

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

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1-40 05 01-01 «Информационные системы и технологии (в проектировании и производстве)»

Витебск
2018

УДК 658.512.2

Составители:

А.М. Науменко, Е.А. Чернов

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 9 от 30.11.2018.

Основы автоматизации конструирования : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А. М. Науменко, Е. А. Чернов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 39 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы автоматизации конструирования», 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 на базе ссуз формы обучения специальности 1-40 05 01-01 «Информационные системы и технологии (в проектировании и производстве)».

УДК 658.512,2

© УО «ВГТУ», 2018

Содержание

Лабораторная работа 1. Сбора 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	33
2.4 Контрольные вопросы	37
Список рекомендуемых литературных источников и веб-ресурсов	38

Лабораторная работа 1. Сборка 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 коммерческий пакет программ класса САПР, объединяющий в себе две основных 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, так как 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.

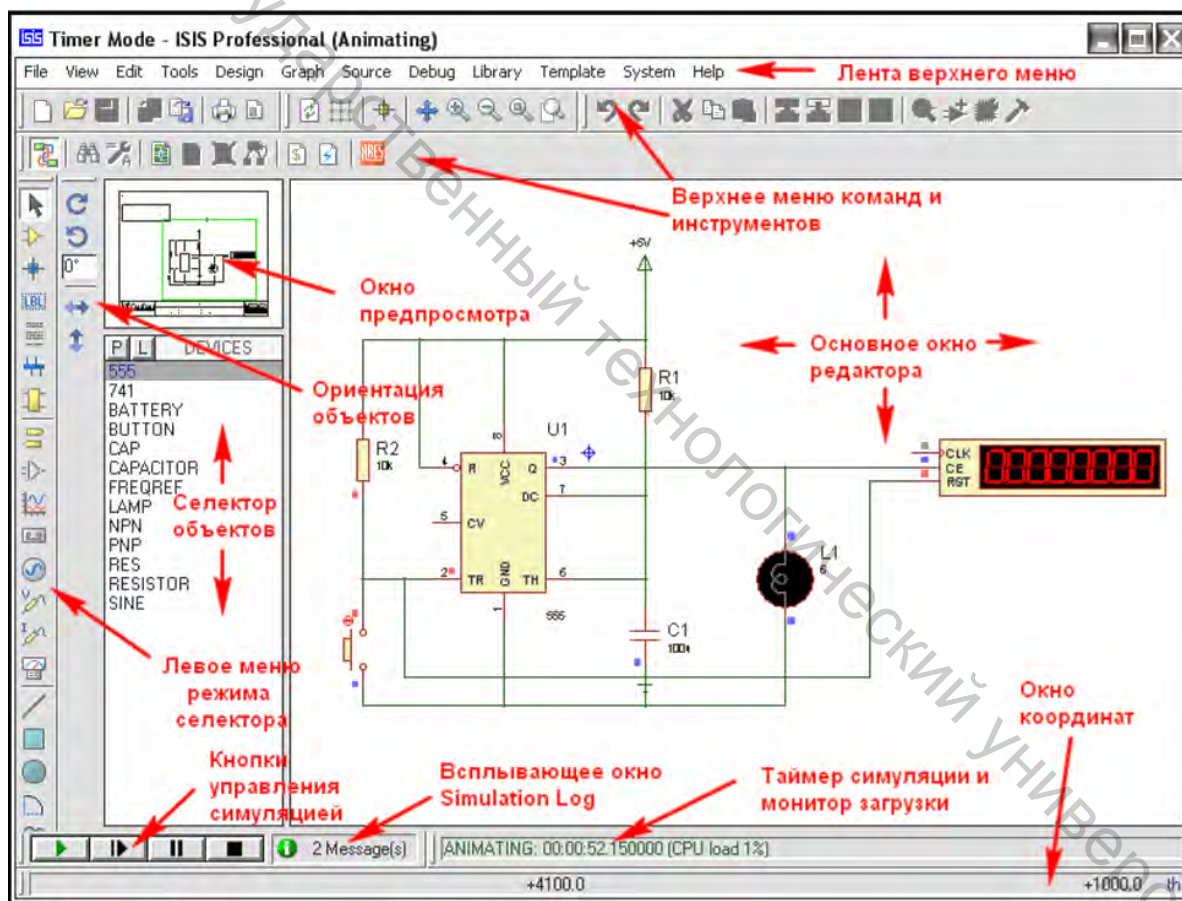




















Рисунок 1 – Интерфейс программы ISIS

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 ко 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
	Вырезать в буфер обмена

Окончание таблицы 1

1	2
	Копировать в буфер обмена
	Вставить в 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 в низу 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 изменяют 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:



- клик левой кнопкой мыши в точке на окне обзора 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, «ударяя» курсором об одну из его границ. Это прокручивает экран в соответствующем направлении. Мы будем ссылаться на эту особенность как на *Shift-прокруткой (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 клавиши масштаба и одновременно указывая мышью туда, где вы хотите, чтобы 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 растягиванием 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 Assignment 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 протейса необходимо нажать на щелчок левой клавишей мыши по кнопке «Р» вверху окна селектора объектов (рис. 1), либо используя ленту верхнего меню выбрать «Библиотека/Выбрать устройство/символ» (рис. 1), либо двойной щелчок левой в любом месте внутри селектора объектов (рис. 3). В результате нам откроется окно браузера библиотеки компонентов, показанное на рисунке 5.

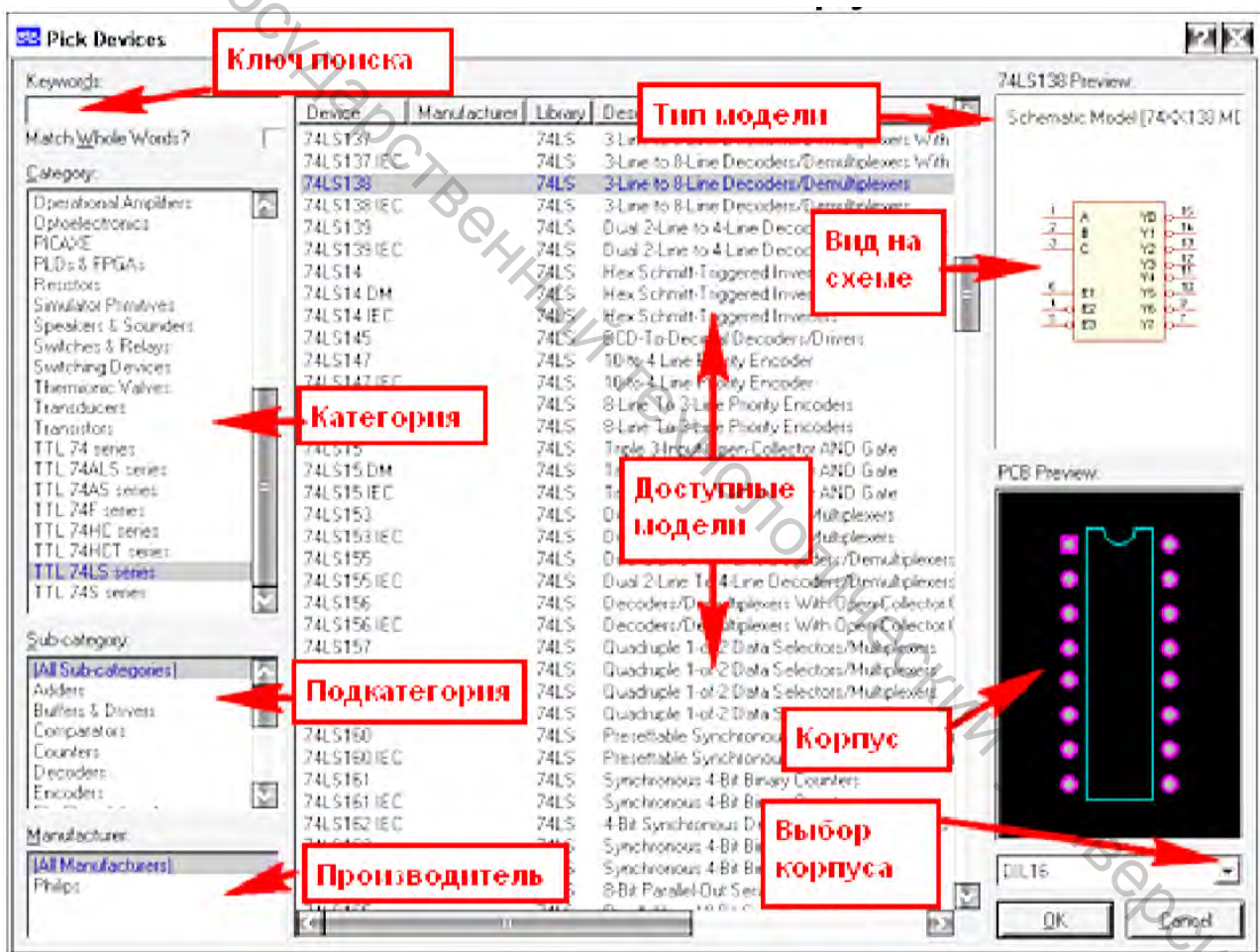


Рисунок 5 – Интерфейс браузера библиотеки компонентов

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 отобразить 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 Polystyrene
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 специфические	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 никелевые	Capacitors / Nickel Barrier
Неполяризовываемые	Capacitors / Non Polarized
Многослойные 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
Триггеры	Flip-Flops & Latches
Делители частоты и таймеры	Frequency Divides & Timers
И 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-Туре	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 / Miscellaneous
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)
Переключки	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
Биполярные	Transistors / Bipolar
Общие	Transistors / Generic
Биполярные 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

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.

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).

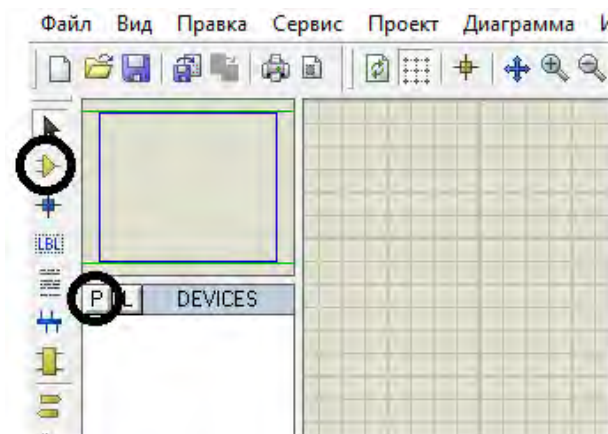


Рисунок 6 – Основное рабочее пространство ISIS

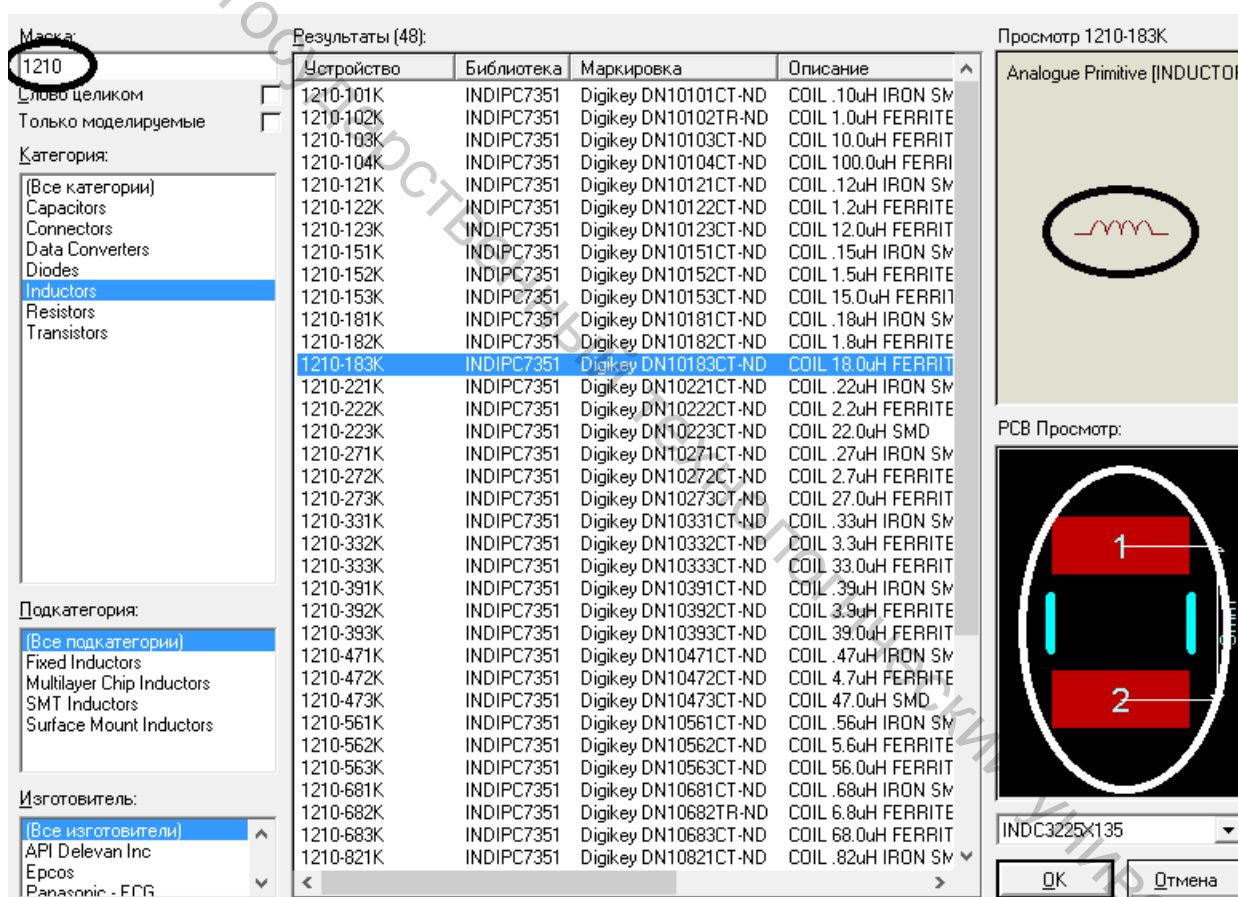


Рисунок 7 – Нахождение элемента в библиотеке

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.

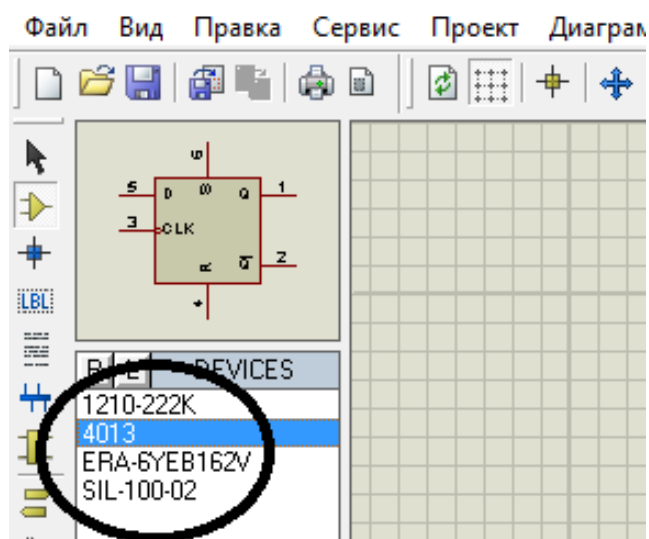



Рисунок 8 – Режим добавления элементов после работы с Pick Devices

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).

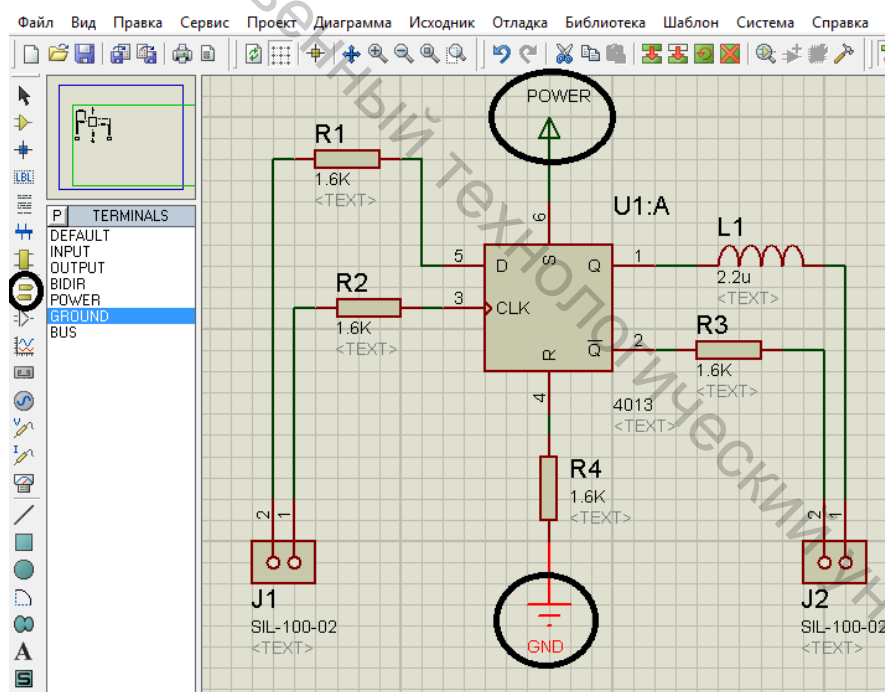


Рисунок 9 – Пример сборки схемы с элементами «Земля» и «Питание»

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: импортрование схемы, компоновку элементов, трассировку соединений.

Импортрование – процесс переноса всех элементов схемы с их свойствами, и электрических связей между элементами собранной, протестированной и отлаженной схемы. Компоновка элементов печатной платы подразумевает расположение компонентов печатной платы на поверхности самой печатной платы. 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 предлагается 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).

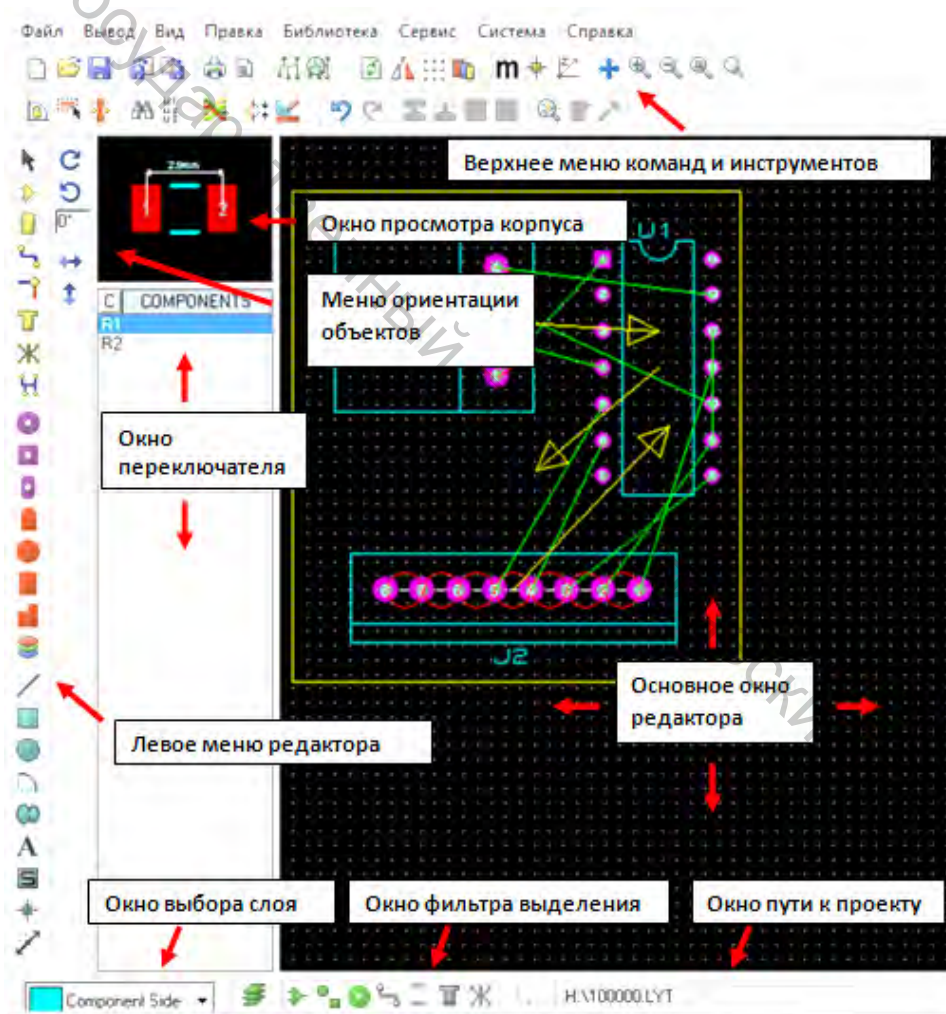


Рисунок 10 – Интерфейс программы ARES

Инструменты, расположенные вдоль верхней границы экрана (по умолчанию), обеспечивают альтернативный доступ к следующим командам меню и представлены в таблице 19. Команды панели редакторы представлены в таблице 20.



















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



Таблица 19 – 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 19

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 20 – Панель редактора

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

Окончание таблицы 20

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
	Текс
	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 включая 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.

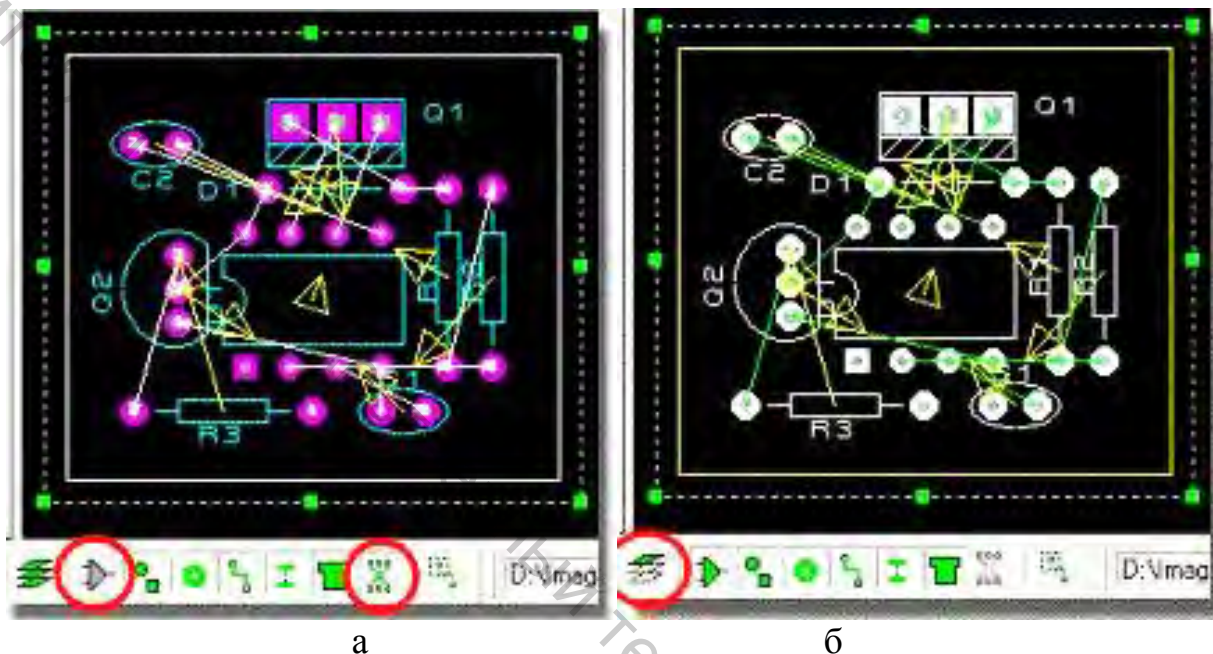



Рисунок 11 – Применение фильтра выделения:
 а – линии связи включены, элементы выключены;
 б – выделен только текущий слой

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.

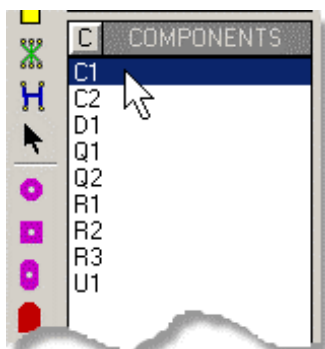


Рисунок 12 – Переключатель объектов



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 когда 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 так как 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 векторы силы других элементов не показывается, пока элемент не будет установлен. Как только все проводники от элемента будут разведены, его вектор силы автоматически исчезнет.

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

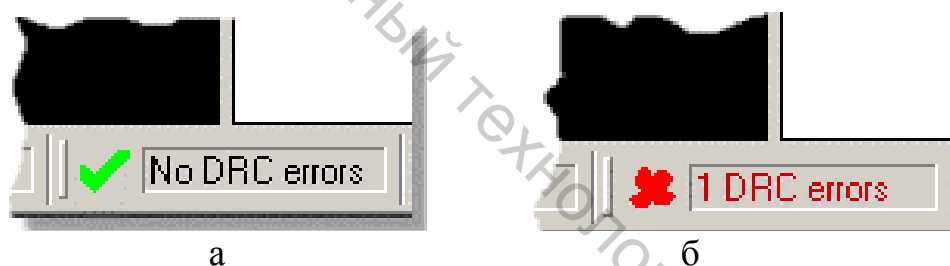


Рисунок 14 – Интерактивный контроль проектных норм (DRC):
а – ошибки отсутствуют; б – ошибки присутствуют

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 стратегии, которая определяет, как она 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 неопределены, 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 «Система» (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.

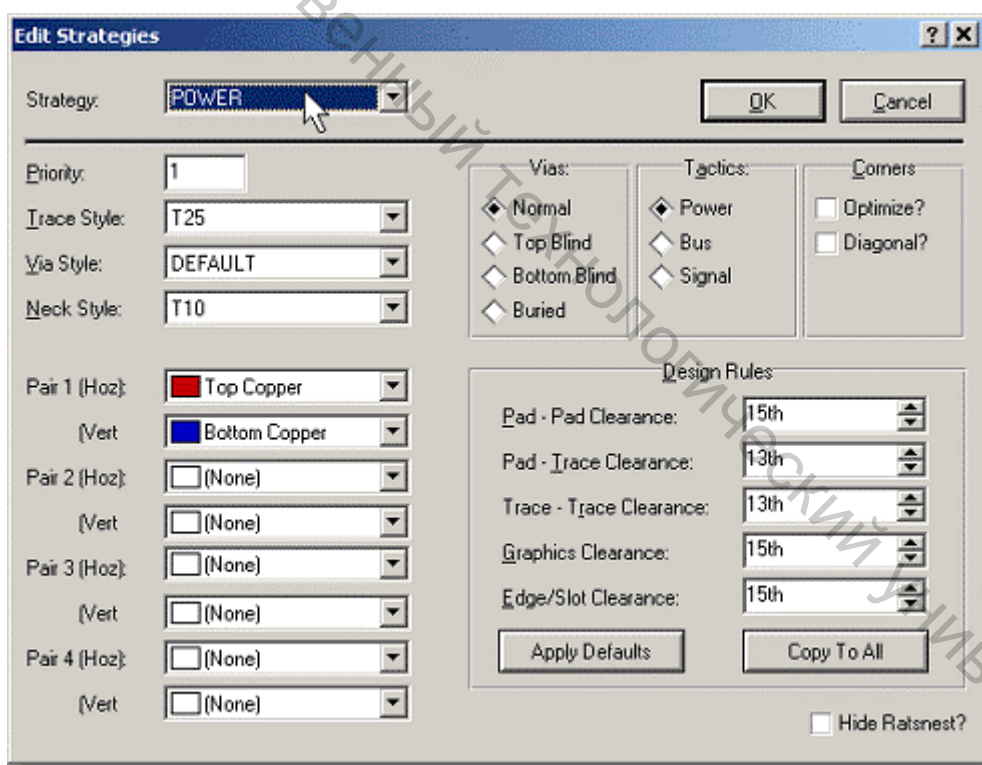


Рисунок 15 – Диалоговое окно установки стратегий

Для более сложных проектов вы можете создать и конфигурировать ваши собственные стратегии. Вы создаете стратегию маркировкой сети в ISIS (см. справочник ISIS) – она появляется 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 использования автотрассировки необходимо вызвать команду «Автотрассировщик» (Auto-Router) в меню «Инструменты» (Tools). Примените для этой печатной платы настройки по умолчанию, нажав на ОК. 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 технической документации на компонент либо в стандартах IPC7351, 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.

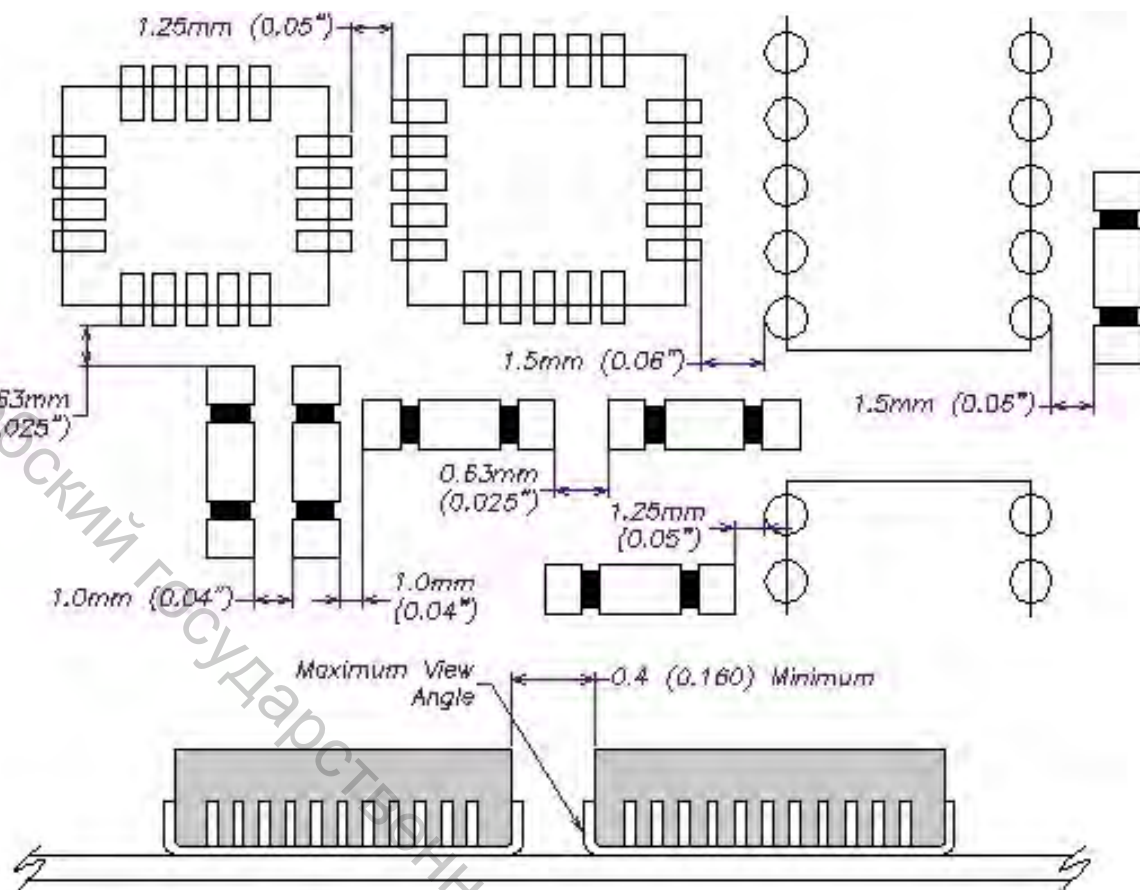


Рисунок 16 – Минимальные зазоры между компонентами

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.

Расстояние от края неметаллизированного отверстия до контактной площадки или проводника должно быть не менее 0.5 мм.

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 – Подвод широких проводников к контактным площадкам

Все перемычки между ножками SMD микросхем должны находиться вне места пайки (рис. 18).

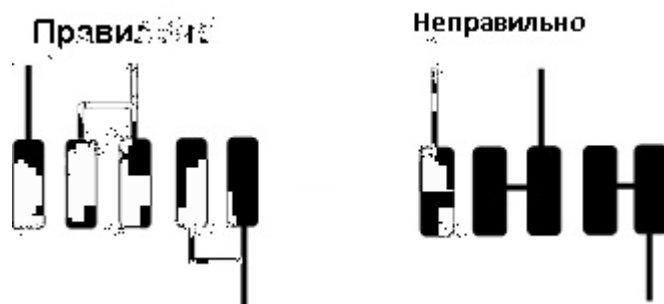


Рисунок 18 – Проектирование перемычек между ножками SMD микросхем

Площадки SMD компонентов, находящиеся на больших полигонах, должны быть отделены от полигона перемычками (рис. 19). Вокруг контактной площадки нанести маску, которая препятствует перемещению расплавленного припоя вдоль проводника.



Рисунок 19 – 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 19 демонстрирует рекомендуемое расположение переходных отверстий и контактных площадок.

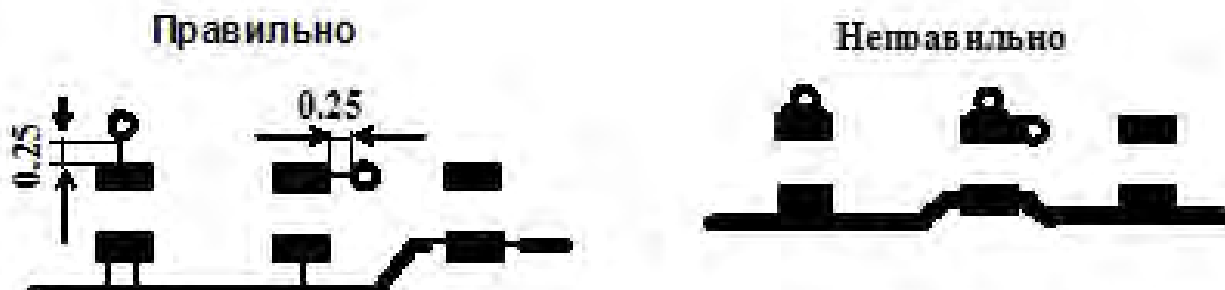


Рисунок 20 – Примеры расположения переходных отверстий

Рекомендации по выполнению маркировки платы. На плате 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 покрытых 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.

2.3 Порядок выполнения работы

Задание

- развести симулированную ранее электрическую схему на печатную плату;
- произвести компоновку и трассировку радиоэлементов;
- ознакомится с основными принципами построения печатных плат.

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. 21).

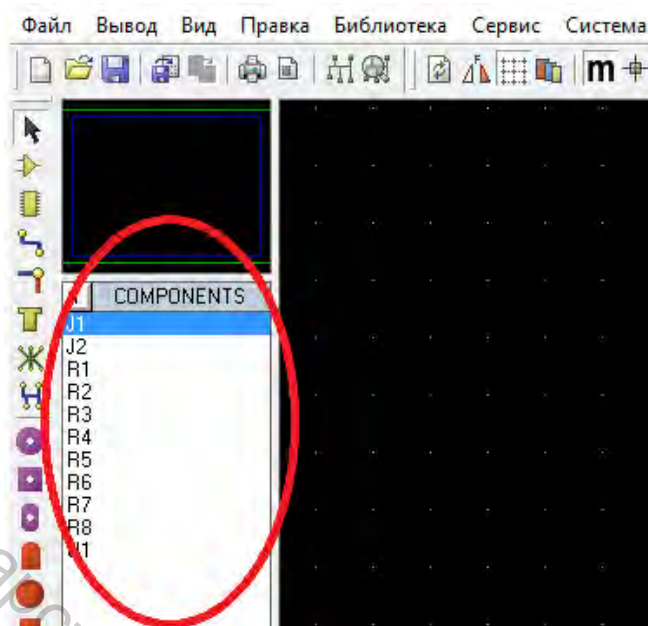



Рисунок 21 – Рабочее окно приложения ARES Professional

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. 22).

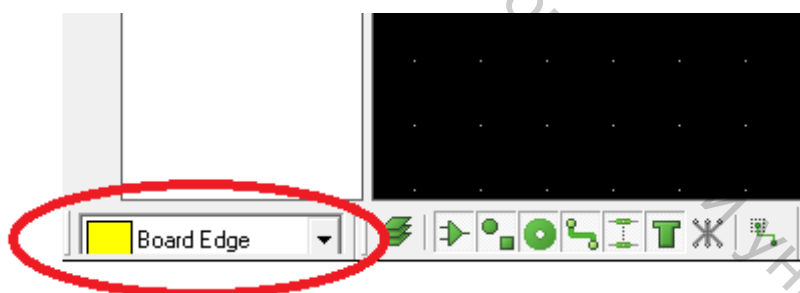



Рисунок 22 – Определение области размещения элементов

3. Далее запускается автокомпоновка нажатием кнопки «» на панели инструментов. В результате открывается окно Auto Place, в котором настраиваются параметры компоновки (рис. 23).

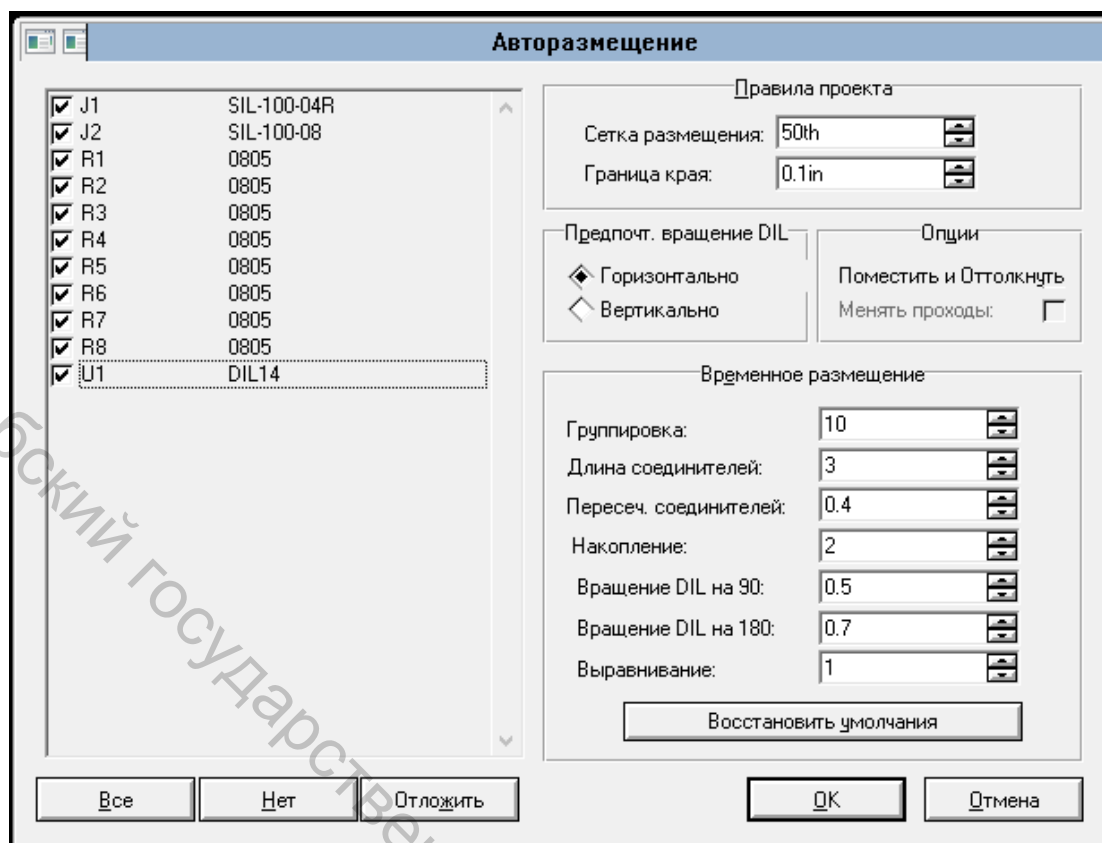


Рисунок 23 – Окно настройки свойств компоновки

Галочками отмечаются элементы, которые будут автоматически скомпонованы, в рамке Design Rules 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 24.

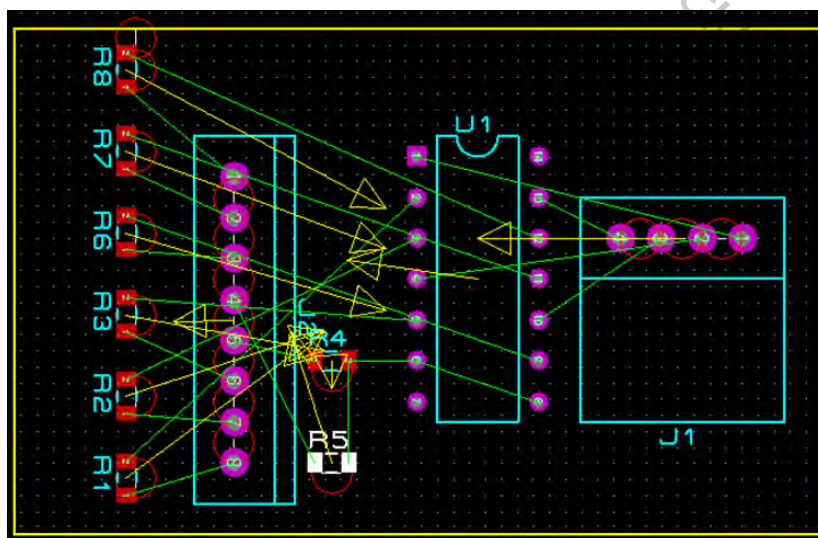



Рисунок 24 – Результат автоматической компоновки элементов

Приложение ARES Professional автоматически расставит выбранные элементы.

4. Далее следует произвести автоматическую трассировку соединений. Для этого нужно нажать кнопку «» на панели инструментов (рис. 23). Открывается окно Auto Router, в котором производится настройка опций автотрассировки (рис. 25).

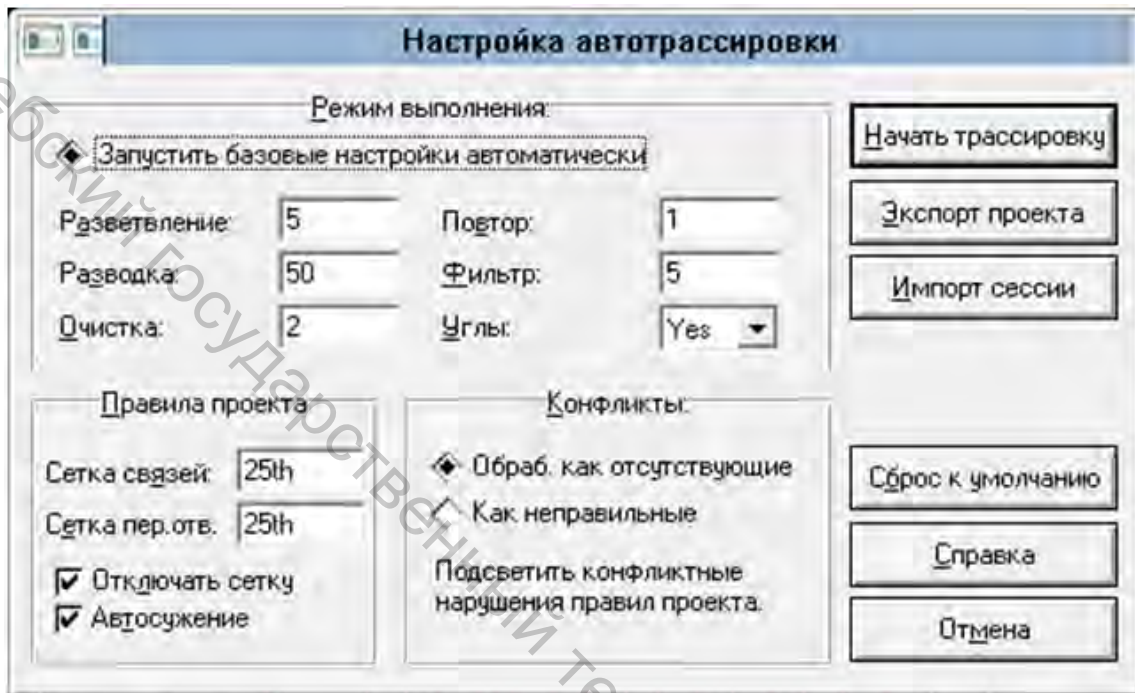


Рисунок 25 – Окно свойств автотрассировки

После установки опций нажимаем кнопку ОК, в результате приложение произведет автоматическую трассировку соединений на печатной плате. На рисунке 22 приведен пример, где автотрассировщик развел двухстороннюю печатную плату.

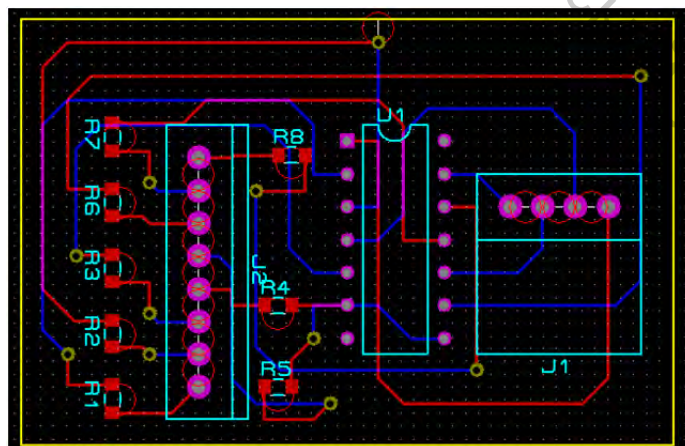



Рисунок 26 – Результат автоматической трассировки соединений

Для ручного проектирования дорожек соединений выберите значок «» **Проводник** (Trace) и кликните левой кнопкой на выходы 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 конфигурация 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".

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).

Результатом выполнения работы является проект ПП, который можно передать в производство для изготовления проектируемого модуля или ПП устройства. При формировании отчета следует привести следующие виды:

- ПП с отверстиями;
- ПП с расстановкой элементов;
- рисунок ПП сверху (верхний слой дорожек);
- рисунок ПП снизу (нижний слой дорожек).

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. Стешенко, В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат / В. Б. Стешенко. – СПб. : БХВ – Петербург, 2005. – 720 с.
2. Гафуров, Х. Л. Системы автоматизированного проектирования : учеб. пособие / Х. Л. Гафуров [и др.]. – СПб. : Судостроение, 2000. – 320 с.
3. Панченко, А. А. Условные графические обозначения в электрических схемах / А. А. Панченко. – Хабаровск : ДВГУПС, 2000.
4. Николаев, С. В. Основы САПР измерительных систем : текст лекций / С. В. Николаев. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 128 с.
5. Каганов, В. И. Радиоэлектронные системы автоматического управления. Компьютеризированный курс : учебное пособие / В. И. Каганов. – М. : Телеком, 2009. – 432 с.

Учебное издание

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Составители:

Науменко Андрей Михайлович

Чернов Егор Анатольевич

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *А.М. Науменко*

Подписано к печати 13.12.2018. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 2,4.

Уч.-изд. листов 2,6. Тираж 30 экз. Заказ № 366.

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.