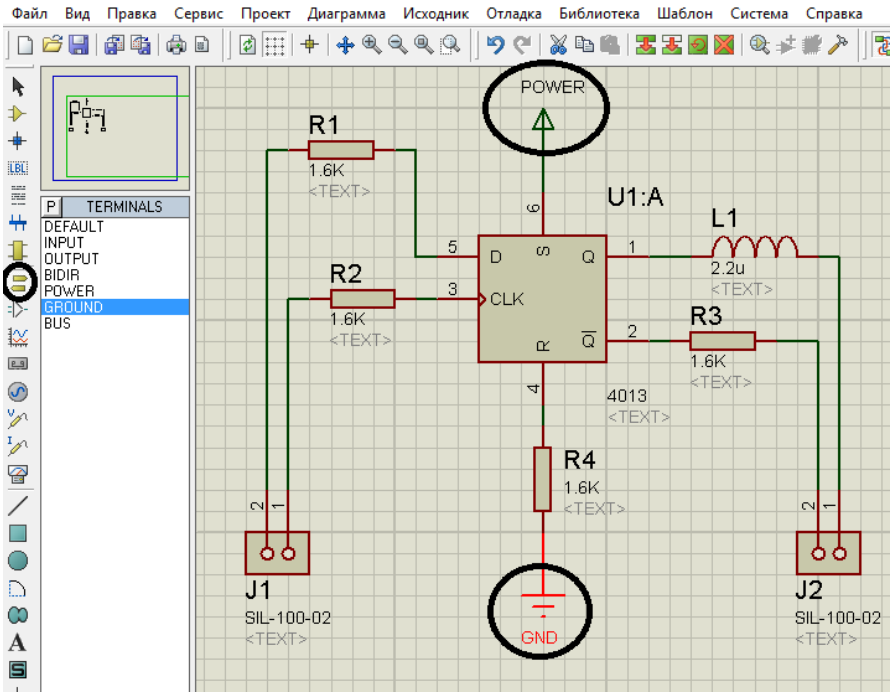


Рисунок 9 – Пример сборки схемы элементов «Земля» и «Питание»

1.4 Контрольные вопросы

1. Дайте определение термина проектирование.
2. Дайте определение термина проектная процедура.
3. Состав САПР.

4. Поясните содержание основных этапов проектирования – системотехнического, схемотехнического и конструкторского.

5. Поясните содержание основных уровней этапов системотехнического схемотехнического проектирования.

6. Поясните задачи логического проектирования.

7. Какие вы знаете виды неисправностей?

8. Дайте классификацию тестов.

9. Перечислите основные методы синтеза тестов.

10. Перечислите задачи схемотехнического проектирования.

Лабораторная работа 2.
Разводка печатной платы в приложении ARES PROFESSIONAL

2.1 Цель работы

Ознакомиться с основными возможностями приложения ARES Professional.

2.2 Теоретическая часть

После отладки схемы в приложении ISIS можно приступить к проектированию самой печатной платы (ПП) в другом приложении ARES, пакета программ Proteus. Электрическая схема ПП будет соответствовать собранной в предыдущих работах схеме, однако, надо быть готовым к тому, что рисунок печатной платы, как правило, визуально не имеет сходства с исходной схемой в силу существующих правил трассировки соединений на ПП. Также изображения элементов на схеме приобретают вид, приближенный к натуральным, отличным от условно графических обозначений (УГО).

Во второй работе предстоит произвести три основных операции: импортирование схемы, компоновку элементов, трассировку соединений.

Импортирование – процесс переноса всех элементов схемы с их свойствами, и электрических связей между элементами собранной, протестированной и отлаженной схемы. Компоновка элементов печатной платы подразумевается расположение компонентов печатной платы на поверхности самой печатной. При компоновке отрабатываются следующие вопросы:

− максимально близкое расположение групп компонентов друг от друга;

− печатная плата должна быть разработана с наименьшим количеством переходных отверстий и с минимально возможной длиной дорожек.

Трассировка соединений печатных плат – это пошаговый процесс создания печатных дорожек в одном из многочисленных САПР печатных плат. Существует два основных способа трассировки: ручной – человек самостоятельно с помощью определенных программных инструментов наносит проводники на плату, и автоматический – программа наносит проводники на печатную плату, используя ограничения, наложенные разработчиком. На

данный момент все современные системы проектирования имеют сложные и эффективные системы автоматической трассировки, а вместо ручной трассировки печатной платы предлагают разработчикам новый инструмент – интерактивная трассировка. В данном случае разработчик сам наносит проводники на плату, но программа, используя заданные ранее ограничения, позволяет или не позволяет трассировку определенных зон и связей, а также соблюдаются заданные минимальные зазоры. Интерактивная трассировка печатных плат может использоваться как для полностью ручной трассировки, так и для доработок печатной платы после автоматической трассировки.

ARES обеспечивает доступ к многим его командам и режимам через использование панелей инструментов. Панели инструментов могут быть перетянуты на любую из четырех границ окна приложения ARES (рис. 10).

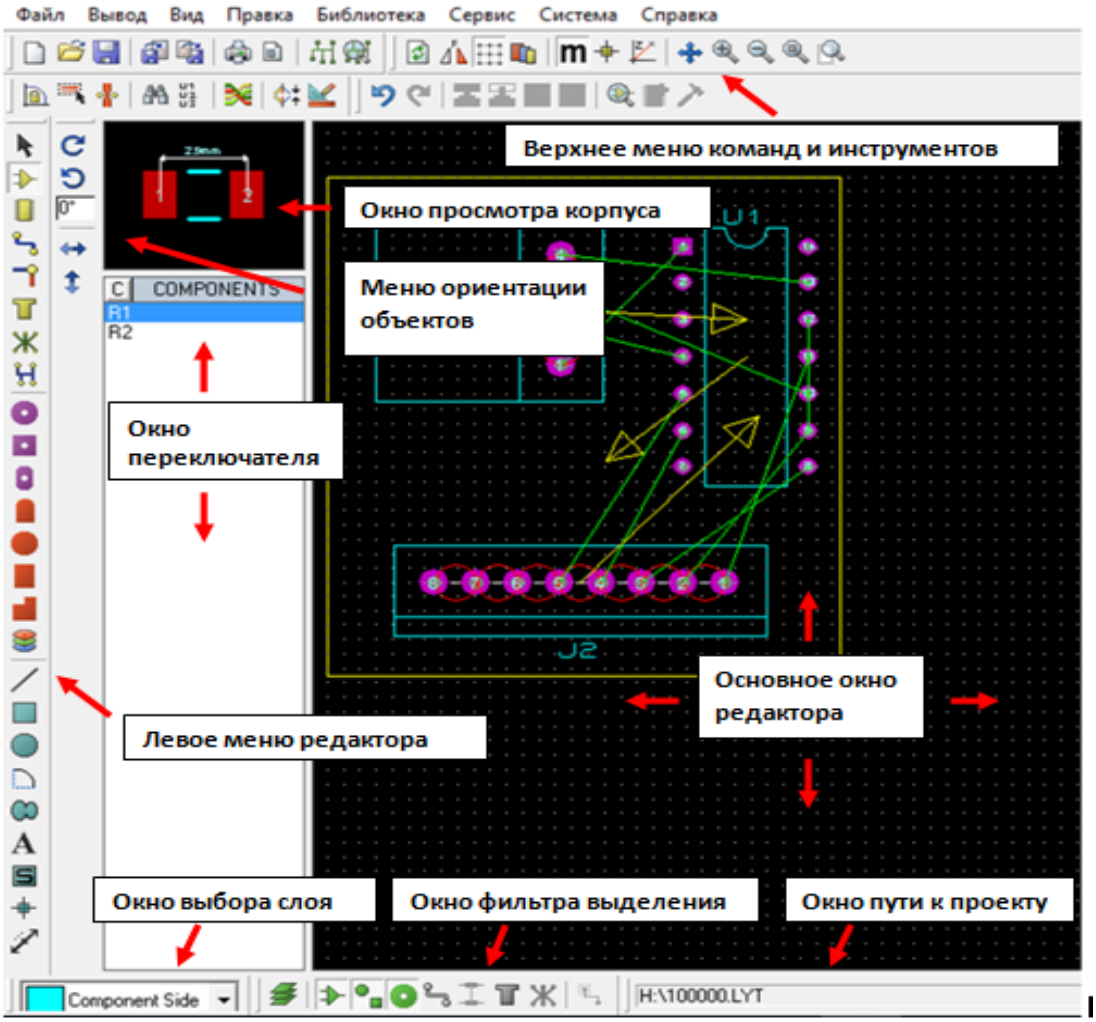


Рисунок 10 – Интерфейс программы ARES

Инструменты, расположенные вдоль верхней границы экрана (по умолчанию), обеспечивают альтернативный доступ к следующим командам меню и представлены в таблице 20. Команды панели редактора представлены в таблице 21.

Панель положения показывает и управляет поворотом и отражением объектов, помещенных на схему.

Таблица 20 – Панель команд меню

Пиктограмма	Назначение
1	2
Команды Файл/Печать	
	Новый файл
	Открыть проект
	Сохранить проект
	Импорт файла
	Экспорт файла
	Печать проекта
	Выбрать область вывода
Команды изготовления	
	Генерировать Gerber/Excellon файлы
	Просмотр Gerber файла
Команды отображения	
	Обновить экран
	Отразить плату
	Переключить сетку
	Редактировать цвета, видимость слоев
	Переключит метрическую / английскую системы измерений
	Переключить начало координат
	Переключить полярные координаты
	Центровать по курсору
	Увеличить
	Уменьшить
	Вписать во весь лист
	Вписать в область

Окончание таблицы 20.

1	2
Команды редактирования	
	Отменить изменения
	Вернуть изменения
	Копировать блок
	Переместить блок
	Повернуть блок
	Удалить блок
	Выбрать элемент из библиотеки
	Создать устройство
	Создать корпус
	Разложить отмеченные элементы
Инструменты проектирования	
	Переключить группировку угла дорожки
	Переключить автовыбор стиля дорожки
	Переключить автосужение дорожки
	Поиск и выбор компонента
	Автоматический генератор обозначений
	Автотрассировщик
	Проверка связей
	Менеджер связей проекта

Таблица 21 – Панель редактора

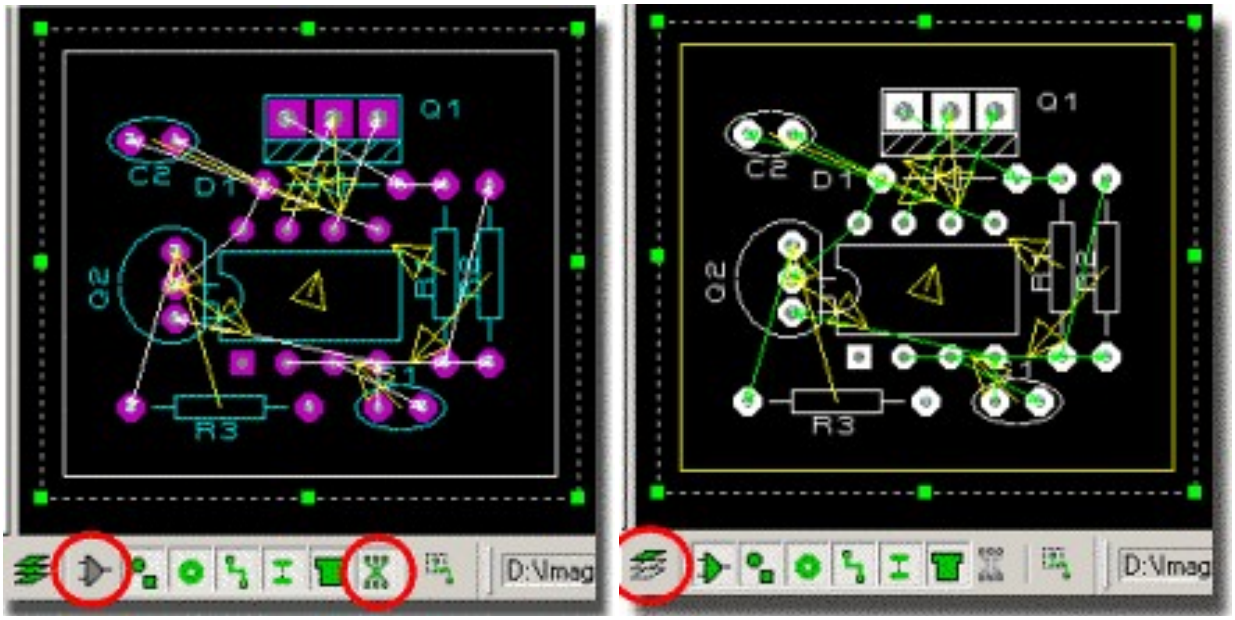
Пиктограмма	Назначение
1	2
Основные режимы	
	Режим выбора
	Список компонентов
	Список корпусов компонентов
	Дорожки

Окончание таблицы 21.

1	2
	Переходное отверстие
	Зона
	Соединитель
	Подсветка связей
	Круглая контактная площадка со сквозным отверстием
	Квадратная контактная площадка со сквозным отверстием
	Контактная площадка DIL
	Контактная площадка на краю платы
	Контактная площадка SMT
	Квадратная контактная площадка SMT
	Многоугольная контактная площадка SMT
	Режим группы контактных площадок
	Линия
	Прямоугольник
	Круг
	Дуга
	Полилиния
	Текст
	Символ
	Маркер
	Измерение

Когда печатная плата выделена целиком, вы можете уточнить выделенный сейчас набор объектов, используя фильтр выделения (рис. 11). Как и предполагает название, он контролирует, какие объекты выбираются в данном режиме. Например, мы можем снять выделение со всех посадочных мест и выделить все линии связи, выключая иконку выделение элементов и иконку выделение линий связи.

Самый левый значок фильтра выделения контролирует, какие слои допускаются для выделения. Его переключение делает выбор между всеми слоями (значение по умолчанию) и только текущим слоем. Вы можете увидеть это, переключившись в режим Корпус, затем выделив всю плату, как было описано выше. Заметьте, что, если вы переключаете значок выбора слоя, то выделяются элементы только на стороне монтажа, именно в этом случае снимается выделение с контура печатной платы.



а) б)

Рисунок 11 – Применение фильтра выделения:
а) линии связи включены, элементы выключены;
б) выделен только текущий слой

Комбинирование точного управления, какие элементы и какие слои могут быть выделены, чрезвычайно мощное. Фильтр выделения имеет заданные значения по умолчанию, согласно режиму, в котором вы находитесь, (режим проводника, режим корпуса, режим контактной площадки и т. д), но вы можете легко и быстро настроить его к требованиям текущей операции.

Вы можете даже настроить значения по умолчанию какого-либо режима через «Настроить фильтр выделения» (Set Selection Filter) в меню «Система» (System), если вы предпочитаете специфический набор выделения, который не предусмотрен. Мы не рекомендуем делать этого, пока вы не привыкли и не познакомились с тем, как работать в системе.

Выбор иконки «Компонент» (Component) покажет все элементы в переключателе объектов как показано на рисунке 12.

Чтобы выбрать ориентацию элементов необходимо нажать правой клавишей мыши и выбрать в контекстном меню пункт «Вращение» (Rotation) (рис. 13). Это может быть сделано перед размещением (используя значки «Вращение» (Rotation)), в течение монтажа (используя клавиши «+» и «-» на

цифровой клавиатуре), или выделяя объект после монтажа и выбирая соответствующие значки вращения в появившемся контекстном меню.

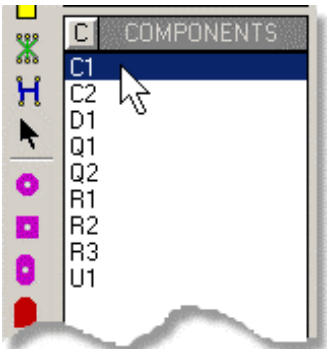


Рисунок 12 – Переключатель объектов

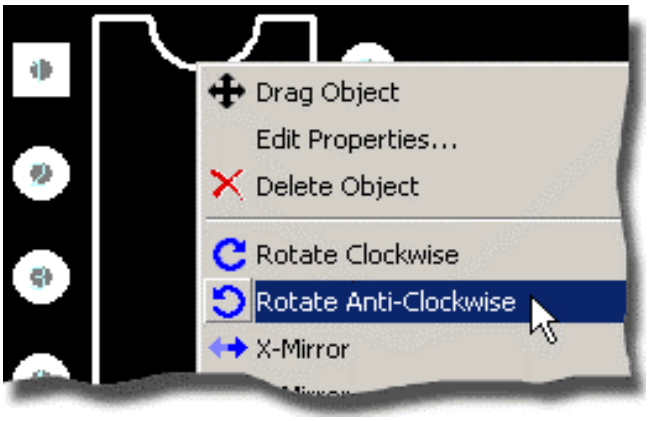


Рисунок 13 – Вращение операционного усилителя после монтажа.

С размещенными элементами можно проводить следующие операции:

- перемещать, выделив их и перетаскивая мышью за корпус или контактную площадку, но не за метку. Перемещая, вы можете использовать клавиши вращения (по умолчанию «+» и «-»), чтобы вращать их;
- перемещать его метку, выделив объект целиком, а затем перетаскивая только метку;
- перемещать любую из его контактных площадок, выделив элемент, выбрав «Мгновенное редактирование» (Instant Edit), а затем перемещая контактную площадку левой кнопкой мыши;
- вращать или отразить элемент, выделив и затем выбрав соответствующий пункт контекстного меню (как на иллюстрации);
- редактировать метки элемента, выделив его, а затем кликнув левой кнопкой непосредственно по метке;
- изменять любую из контактных площадок элемента, размещая на них новые в режиме «Контактной площадки» (Pad).

При размещении элементов, вы увидите, как появляются зеленые «линии связей» или «соединения». Чем длиннее линии связи, тем менее оптимально

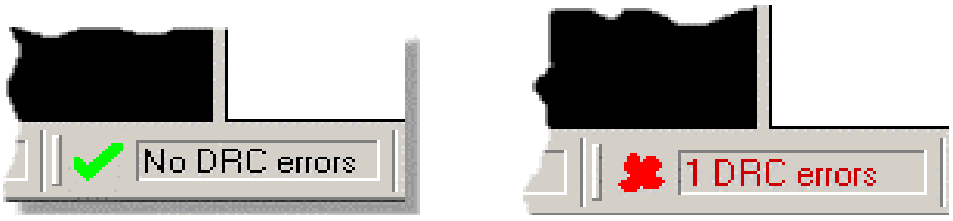
место для размещения элемента, и это действительно так – оптимизация размещения элементов эквивалентна уменьшению длины соединения.

ARES пересчитывает связи не только, когда элементы установлены, но также и в то время как их перемещают. Это подразумевает, что линии связи могут двигаться между различными возможными точками соединения, так же как и контактные площадки элемента.

Связи также динамически изменяются в течение формирования разводки – индикация показывает самое близкое соединение, которое может быть выполнено, в точке, где вы начинаете размещать проводник.

Кроме того, ARES показывает «векторы силы» для каждого помещенного элемента. Они появляются как желтые стрелки, которые указывают на оптимальное место для размещения элемента. Чем короче векторы силы, тем лучше в итоге монтаж. Вектор силы для перемещаемого элемента также обновляется в реальном времени, хотя его влияние на вектора силы других элементов не показывается, пока элемент не будет установлен. Как только все проводники от элемента будут разведены, его вектор силы автоматически исчезнет.

ARES интерактивно контролирует монтаж дорожек и сообщит вам о любом монтаже, который нарушает проектные нормы для печатной платы (рис. 14).



а) б)

Рисунок 14 – Интерактивный контроль проектных норм (DRC):
а) ошибки отсутствуют; б) ошибки присутствуют

Интерактивная проверка проектных норм (DRC) – чрезвычайно мощная помощь при формировании разводки, и вместе с настраиваемыми техническими нормами проекта она действует и как превосходное средство обеспечения качества разработки и сокращения времени на трассировку.

Проектные нормы могут быть установлены независимо для основных стратегий через команду «Установить стратегии» (Set Strategies) в меню «Система» (System).

ARES управляет проблемой трассировки различных сетей с различными размерами проводников и сквозных отверстий очень сложным и удобным способом. Каждая сеть в проекте назначена (явно или неявно) именной стратегией, которая определяет, как должна проводиться разводка. Например, это означает, что сети под названием 12VRAIL может быть назначена стратегия «Питание» (Power) на схеме, но детали разводки «Питания» (Power) могут быть неопределенны, пока печатная плата не начнёт принимать определенную

форму. В то же самое время, избегают потребности указывать отдельно все свойства для каждой сети в проекте.

Для этого, вызовите команду «Установить стратегии» (Set Strategies) в меню «Систем»а (System), выберите стратегию «Силовая» (Power). Окно редактирования (рис. 15) стратегии позволяет вам определить, как сети, назначенные на эту стратегию, должны быть разведены.

Вы увидите, что есть поля для стилей проводников и сквозных отверстий, алгоритм использования (то есть питание (POWER), шина (BUS) или сигнал (SIGNAL)), контроль, позволяющий диагонали и должны ли углы быть оптимизированы (то есть, срезаны под 45°) – каждая опция в диалоговом окне имеет контекстно-зависимую справку, связывающую её со справочной системой. В стратегии допускается до 4 пар, и каждая пара может использовать различные слои. Если H и V слои для трассировки одинаковые, тогда будет выполнена односторонняя разводка платы.

Вы можете также установить индивидуальные проектные нормы для каждой стратегии. Это может быть полезно, когда некоторые проводники должны нести высокие напряжения и должны быть расположены на большем расстоянии, чем те, которые несут сигналы с низким напряжением.

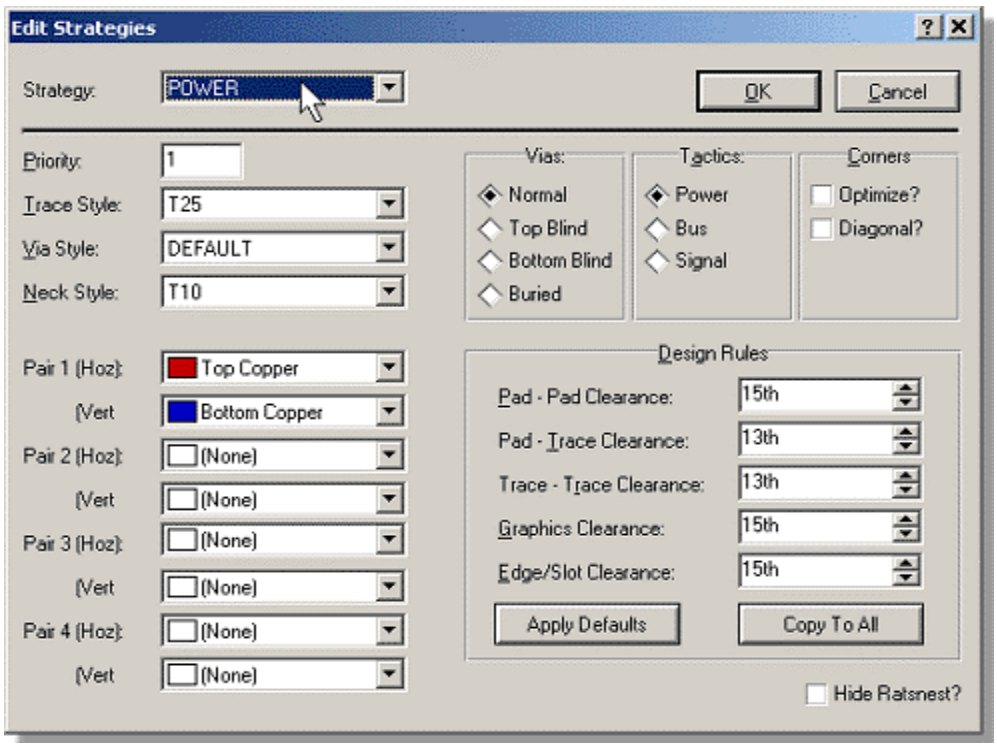


Рисунок 15 – Диалоговое окно установки стратегий

Для более сложных проектов вы можете создать и конфигурировать ваши собственные стратегии. Вы создаете стратегию маркировкой сети в ISIS (см. справочник ISIS) – тогда она появится в диалоговом окне «Установки стратегий» (Set Strategies) в ARES, где она может быть настроена, как описано

выше. Это даёт очень мощный способ управлять сетями, которые требуют специального рассмотрения на печатной плате.

Для ииспользования автотрассировки необходимо вызвать команду «Автотрассировщик» (Auto-Router) в меню «Инструменты» (Tools). Примените для этой печатной платы настройки по умолчанию, нажав на OK. Строка состояния внизу экрана показывает, что происходит, и какие действия выполняются.

Общие рекомендации по проектированию печатной платы. Размещение печатных проводников и компонентов:

- все бескорпусные и компоненты с планарными выводами (SMD) следует размещать на одной стороне платы. В случае если это условие выполнить невозможно, следует разделить компоненты на «легкие» и «тяжелые» и размещать их на разных сторонах платы. Например, пассивные компоненты, разместить на одной стороне, микросхемы на другой;
- размеры площадок должны соответствовать рекомендуемым для данного типоразмера корпуса (информацию о размерах площадок можно уточнить в тех. документации на компонент либо в стандартах IPC-7351, IPC-782);
- зазоры между компонентами должны быть не менее указанных на рисунке 16;
- компоненты должны располагаться не ближе 1,25 мм (0,05”) от края заготовки и не ближе запрещённых зон, указанных в п.1.3;
- в слое металлизации при трассировке проводников нужно избегать острых углов;
- шина заземления должна быть везде, где это возможно;
- обратить внимание на необходимость запрещённой зоны вокруг крепёжных отверстий;
- диаметры отверстий для компонентов с выводами должны превышать диаметры выводов не более чем на 0,25мм (0.01”);
- диаметры отверстий на чертеже указываются с учётом толщины металлизации;
- расстояние от края, не металлизированного отверстия, до контактной площадки или проводника должно быть не менее 0,5 мм (0.02”);
- полярные компоненты желательно ориентировать одинаково;
- желательно, чтобы максимальное число компонентов имели одинаковый типоразмер корпуса. Например: резисторы и конденсаторы – 0805.

Для компонентов с шагом выводов 0,5 мм и менее необходимо оставлять место (по диагонали компонента либо по центру) для размещения локальных реперных знаков.

Проводники, расположенные под компонентами SMD, переходные отверстия, находящиеся под корпусами BGA, должны быть закрыты защитной маской.

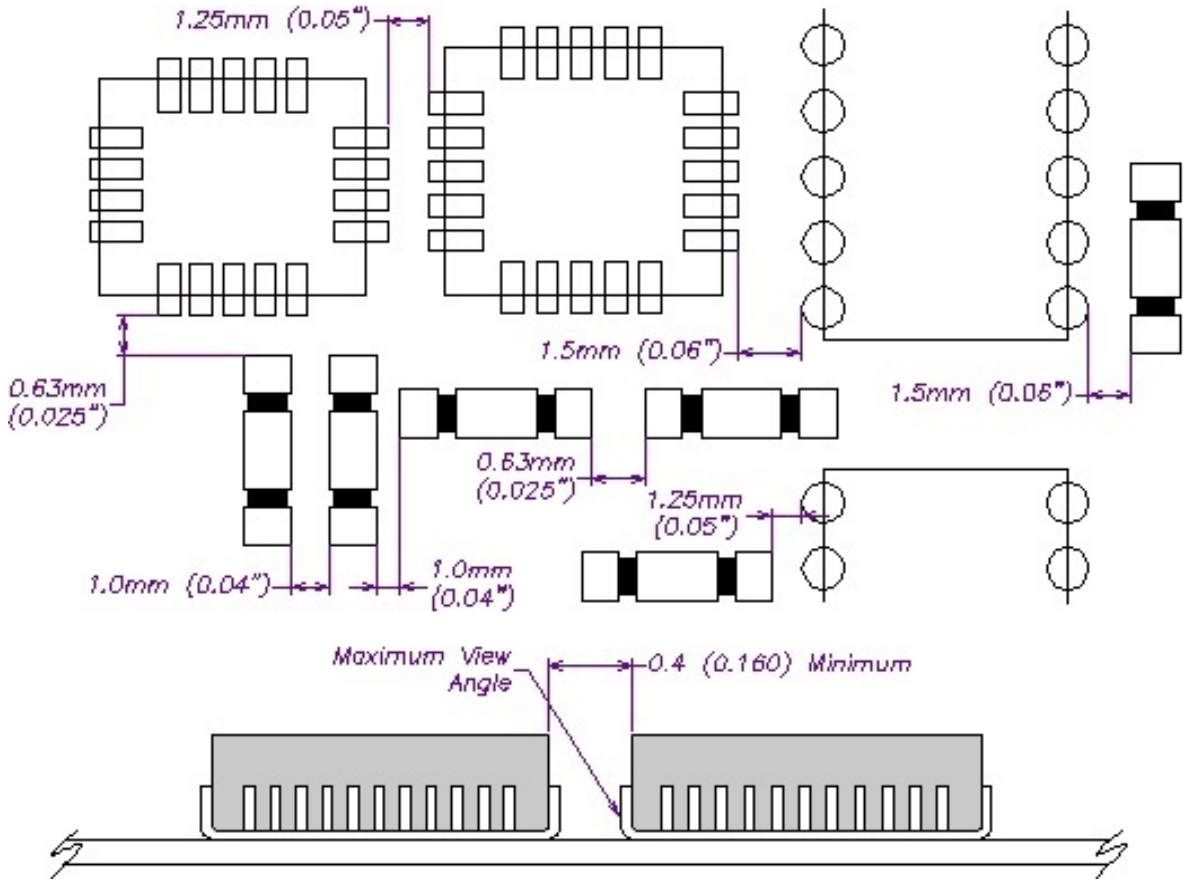


Рисунок 16 – Минимальные зазоры между компонентами

Для предотвращения деформации платы в процессе производства платы и монтажа при нагреве в печи, полигоны на внешних и внутренних слоях (для многослойных плат) необходимо размещать равномерно по поверхности платы и выполнять их в виде сетки из проводников.

Минимальное расстояние между компонентами SMD – 0,63 мм. Все полярные компоненты должны быть по возможности ориентированы в одном направлении. К размещению компонентов при пайке волной припоя предъявляют следующие требования:

• Все ЧИП-компоненты и корпуса типа SO располагают параллельно друг другу.

• Все ПМК в корпусах типа SO, SOIC размещают перпендикулярно длинной оси ЧИП-компонентов.

• Длинная ось SOIC должна быть параллельна направлению движения ПП при пайке волной припоя.

Такое размещение уменьшает вероятность образования мостиков припоя при пайке волной припоя между соседними выводами корпуса. На рисунке 17 показана рекомендуемая и не рекомендуемая ориентация ПМК при размещении.

Для уменьшения оттока тепла при пайке от контактных площадок (для исключения появления «холодных» паек) необходимо использовать узкие проводники, соединяющие непосредственно контактную площадку и широкий

проводник, как показано на рисунке 17. Ширина подводящего «узкого» проводника выбирается в зависимости от класса точности платы и от проходящего по нему тока.

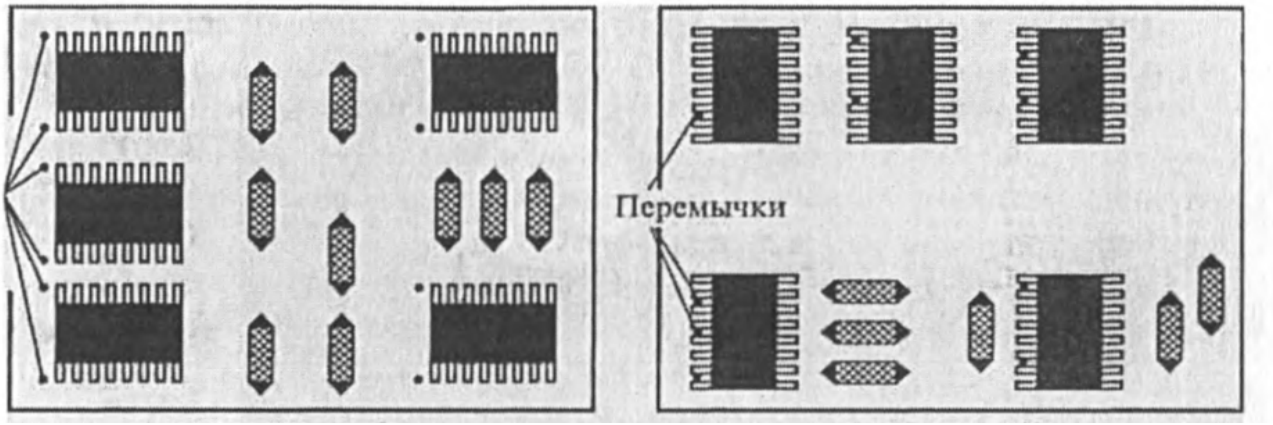


Рисунок 17 – Рекомендуемое размещение ЧИП-компонентов
и корпусов типа SO, SOIC на плате

Рисунок 18 – Подвод широких проводников к контактным площадкам

Все перемычки между ножками SMD микросхем должны находиться вне места пайки (рис. 19).

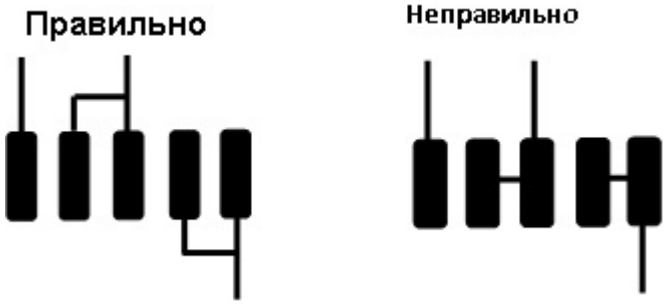


Рисунок 19 – Проектирование перемычек между ножками SMD микросхем

Площадки SMD компонентов, находящиеся на больших полигонах, должны быть отделены от полигона перемычками (рис. 20). Вокруг контактной

площадки нанести маску, которая препятствует перемещению расплавленного припоя вдоль проводника.

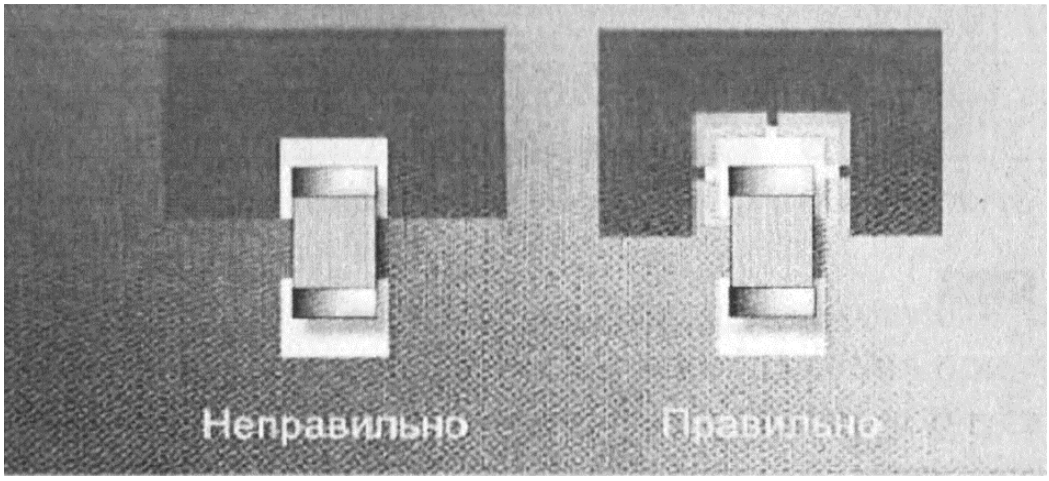


Рисунок 20 – Примеры расположения площадок SMD на больших полигонах

Во многом качество монтажа поверхностно-монтируемых компонентов зависит от правильного выполнения переходных отверстий. Неправильное размещение переходных отверстий относительно площадок SMT компонентов является распространенной ошибкой разработчиков.

- не допускается располагать переходные отверстия под компонентами SMD и на контактных площадках;
- диаметр переходных отверстий должен выбираться, основываясь на толщине платы и рекомендованном производителем отношении толщины платы и минимальном диаметре металлизированного отверстия.

Приведённый рисунок 21 демонстрирует рекомендуемое расположение переходных отверстий и контактных площадок.

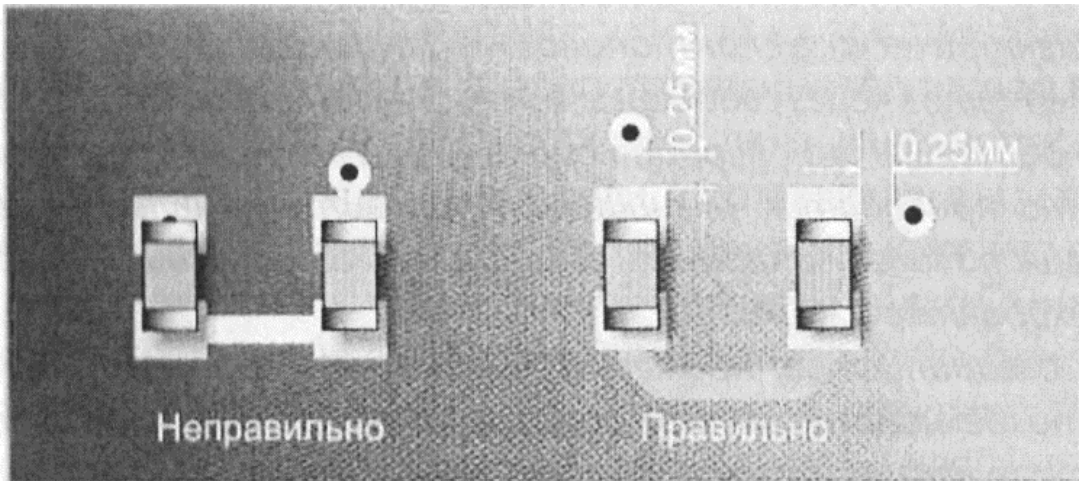


Рисунок 21 – Примеры расположения переходных отверстий

Рекомендации по выполнению маркировки платы. На плату наносится маркировка:

- графических и позиционных обозначений компонентов (графические обозначения компонентов должны отражать полярность и ориентацию компонентов на плате);
- обозначения платы, версии, обозначения предприятия-изготовителя и его адрес;
- предусматривается место для нанесения номера и даты изготовления платы;
- маркировка на плате выполняется трафаретной печатью либо в слое проводников;
- трафаретную печать желательно располагать только по областям платы, покрытой защитной маской;
- элементы маркировки компонентов, расположенных рядом друг с другом не должны пересекаться и накладываться друг на друга.

Следует учитывать, что элементы маркировки, попадающие на площадки открытые от маски и покрытые финишным покрытием (ПОС-61, иммерсионное золото и др.), наноситься не будут.

Состав и содержание комплектов конструкторской документации на печатную плату и ячейку

Состав комплекта конструкторской документации **на печатную плату и ячейку**:

1. Спецификация на ячейку представляет собой таблицу, содержащую перечень составных частей, входящих в данное изделие, и конструкторских документов, относящихся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям (деталям, не имеющим составных частей). Спецификацию выполняют на отдельных листах форматом А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект.

2. Чертёж исполнения печатной платы (лист сверления).

Чертёж платы выполняется с координатной сеткой в том случае, когда указание размеров рисунка и положения затруднено из-за сложности или большой плотности графических изображений, а так же в случае конструировании платы в координатной сетке. При нанесении размеров с помощью координатной сетки линии сетки должны нумероваться. Шаг нумерации определяется конструктивно с учетом насыщенности и масштаба изображения (рис. 22) и может быть выражен в миллиметрах или в количестве линий сетки.

Основной шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат должен быть 2,5 мм. При использовании шага координатной сетки менее основного следует применять шаг, равный 1,25 мм или 0,625 мм (ГОСТ 10317-79).

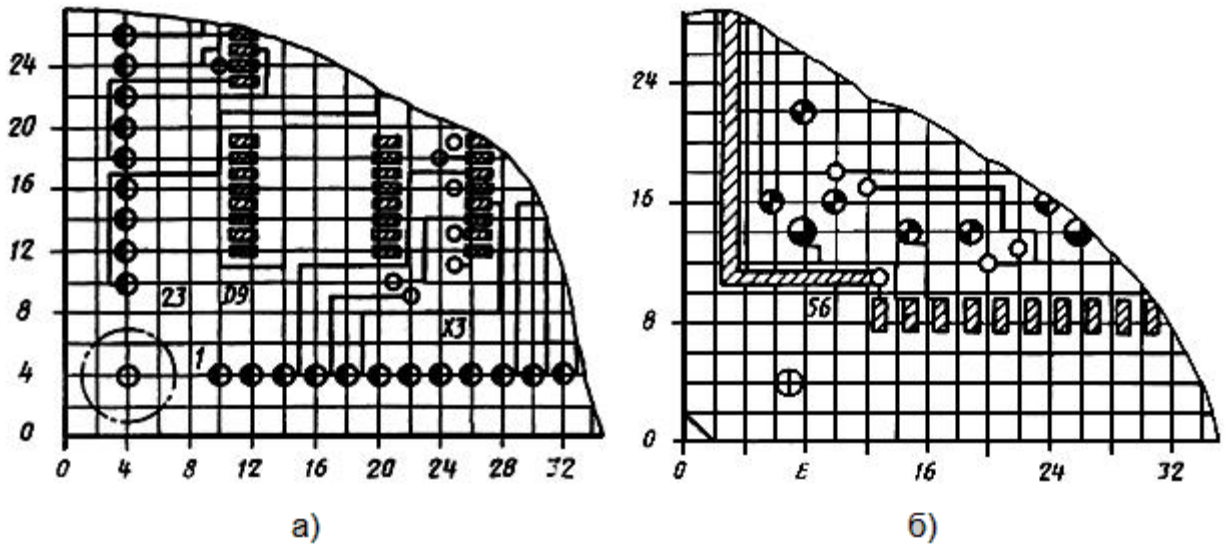


Рисунок 22 – Нанесение размеров с помощью координатной сетки

За начало отсчета в прямоугольной системе координат на главном виде чертежа печатной платы следует принимать:

- левый или правый нижний угол печатной платы (рис. 22 а);
- левую или правую нижнюю точку, образованную линиями построения (рис. 22 б).

Для нанесения размеров, обозначений шероховатости поверхности и т. п. допускается приводить на чертеже дополнительный вид, на котором рисунок печатной платы следует изображать частично.

Круглые контактные площадки с отверстиями, в том числе имеющими зенковку, и контактные площадки произвольной формы, размеры которых не указаны, изображают на чертеже одной окружностью. Допускается контактные площадки, в т. ч. круглые, в зависимости от их размеров изображать на чертеже условно в виде квадрата, прямоугольника, многоугольника и т. п. Размеры и форму контактных площадок указывают в технических требованиях чертежа.

Отверстия, близкие по диаметру, изображают окружностью одного диаметра с обязательным указанием условного знака в соответствии с ГОСТ 2.307-2011. Диаметр отверстия, его условный знак, диаметр контактной площадки, наличие металлизации, количество отверстий следует объединять в таблицу. Пример приведен в таблице 22.

Проводники на чертеже должны обозначаться одной линией, являющейся осью симметрии проводника. На чертеже следует указывать числовое значение ширины проводника. Проводники могут изображаться двумя линиями, при этом, если они совпадают с линиями координатной сетки, числовое значение ширины на чертеже не указывают. Отдельные элементы рисунка печатной платы (проводники, экраны, изоляционные участки и т. п.) допускается выделять на чертеже штриховкой, зачернением, растрированием и т. п.

На изображении печатной платы допускается наносить надписи, знаки и т. п., которые могут отсутствовать на самих изделиях, о чем должна быть

запись в технических требованиях чертежа. В местах нанесения надписей на чертеже допускается не наносить координатную сетку.

В технических требованиях чертежа допускается давать пояснения о взаимодействии элементов. Чертёж исполнения печатной платы показан на рисунке 22.

Таблица 22 – Форма таблицы отверстий

Условное обозначение отверстий	Диаметры отверстий, мм	Наличие металлизации в отверстиях	Диаметры контактных площадок, мм	Количество отверстий
	0,6	есть	3,0	36
	0,9	есть	3,0	42
	1,2	есть	3,0	12
	1,5	нет	4,0	6
	1,8	нет	5,0	14

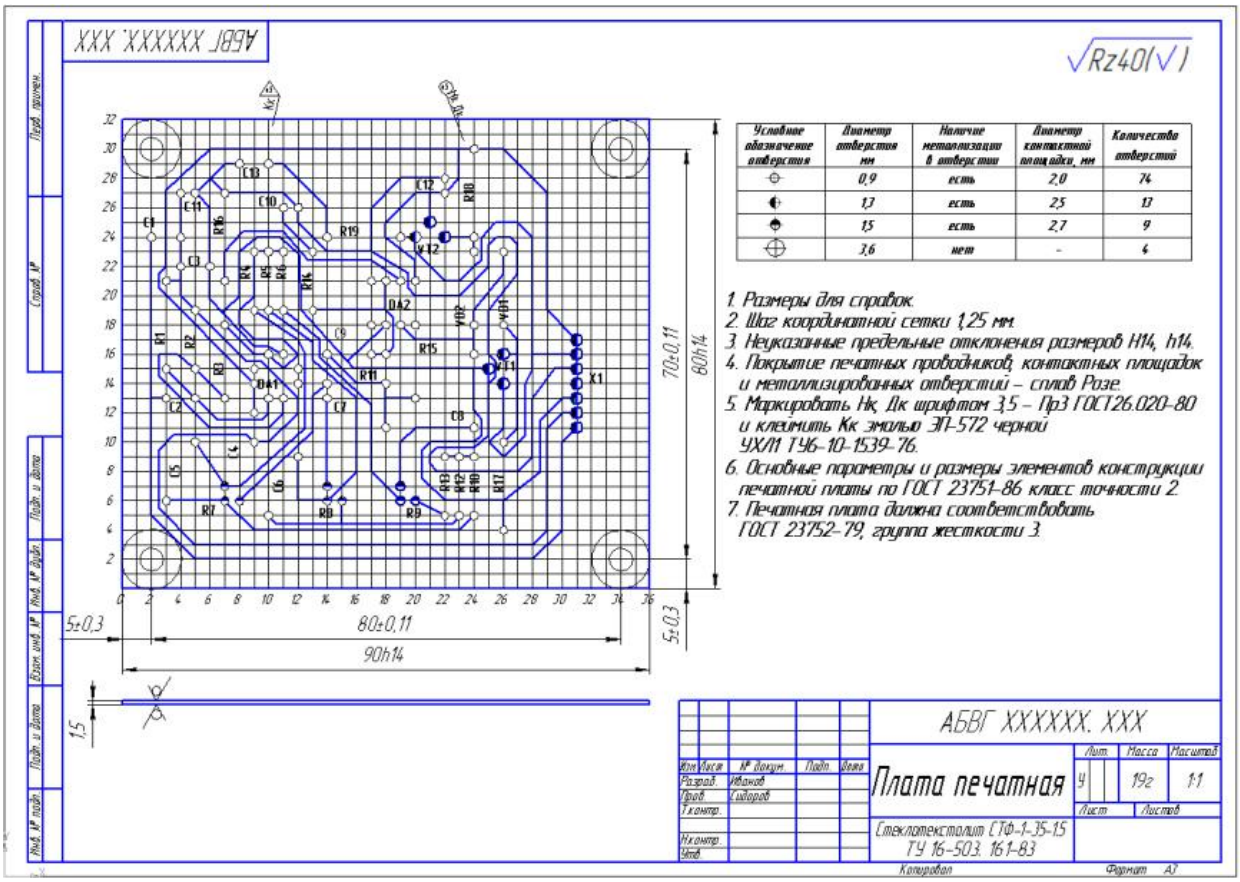


Рисунок 23 – Пример выполнения чертежа исполнения печатной платы

Маркировку печатной платы располагают на свободном месте платы. При маркировке способом, которым выполняется проводящий рисунок, допускается применять любой шрифт, при этом в технических требованиях чертежа способ маркировки не указывают.

Обозначение материала основания платы указывают в основной надписи чертежа.

3. Сборочный чертеж ячейки (рис. 24) должен включать основной и боковой виды ячейки, габаритные и присоединительные размеры, местный вид (при необходимости), электронный компоненты, устанавливаемые по чертежу, вид печатной платы сзади (если там есть электронные компоненты), технические требования. Как правило, в технических требованиях указывают следующую информацию, которая будет необходима для её сборки:

- размеры для справок;
- способ установки электронных компонентов на печатную плату;
- сведения о применяемых материалах: клей, паяльные пасты, лак и т. п.;
- сведения о клеймении;
- сведения о способах очистки от флюса;
- шероховатость поверхности и т. п.

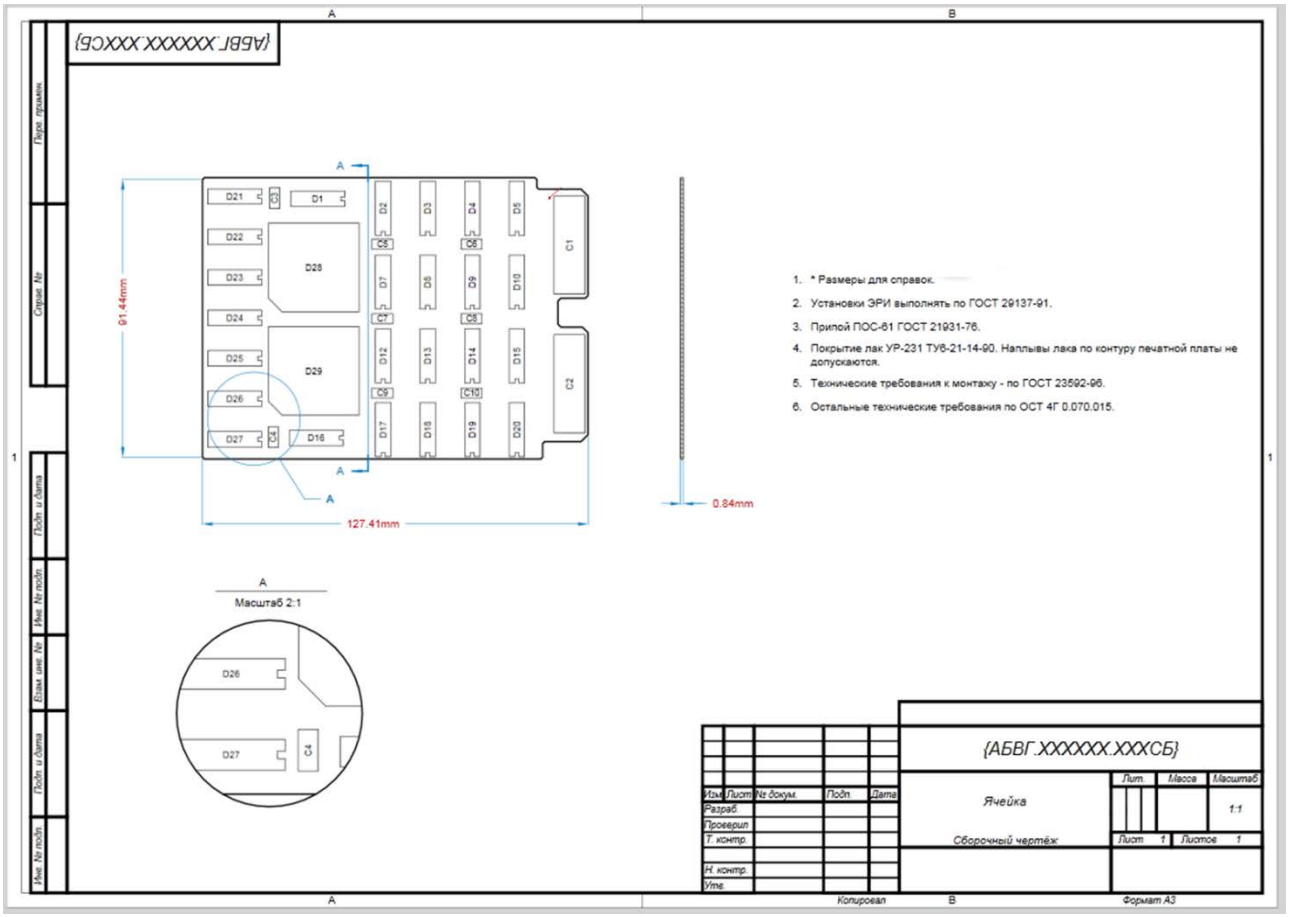


Рисунок 24 – Пример выполнения сборочного чертежа ячейки

4. Схема электрическая принципиальная (рис. 25), на которой даны упрощенные изображения элементов электрической цепи и связей между ними, позволяющие понять состав изделия и принцип его действия.

5. Перечень элементов (рис. 25) представляет собой документ в виде таблицы, куда занесены все электронные компоненты, входящие в изделие.

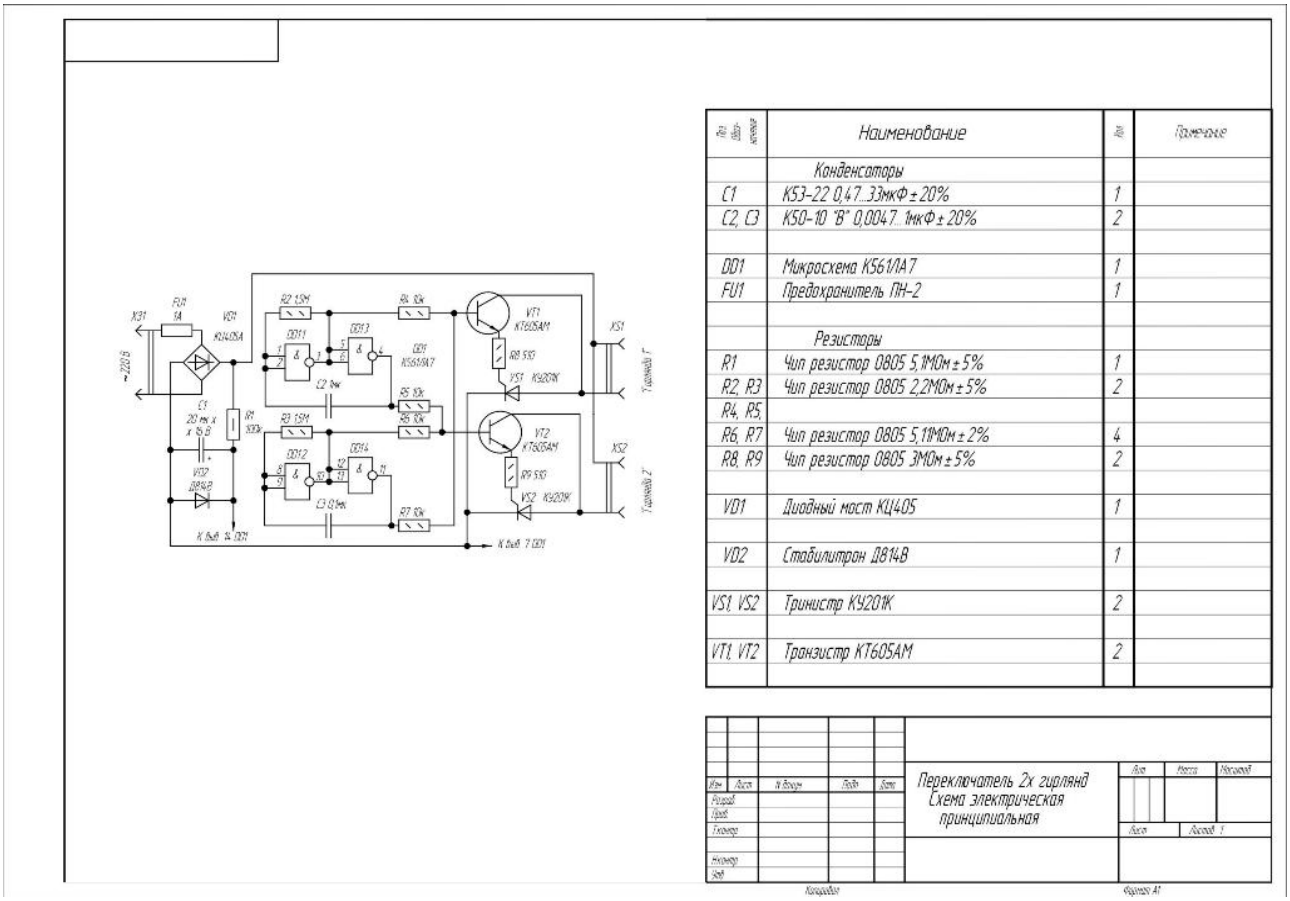


Рисунок 25 – Пример выполнения электрической принципиальной схемы и перечня элементов

6. Каталог (стандарт предприятия), ОСТ или ГОСТ, содержащие чертежи установки навесных элементов на печатные платы (при наличии на плате компонентов, требующих формовки выводов или дополнительных крепежных или иных деталей).

7. Данные проекта (компьютерный машинный носитель с файлами, содержащими проектные данные в согласованных с изготовителем форматах).

2.3 Порядок выполнения работы

2.3.1 Задание:

− развести симулированную ранее электрическую схему на печатную плату;

− произвести компоновку и трассировку радиоэлементов;

− ознакомиться с основными принципами построения печатных плат.

2.3.2 Ход работы

1) Для разводки печатной платы необходимо модель перенести в приложении ARES Professional. Для этого необходимо нажать кнопку на панели инструментов.

Далее открывается окно приложения ARES Professional, где в списке components приведены все используемые компоненты (рис. 26).

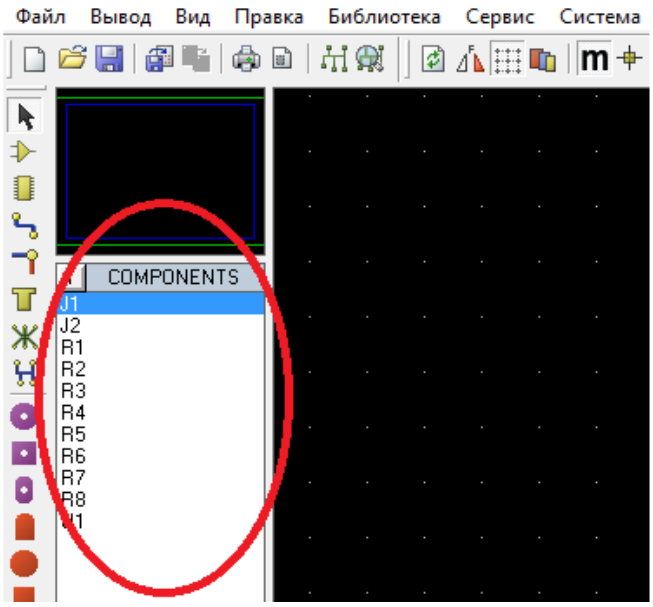


Рисунок 26 – Рабочее окно приложения «ARES Professional»

Рассматриваемое приложение ARES Professional позволяет производить автоматическую компоновку и трассировку соединений.

2) Для осуществления автоматической компоновки необходимо определить область, в которой можно размещать элементы. Для этого нажимаем кнопку , выбираем внизу в выпадающем списке слой Board Edge и обозначаем размер платы в рабочей области (рис. 27).

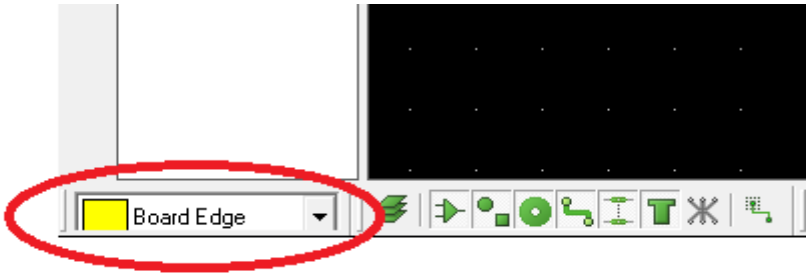


Рисунок 27 – Определение области размещения элементов

3) Далее запускается автокомпоновка нажатием кнопки на панели инструментов. В результате открывается окно Auto Placer, в котором настраиваются параметры компоновки (рис. 28). Необходимо заметить, что при автоматическом размещении компонентов на плате все компоненты должны

быть полностью укомплектованы, то есть содержать информацию, как об условном графическом обозначении, так и о посадочном месте.

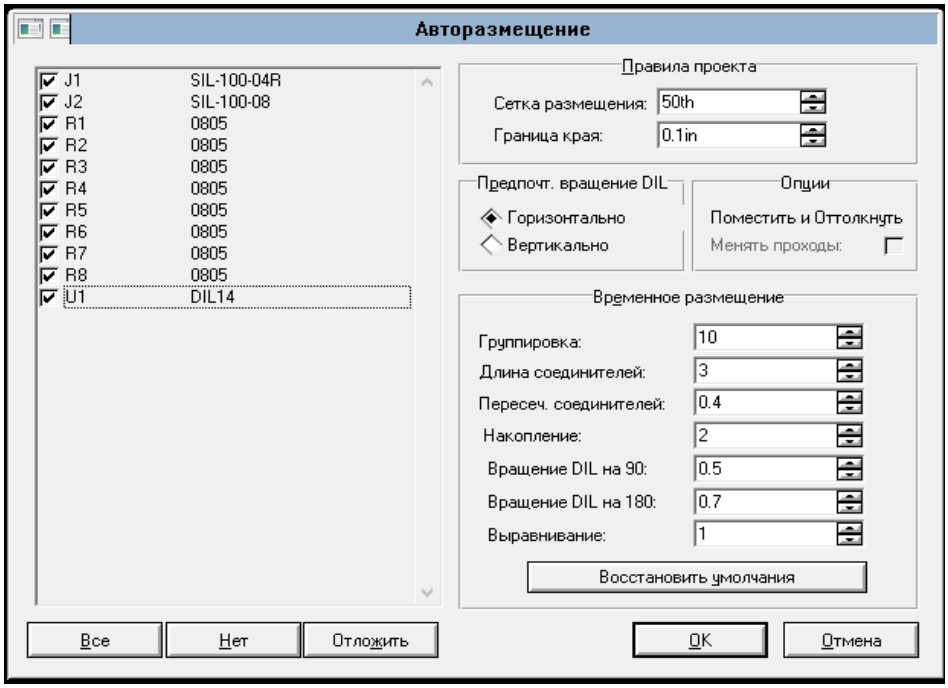


Рисунок 28 – Окно настройки свойств компоновки

Галочками отмечаются элементы, которые будут автоматически скомпонованы, в рамке Design Rulse устанавливаются параметры сетки расстановки и минимального расстояния между элементами, а в рамке Preferred DIL Rotation устанавливается расположение корпусов микросхем (горизонтальное / вертикальное). После установки параметров нажимаем кнопку «ОК», в результате производится автоматическая компоновка элементов в соответствии схемы, изображенная на рисунке 29.

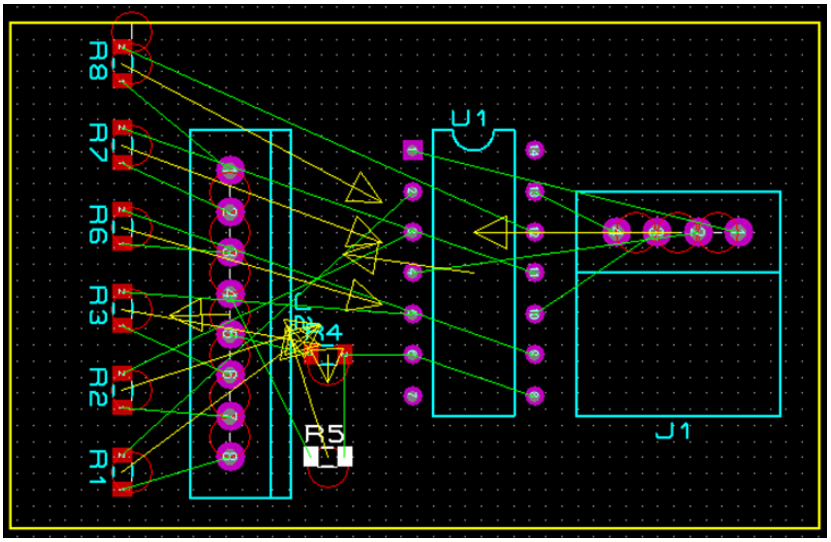


Рисунок 29 – Результат автоматической компоновки элементов

Приложение ARES Professional автоматически расставит выбранные элементы.

4) Автоматическая трассировка проводников предусматривает использование специальных средств, которые самостоятельно выполняют прокладывание печатных проводников (участков токопроводящего покрытия, нанесенного на изоляционную основу, эквивалентных обычному монтажному проводу) на основе правил проектирования, заданных разработчиком. Перед тем как выполнить автотрассировку, необходимо настроить правила проекта. Сделать это можно в окне Design Rule Manager, которое можно вызвать при помощи команды Technology/Design Rule Manager основного меню ARES. Данное диалоговое окно содержит несколько вкладок. Для установки правил проекта предназначена вкладка Design Rules (рис. 30).

В верхней части вкладки находится меню Rule Name. В данном меню из выпадающего списка можно выбрать название правила, для которого будут производиться настройки на вкладке. При помощи кнопок New, Rename, Delete можно создавать новые правила, переименовывать или удалять уже имеющиеся. Правило с названием DEFAULT нельзя удалить или переименовать. Назначить слои и классы связей, к которым будет применимо правило, можно в левой части вкладки Design Rules в полях Apply to Layer (Применить к слою) и Apply to Net Class (Применить к классу связей). В правой части вкладки в следующих полях:

- Pad – Pad Clearance (Контактная площадка – контактная площадка);
- Pad – Trace Clearance (Контактная площадка – трасса);
- Trace – Trace Clearance (Трасса – трасса);
- Graphics Clearance (Графика);
- Edge/Slot Clearance (Край платы/Вырез в плате), устанавливаются зазоры – минимально допустимые расстояния при трассировке.

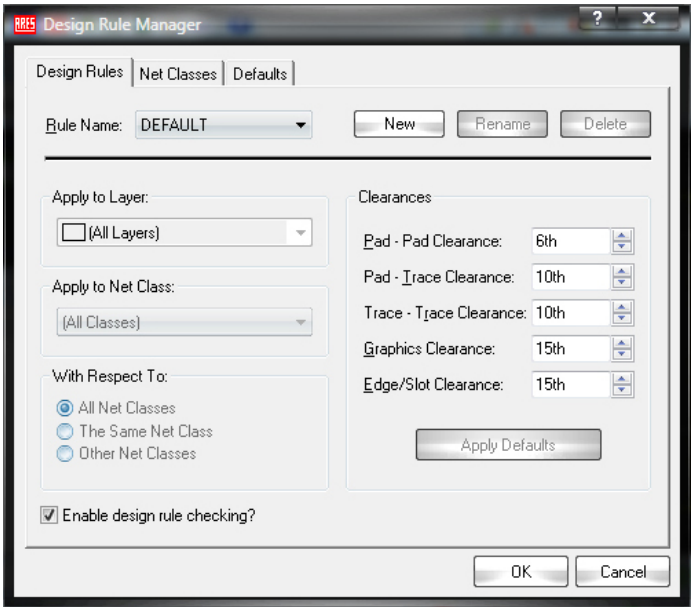


Рисунок 30 – Окно Design Rule Manager, вкладка Design Rules.

Включить проверку правил можно посредством установки флажка в чекбоксе Enable design rule checking. При необходимости можно вернуть значения по умолчанию – кнопка Apply Defaults.

На вкладке Net Classes (рис. 31) окна Design Rule Manager производится настройка параметров для отдельных классов цепей проекта. Рассмотрим данную вкладку более подробно. В ее верхней части расположено поле Net Class, в котором в меню из выпадающего списка можно выбрать класс связи для настройки параметров: SIGNAL (сигнальный) или POWER (питание).

При помощи кнопок New, Rename, Delete можно создавать новые классы цепей, переименовывать или удалять уже имеющиеся.

В поле Routing Styles можно настроить для каждого класса цепей стиль разводки. Тип переходных отверстий (Normal – обычное, Top Blind – глухое сверху, Bottom Blind – глухое снизу, Buried – скрытое) устанавливается в поле Via Type. Видимость и цвет соединителей можно задать в поле Ratsnest Display. В поле Layer Assignment for Autorouting задается назначение слоев автотрассировки, при этом если для одной из сторон платы установлено значение None, то трассировка выбранного класса цепей будет производиться только на одной стороне платы.

На вкладке Defaults (рис. 32) устанавливаются следующие параметры:

- Default Styles (Стили по умолчанию): Neck Style (Сужение), Relief Style (Стиль рельефа);
- Tolerances (Допуски): Curve Tolerance (Кривая), Rule Check Tolerance (Правила проверки).

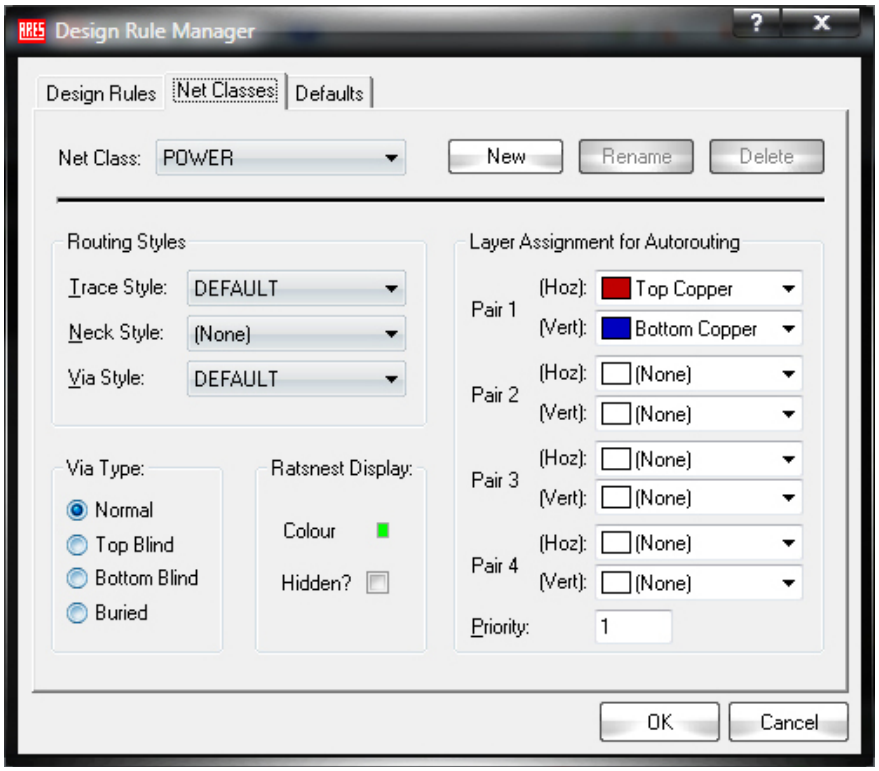


Рисунок 31 – Окно Design Rule Manager, вкладка Net Classes

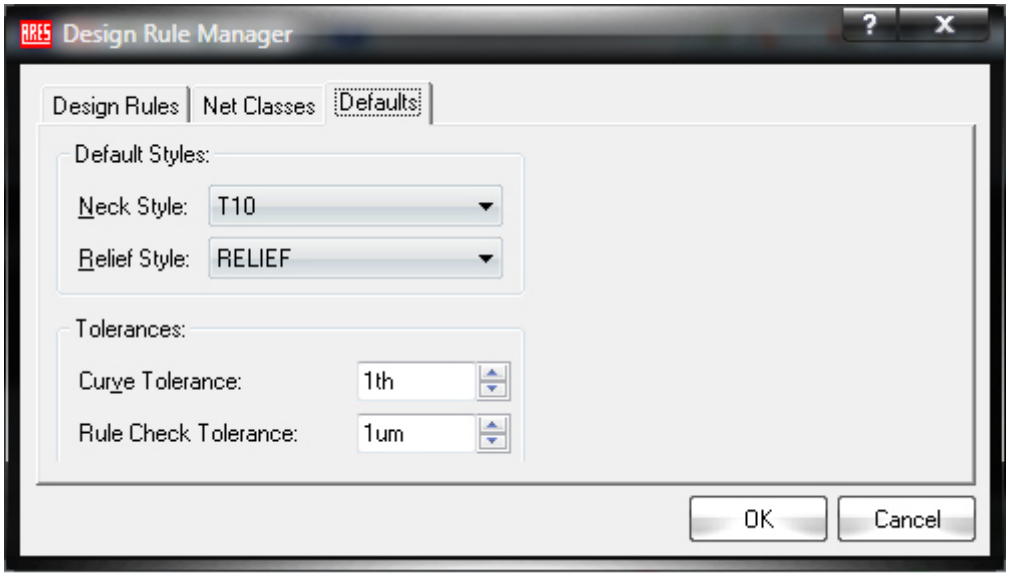


Рисунок 32 – Окно Design Rule Manager, вкладка Defaults.

При внесении изменений в параметры, установленные по умолчанию, разработчику необходимо учитывать, что данные параметры являются оптимальными. Для получения наилучших результатов в большинстве случаев не рекомендуется их изменять.

Далее следует произвести автоматическую трассировку соединений. Для этого нужно нажать кнопку на панели инструментов. Открывается окно Auto Router, в котором производится настройка опций автотрассировки (рис. 33).

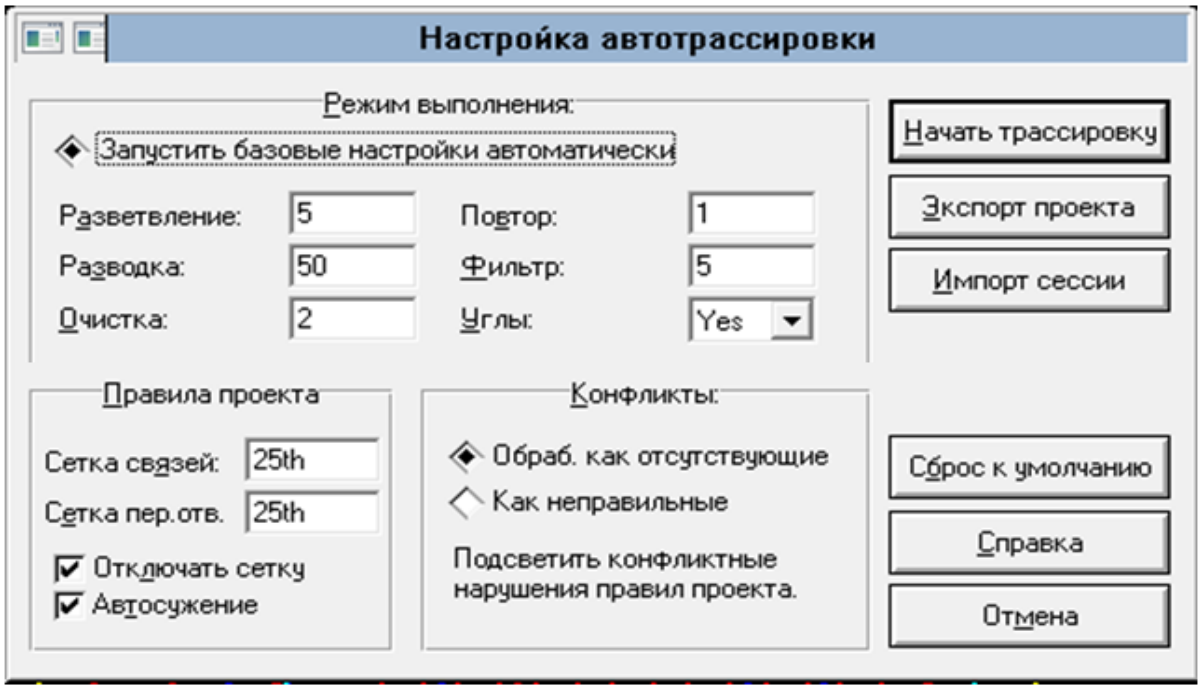


Рисунок 33 – Окно свойств автотрассировки

Рассмотрим данное окно более подробно. В его верхней левой части расположено поле Execution Mode (Режим выполнения), в котором посредством установки переключателя в одну из четырех позиций можно произвести выбор следующих значений:

- Run basic schedule automatically (Запустить базовые настройки автоматически);
- Run specified DO file automatically (Запустить файл DO автоматически);
- Enter router commands interactively (Интерактивный ввод команд трассировки);
- Launch external copy of ELECTRA (Запустить внешнюю копию ELECTRA).

Если выбран пункт Run basic schedule automatically, появляется возможность настройки следующих параметров:

- Fanout Passes (Разветвление);
- Routing Passes (Разводка);
- Cleaning Passes (Очистка);
- Repeat Phases (Повтор);
- Filter Passes (Фильтр);
- Recorner Pass (Углы) – управляет режимом прокладки угловых дорожек.

В нижней левой части вкладки находится поле Design Rules (Правила проекта) в котором устанавливаются следующие параметры:

- Wire Grid (Сетка цепей);
- Via Grid (Сетка переходных отверстий);
- Allow off grid routing? (Отключать сетку?);
- Enable autonecking? (Разрешить автосужение?).

В поле Conflict Handling посредством установки переключателя в одну из позиций производится выбор способа обработки конфликтов. При этом будет произведена подсветка нарушений правил проекта на плате:

- Treat conflicts as missings (Обрабатывать как отсутствующие);
- Load conflicts as illegal tracks (Как неправильные).

При помощи кнопки Reset to Defaults можно вернуть значения по умолчанию.

После установки опций нажимаем кнопку «ОК», в результате приложение произведет автоматическую трассировку соединений на печатной плате. На рисунке 34 приведен пример, где автотрассировщик развел двухстороннюю печатную плату.

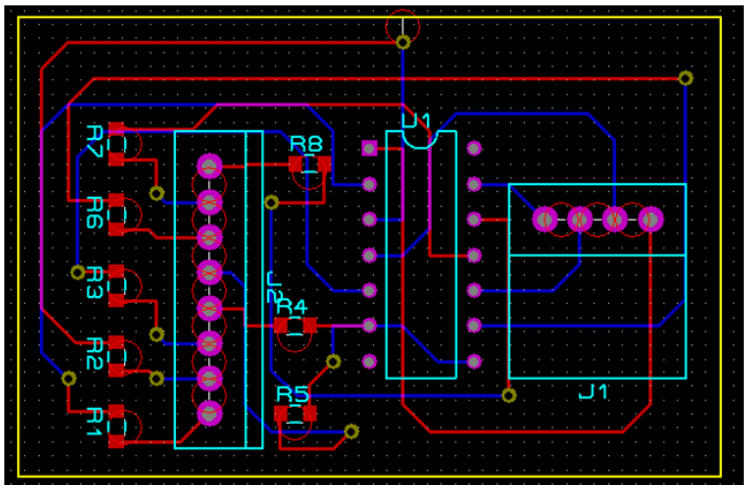


Рисунок 34 – Результат автоматической трассировки соединений

Для ручного проектирования дорожек соединений выберите значок «Проводник» (Trace) и кликните левой кнопкой на выводы первого элемента, размещенного на плате. В данном случае появится подсказка в строке состояния, указывающая на то, что вы разводите часть сети «земля». Подсветится ближайшая контактная площадка, с которой есть соединение, и линия связи также станет указывать на неё. Переключатель проводников автоматически отобразит стиль проводника T25. Это связано со свойством стратегии сети, при включенной опции автовыбора проводника (Auto-Trace Selection) в меню «Инструменты» (Tools).

Переместите курсор в направлении второго элемента, к которому необходимо провести дорожку. При этом ARES будет строить затенённый проводник, где будет помещен сегмент дорожки. Можно менять конфигурацию соединения, устанавливая промежуточные точки кликом левой кнопки. Кликните левой кнопкой на вывод второго элемента для завершения проектирования дорожки. ARES будет считать, что вы завершили разводку, и заменит линию соединения дорожкой шириной 0,025 дюйма.

Для создания сквозного отверстия нажмите левой кнопкой на выводе элемента, а затем дважды кликните левой кнопкой чуть ниже этого вывода. Двойной левый клик в окрестностях вывода размещает сквозное отверстие и также меняет основной и дополнительный слои. Сквозное отверстие, размещенное на слое, определяется режимом сквозного отверстия текущей стратегии (нормальный, углубленный или скрытый).

2.4 Контрольные вопросы

1) Перечислите два вида компоновки РЭА и ЭВА. В чем их сущность?

2) Приведите алгоритмы компоновки РЭА и ЭВА и дайте их краткие характеристики.

3) Сформулируйте постановку задачи размещения модулей ЭВА.

4) Какие основные критерии используются при решении задачи размещения элементов?

5) Дайте классификацию алгоритмов размещения элементов.
6) Сформулируйте постановку задачи трассировки.
7) Приведите классификацию алгоритмов трассировки.
8) Опишите принцип работы волнового алгоритма.
9) Опишите принцип работы двухлучевого алгоритма.
10) Опишите принцип работы канального алгоритма.
11) В чем сущность геометрического моделирования?

Список рекомендуемых литературных источников и веб-ресурсов

1. Автоматизированное конструирование и расчет деталей и узлов машиностроения и приборостроения [Электронный ресурс] : практикум по выполнению лабораторных и практических работ / УО «ВГТУ», Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства» ; сост. В. В. Савицкий. – Витебск, 2021. – 1 CD-ROM (2521 Кб. – Систем. требования : Windows XP.

2. Колосницын, Б. С. Расчет параметров элементов интегральных микросхем : учебно-методическое пособие / Б. С. Колосницын, Д. А. Котов ; Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Факультет радиотехники и электроники, Кафедра микро- и наноэлектроники. – Минск : БГУИР, 2017. – 67 с.

3. Кузнецов, Э. В. Электротехника и электроника : учебник и практикум: [в 3 т.]. Т. 1 : Электрические и магнитные цепи / Э. В. Кузнецов ; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 255 с.

4. Шишкин, Г. Г. Электроника : учебник / Г. Г. Шишкин, А. Г. Шишкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 703 с.

5. Электроника и информационно-измерительная техника. Компьютерное моделирование электронных схем : лабораторный практикум / УО «ВГТУ» ; сост.: В. В. Леонов, А. М. Науменко. – Витебск, 2023. – 70 с.

Учебное издание

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Составитель:
Науменко Андрей Михайлович

Редактор *Р.А. Никифорова*
Компьютерная верстка *А.М. Науменко*

Подписано к печати 16.01.2024. Формат 60x90 $^{1}/_{16}$. Усл. печ. листов 3,0.
Уч.-изд. листов 3,6. Тираж 2 экз. Заказ № 29.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Учебное издание

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Составитель:
Науменко Андрей Михайлович

Редактор *Р.А. Никифорова*
Компьютерная верстка *А.М. Науменко*

Подписано к печати 16.01.2024. Усл. печ. листов 3,0.
Уч.-изд. листов 3,6. Заказ № 30.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

УДК 658.512.2

Составитель
А. М. Науменко

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 16.11.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 27.12.2023.

Системы автоматизированного проектирования отрасли: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А. М. Науменко, – Витебск : УО «ВГТУ», 2024. – 48 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования отрасли», определяют порядок выбора студентом темы работы, общие требования, предъявляемые к лабораторным работам, освещают последовательность их подготовки, требования к структуре и содержанию.

Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения на базе ссуза специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)».

УДК 658.512.2

© УО «ВГТУ», 2024