

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ,  
ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
(ГБПОУ РО «РКРИПТ»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) РАБОТ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ПМ.03 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И  
УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА**

**Специальность:**

11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт  
электронных приборов и устройств

**Квалификация выпускника:**


Специалист по электронным приборам и устройствам

**Форма обучения:** очная

Ростов-на-Дону  
2023

СОГЛАСОВАНО


Начальник методического отдела

 Н.В. Вострякова  
«28» марта 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебно-методической работе

 С.А. Будасова  
«28» марта 2023 г.

ОДОБРЕНО

Цикловыми комиссиями радиоэлектроники

и технического обслуживания

радиоэлектронной техники

Пр. № 8 от «1» февраля 2023 г.

Председатель ЦК

 В.Ю. Махно

Методические указания по выполнению практических (лабораторных) работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ПМ.03 Проектирование электронных приборов и устройств на основе печатного монтажа для специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

**Разработчик(и):**

**Чернова О.А.** – преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

**Калиенко И.В.** – к.т.н., преподаватель ГБПОУ РО «РКРИПТ»

**Рецензенты:**

**Колпакова Т.И.** – преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

**Маскаев Е.Н.** – главный конструктор АО «Алмаз»

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Практическая работа	7
2. Практическая работа	17
3. Практическая работа	27
4. Практическая работа	31
5. Практическая работа	35
6. Практическая работа	42
7. Практическая работа	46
8. Практическая работа	52
9. Практическая работа	56
10. Практическая работа	65
11. Практическая работа	70
12. Практическая работа	105
13. Практическая работа	115
14. Практическая работа	122
15. Практическая работа	127
16. Практическая работа	137
17. Практическая работа	152
18. Практическая работа	172
19. Практическая работа	186
20. Практическая работа	200
21. Практическая работа	210
22. Практическая работа	218
23. Практическая работа	220
24. Практическая работа	223
25. Практическая работа	226
26. Практическая работа	235
27. Практическая работа	240

## Введение<sup>1</sup>

Практические занятия по профессиональному модулю ПМ.03 «Проектирование электронных приборов и устройств на основе печатного монтажа» составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта.

Лабораторные и практические занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных и практических работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений (аналитических, проектировочных, конструкторских и др.) у будущих специалистов;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных (решать задачи по математике, физике, химии, информатике и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Содержанием лабораторных работ по дисциплине /профессиональному модулю являются экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения,

---

<sup>1</sup> Информация во введении обобщенная и может быть откорректирована преподавателем

самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Содержанием практических занятий по дисциплине /профессиональному модулю являются решение разного рода задач, в том числе профессиональных (анализ производственных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, выполнение профессиональных функций в деловых играх и т.п.), выполнение вычислений, расчетов, чертежей, работа с измерительными приборами, оборудованием, аппаратурой, работа с нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками, составление проектной, плановой и другой технической и специальной документации и другое.

Содержание практических, лабораторных занятий охватывают весь круг профессиональных умений, на подготовку к которым ориентирована данная дисциплина/профессиональный модуль, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, практикой по профилю специальности и преддипломной практикой.

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или специально оборудованных помещениях (площадках). Продолжительность занятия – не менее 2-х академических часов. Необходимыми структурными элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения работы.

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Выполнению лабораторных и практических работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные и практические работы студенты выполняют под руководством преподавателя. При проведении лабораторных и практических занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек. Объем заданий для лабораторных и практических занятий спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством студентов.

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах и практических занятиях: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу. При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Отчет по практической и лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической, лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада обучающегося-

ся по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Оценки за выполнение лабораторных работ и практических занятий могут выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости студентов.

#### **Критерии оценки лабораторных, практических работ.**

**Оценка «5»** ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасности труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей.

**Оценка «4»** ставится, если выполнены требования к оценке «5», но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.

**Оценка «3»** ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, позволяет получить правильные результаты и выводы: если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки.

**Оценка «2»** ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

## Практическое занятие № 1

### Изучение системы обозначения резисторов

#### 1 Цель работы:

1. Научиться читать маркировку резисторов, определять тип резисторов

2. **Время выполнения работы – 2 часа**

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

1. Персональный компьютер
2. Программа Multisim 11
3. Образцы радиокомпонентов

#### 4. Краткие теоретические сведения

##### 4.1. Классификация резисторов

Резисторы являются самыми массовыми изделиями радиоэлектронной техники. Количество типоразмеров их составляет несколько тысяч, а количество типономиналов – несколько десятков миллионов.

Каждое новое направление в технике требует иных конструкторских решений и более высокие показатели комплектующих изделий. Например, для микроэлектроники нужны элементы, сопрягаемые с корпусами микросхем; для автоматизированной сборки и монтажа РЭА необходимы изделия, удобные для захвата роботами и ориентирования их по месту установки. Поэтому наряду со «старыми» традиционными типами резисторов появляются новые, число которых непрерывно растет.

Применяемые в РА резисторы подразделяется на постоянные и переменные. Переменными называются резисторы, сопротивление которых можно плавно менять в процессе эксплуатации или регулировки аппаратуры, т.е. в случаях, когда необходимо изменять параметры изделия или компенсировать в процессе регулировок погрешности параметров других элементов схемы. Во всех остальных случаях используются постоянные резисторы.

##### 4.2. Система обозначений резисторов

По ГОСТ 11074-78 сокращенные обозначения резисторов производятся следующим образом. Начинается обозначение с буквы или сочетания букв:

**Р** – для постоянных резисторов;

**РП** – для переменных резисторов;

**НП** – для набора резисторов.

Второй элемент обозначения – цифры.

**1** – для непроволочных резисторов;

**2** – для проволочных резисторов или металлофольговых.

Третий элемент обозначения - номер конструктивной разработки (ре-

гистрационный номер), который ставится через дефис.

Например, по существующей в настоящее время системе сокращенных обозначений резисторов обозначение R2-37 означает: резистор постоянный проволочный с номером конструктивной разработки (регистрационным номером) 37, а обозначение РП1-30 – соответственно: резистор переменный, непроволочный с номером конструктивной разработки 30.

Полное условное обозначение резисторов состоит из сокращенного обозначения, варианта конструктивного исполнения (имеющего буквенное обозначение), значений основных параметров, функциональных характеристик и обозначения на поставку (ГОСТа и ТУ).

Параметры и функциональные характеристики, указываются в следующей последовательности.

Для резисторов постоянных:

- номинальная мощность рассеивания;
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения;
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- группа по уровню шумов для непроволочных резисторов;
- группа по ТКС;
- группа климатического исполнения.

Группы обозначаются строчными буквами русского алфавита. Например, климатического исполнения обозначаются: В – всеклиматическое и Т – тропическое.

Для резисторов переменных:

- номинальная мощность рассеяния;
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм);
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- функциональная характеристика;
- обозначение конца вала и длины выступающей части вала.

Обозначение конца вала:

- ВС-1 – сплошной гладкий;
- ВС-2 – сплошной со шлицом;
- ВС-3 – сплошной с лыской;
- ВС-4 – сплошной с двумя лысками;
- ВП-1 – полый гладкий;
- ВП-2 – полый с лыской.

**Номинальная мощность рассеяния ( $P_n$ )** – номинальная мощность, которую может рассеять резистор во время работы, сохраняя остальные параметры.  $P_n$  может быть от 0,01 до 500 Вт.

**Номинальное сопротивление ( $R_n$ )** – это электрическое сопротивление, которое может быть от долей Ома до ГОм.

Допустимое отклонение сопротивления (допуск) – максимально допустимая разница между действительным и номинальным значениями сопро-



тивления, выраженное в %, может быть от  $\pm 0,001\%$  до  $\pm 30\%$ .

**Группа по уровню шумов** – оценивает собственные шумы на 1В приложенного напряжения. Подразделяется на 2-группы: группа «А» - с уровнем шумов до 25 мкВ/В; группа «Б» - до 45 мкВ/В. Собственные шумы складываются из токовых и теплых шумов и повышаются с повышением напряжения и температур.

**Токовые шумы** возникают из-за непостоянства переходимых контактных сопротивлений между проводящими частями композиционного материала и неоднородностями, трещинами резистивного непроволочного элемента.

**Тепловые шумы** возникают из-за непостоянства объемной концентрации свободных электронов при изменении температуры материала.

Группа по уровню шумов указывается только у непроволочных резисторов.

Группа по ТКС (ТКР) – характеризует относительное изменение сопротивления резисторов при изменении его температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

$$\text{ТКС} = \frac{\Delta R}{R_0} \cdot \frac{1}{\Delta t},$$

где  $\Delta R$  - изменение сопротивления резистора при изменении его температуры на  $\Delta t$ ;

$R_0$  - начальное сопротивление.

ТКС может быть в пределах  $+ (10 \dots 2000) 10^{-6} \text{C}^{-1}$ .

Функциональная характеристика переменного резистора выражается зависимостью действительного значения его сопротивления  $R$  от угла поворота вала  $\alpha$ . Резисторы с функциональной характеристикой группы А имеют линейную зависимость  $R$  от  $\alpha$ , а для группы Б, В, И она нелинейна.

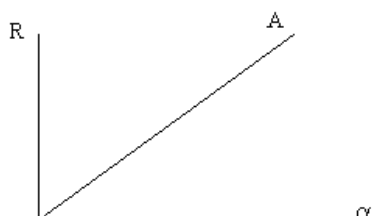
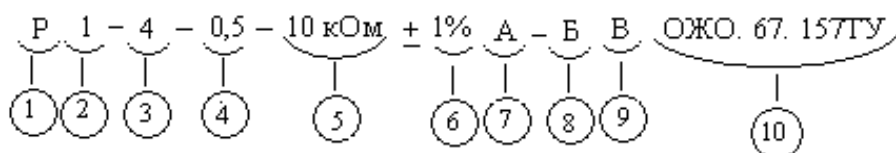


Рисунок 1. График функциональной характеристики группы А

Пример полного обозначения постоянного резистора:



- 1- резистор постоянный
- 2- непроволочный
- 3- регистрационный номер или конструктивное исполнение
- 4- номинальная мощность рассеяния
- 5- номинальное значение сопротивления с размерностью

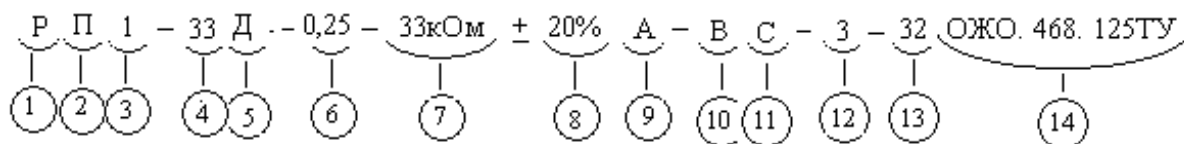
6- допустимое отклонение сопротивления от его номинального значения

7- группа по уровню шумов

8- группа ТКС

9- группа климатического исполнения

10- номер технических условий или условия поставки



Пример полного обозначения переменного резистора

1- резистор

2- переменный

3- непроволочный

4- регистрационный номер или конструктивное исполнение

5- вариант конструкторского исполнения

6- номинальная мощность рассеяния

7- номинальное значение сопротивления с размерностью

8- допустимое отклонение сопротивления от его номинального значения

9- функциональная характеристика

10- вал

11- сплошной

12- с лыской

13- длина выступа части вала в мм

14- номер технических условий или условия поставки

Кроме полного буквенно-цифрового обозначения номиналов сопротивлений и допусков на них введены буквенные кодированные обозначения этих параметров и цветное кодирование постоянных резисторах. Кодированное буквенное обозначение номиналов сопротивлений состоит из 2-3 цифр и буквенного кода (русскими или латинскими буквами), обозначающими множитель [E(R) - 1; K -  $10^3$ ; M -  $10^6$ ; Г(G) -  $10^9$ ; Т -  $10^{12}$ ].

Таблица 1. Кодирование буквенное (русское или латинское) обозначение допусков

Кодированное обозначение	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф
	В	С	Д	Е	Г	Ж	К	М	Н
Допуск, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 30$

Например, резистор 2,2 Мом с допуском  $\pm 10\%$  будет иметь обозначение 2М2С или 2М2К, а резистор 150 кОМ с допуском  $\pm 20\%$  будет обозначаться 150 КВ, 150 КМ, М15В или М15М.

Цветная маркировка постоянных резисторов по ГОСТ 17598-73 выполняется в виде 4-5 полос или кругов, сдвинутых к левому торцу резистора.

Таблица 2. Цвета знаков маркировки номинальных значений сопротивлений и допусков

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск
	1 цифра	2 цифра	3 цифра	Множитель	%
Серебристый	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Золотистый	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	$\pm 1$
Красный	2	2	2	$10^2$	$\pm 2$
Оранжевый	3	3	3	$10^3$	-
Желтый	4	4	4	$10^4$	-
Зеленый	5	5	5	$10^5$	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$
Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск
	1 цифра	2 цифра	3 цифра	Множитель	%
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	-

Цветная маркировка резистора сопротивлением 47 кОм с допуском  $\pm 5\%$  показана на рисунке 2.

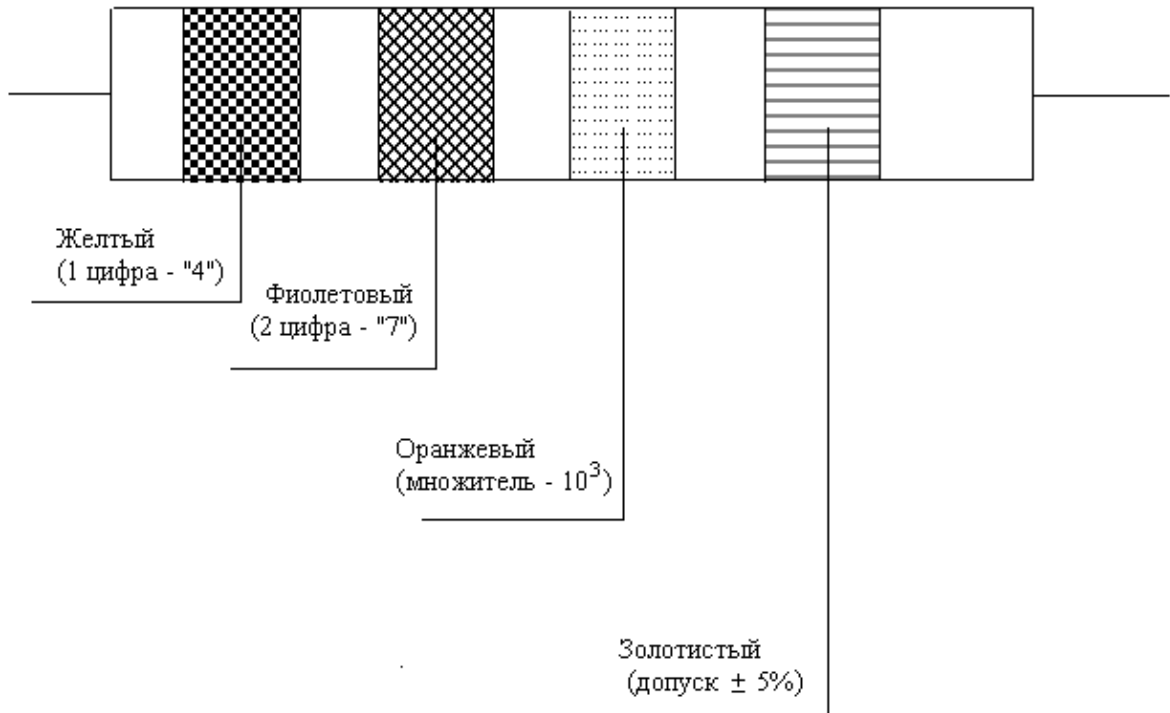


Рисунок 2. Пример цветной маркировки резистора

В конструкторской документации (с схемах электрических принципиальных) условное графическое обозначение резисторов выполняется в соответствии с ГОСТ 2.728-68, а их размеры в соответствии с ГОСТ 2.748-68 следующим образом:

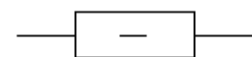
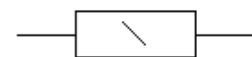
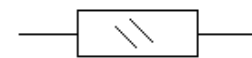
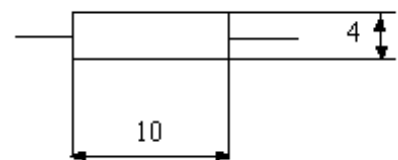
резистор постоянный  
(общее обозначение)

с номинальной мощностью  
рассеяния:

0,125 Вт

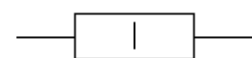
0,25 Вт

0,5 Вт



Мощность рассеяния от 1 Вт и выше обозначается римскими цифрами.

1 Вт

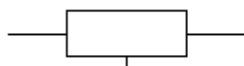


2 Вт

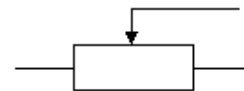


3 Вт

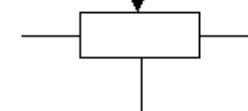
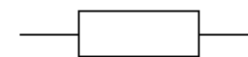
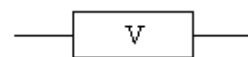
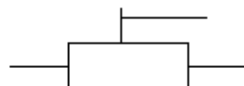
резистор постоянный  
с отводами



резистор переменный  
(общее обозначение)



резистор подстроечный



Выпускаемые промышленностью постоянные резисторы имеют номинальные сопротивления, соответствующие шести рядам чисел по ГОСТ 2825-67 E6; E12, E24; E48; E96; E192, а переменные в соответствии с ГОСТ 10318-80 ряду E6.

Цифра каждого ряда указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале. В ряду E6, например номинальные сопротивления в каждой декаде должны соответствовать числам 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; или числам, полученным умножением или делением этих чисел на  $10^n$ , где  $n$  - целое число.

Постоянные резисторы выпускают от долей Ома до единицы ГОм, переменные проволочные от 0,47 Ом до 1МОм, переменные непроволочные от 1Ом до 10 МОм.

Кроме этих резисторов выпускаются и резисторы специального назначения, сопротивления которых изменяются в зависимости от приложенного напряжения (варисторы), температуры (терморезисторы), освещенности (фоторезисторы), или мощности (термисторы). Эта группа резисторов по эксплуатационным параметрам и их диапазонам не может быть охарактеризована в общем и требует специального их рассмотрения.

Маркировка зарубежных резисторов соответствует отечественным.

#### 4.3. Особенности монтажа

Поверхностный монтаж благодаря своим достоинствам широко применяется в современной электронике. По электрическим характеристикам электронные компоненты для поверхностного монтажа - ПМ в большинстве случаев соответствуют своим аналогам обычного исполнения, отличаясь только конструкцией выводов. При выборе вида монтажа следует учитывать, что малые размеры ПМ-деталей и соответственно малые зазоры между контактными площадками для них на плате ограничивают допустимое рабочее напряжение устройства. Поэтому те узлы, которые работают при большом напряжении, лучше выполнять обычным монтажом.

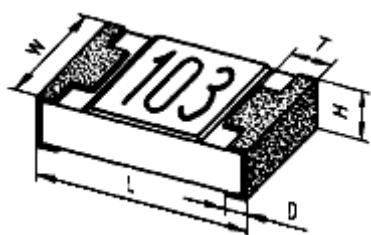
Миниатюрность многих ПМ-деталей вызывает вполне понятные проблемы с их маркировкой. Для этого существуют специальные стандарты, но

поскольку они носят лишь рекомендательный характер, многие фирмы применяют свои собственные системы обозначений или вообще не маркируют изделия.

Для особо мелких деталей, например, резисторов, отсутствие маркировки узаконено. Не принято наносить обозначения номиналов и на керамические конденсаторы малой емкости (хотя и для них есть стандарты). Все это приводит к осложнениям при ремонте импортной аппаратуры.

Небольшие размеры ПМ-компонентов требуют гораздо большей внимательности и аккуратности при монтаже, нежели обычные. Паяльник должен быть обязательно снабжен регулятором температуры. Из-за перегрева детали у нее может нарушиться контакт с выводами, а поскольку заметить это трудно, поиск неисправности оказывается весьма трудоемким.

Внешний вид постоянного ПМ-резистора показан на рис.3



#### 4.4. Особенности маркировки резисторов поверхностного монтажа

Обозначение типоразмера состоит из четырех цифр в табл. 3. Две первые соответствуют округленно длине L в принятой системе измерения либо метрической, либо дюймовой, а две последние - ширине W. Наибольший интерес для радиолюбителей представляют типоразмеры 0805 и 1206.

Таблица 3.

Типоразмер		Размеры и допуски, мм - рис. 1				
Дюймовый	Метрический	L	W	H	D	T
0402	1005	1 + 0,1	0,5 ± 0,05	0,35 ± 0,05	0,25 ± 0,1	0,2 ± 0,1
0603	1608	1,6 ± 0,1	0,85 ± 0,1	0,45 ± 0,05	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,2
0805	2012	2,1 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,5 ± 0,5	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2
1206	3216	3,1 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,55 ± 0,05	0,5 ± 0,25	0,5 ± 0,25
1210	3225	3,1 ± 0,1	2,6 ± 0,1	0,55 ± 0,05	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,25
2010	5025	5 ± 0,1	2,5 ± 0,1	0,55 ± 0,05	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,1

				0,05		0,25
2512	6332	6,35 ± 0,1	3,2 ± 0,1	0,55 ± 0,05	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,25

Ряд фирм применяет "личные" обозначения типоразмера резисторов. С некоторыми из них знакомит табл. 4. Для обозначения номинала сопротивления обычно используют широко распространенную цифровую маркировку, в которой первые цифры — значение, а последняя служит множителем или показателем степени числа 10.

Резисторы с допусками ±20, ±10 и ±5 % маркируют тремя цифрами, а с допуском ±1 % и более точные — четырьмя. Для резисторов сопротивлением менее 10 Ом с допуском ±5 % и более достаточно двух цифр, причем между ними ставят букву R; если допуск резистора ±1 % и менее, то необходимы три цифры и букву R помещают перед последней из них.

Таблица 4.

Типоразмер дюймовый	Обозначение типоразмеров резисторов, производимых различными фирмами							
	AV K	BECK MAN	NEO HM	PANASO NIC	PHIL PS	ROH M	SAMS UNG	WELWY H
0603	CR 0	BCR1/1 6	CRG0 603	ERJ3	-	MC 03	RC160 8	WCR0603
0805	CR 1	BCR1/1 0	CRG0 805	ERJ6	RC11 12	MC 10	RC201 2	WCR0805
1206	CR 2	BCR1/8	CRG1 206	ERJ8	RC01 02	MC 18	RC321 6	WCR1206

**4.5 Примеры маркировки: 472 = 47-102 Ом = 4700 Ом = 4,7 кОм; 105=10-105Ом = 1 000 000Ом = 1МОм; 3482 = 348-102 = 34800 Ом = 34,8 кОм; 8R2 = 8,2 Ом.** Для резисторов сопротивлением 10 Ом и более удобно пользоваться простым правилом: к значащим цифрам надо приписать число нулей, равное последней цифре.

Резисторы типоразмера 0603 (1608) с допуском ±1 % и менее имеют кодовую маркировку из двух цифр и буквы, указанную в табл.5. По цифровому коду обозначения определяют значащие цифры номинала, а по буквенному (последние два столбца) — множитель.

Таблица 5.

Код	Значение	Код	Значение	Код	Значение	Код	Значение	Код	Значение	Код	Значение
01	100	21	162	41	261	61	422	81	681	S	10 <sup>-2</sup>
02	102	22	165	42	267	62	432	82	498715	R	10 <sup>-1</sup>

03	105	23	169	43	274	63	442	83	732	A	10 <sup>0</sup>
04	107	24	174	44	280	64	453	84	750	B	10 <sup>+1</sup>
05	110	25	178	45	287	65	464	85	768	C	10 <sup>+2</sup>
06	113	26	182	46	294	66	475	86	787	D	10 <sup>+3</sup>
07	115	27	187	47	301	67	487	87	806	E	10 <sup>+4</sup>
08	118	28	191	48	309	68	499	89	825	F	10 <sup>+5</sup>
09	121	29	196	49	316	69	511	90	845		
10	124	30	200	50	324	70	523	91	866		
11	127	31	205	51	332	71	536	92	887		
12	130	32	210	52	340	72	549	93	909		
13	133	33	215	53	348	73	562	94	931		
14	137	34	221	54	357	74	567	95	953		
15	140	35	226	55	365	75	590	96	976		
16	143	36	232	56	374	76	604				
17	147	37	237	57	383	77	619				
18	150	38	243	58	392	78	634				
19	154	39	249	59	402	79	649				
20	158	40	255	60	412	80	665				

Пример: **53C = 348-102Ом = 34,8 кОм**. Кроме резисторов, выпускают несколько типоразмеров перемычек - замыкателей, которые можно рассматривать как резисторы нулевого сопротивления.

Такие перемычки при поверхностном монтаже более удобны, чем применяемые в обычном проволочные. Наиболее распространенные типоразмеры перемычек — 0805 (2012) и 1206 (3216). Маркируют перемычки всегда одинаково - **000**.

### 5. Задание:

- 5.1. Научиться определять тип резисторов
- 5.2. Научиться читать маркировку резисторов, определять тип резисторов
- 5.3. Научится измерять номинальное сопротивление и мощность резистора прибором

### 6. Порядок выполнения работы:

- 6.1 По внешнему виду определить тип резисторов
- 6.1 Записать номинальное значение сопротивления
- 6.2 Выбрать тип резистора по справочнику
- 6.3 Выписать параметры резистора из справочника
- 6.4 Написать полное обозначение резистора с соответствующими пояснениями



6.5 Написать буквенно-цифровое обозначение номинала и допуска постоянного резистора

6.6 Сделать цветную маркировку номинального сопротивления и допуска резистора

6.7. Подключить резистор к прибору

6.7. Измерить номинальное сопротивление и мощность резистора

6.8. Сравнить измеренные значения и справочные

### **7. Контрольные вопросы:**

6.1 Классификация резисторов

6.2 Назовите основные параметры резисторов и охарактеризуйте их

6.3 Конструктивные особенности резисторов

6.4 Особенности применения резисторов различного типа

### **8. Содержание отчета:**

8.1 Наименование работы.

8.2 Цель работы.

8.3 Перечень используемого оборудования.

8.4 Информация о проделанной работе.

8.5 Выводы по каждому пункту порядка выполнения работы.

### **9. Литература и средства обучения:**

9.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023

9.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.

9.3. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с.

## **Практическое занятие № 28**

### **Изучение системы обозначения конденсаторов**

#### **1 Цель работы:**

Научиться читать маркировку конденсаторов, определять тип конденсаторов.

#### **2. Время выполнения работы –2 часа**

### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

3.1 Резисторы, конденсаторы.

3.2 Справочники по резисторам, конденсаторам.

3.3 Измерители иммитанса.

3.4 Методические указания к практическому занятию.

### 4. Краткие теоретические сведения

**4.1.** Конденсатор – это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенный для использования его емкости.

По применяемости конденсаторы подразделяются на постоянные, переменные и подстрочные, емкость которых соответственно не изменяется при эксплуатации, плавно изменяется в процессе эксплуатации аппаратуры и изменяется только в процессе регулировки.

По виду диэлектрика все конденсаторы подразделяются на группы с органическим, неорганическим, газообразным, оксидным диэлектриком. Такое разделение в зависимости от материала диэлектрики положено в основу обозначения конденсаторов. Обозначения основных групп конденсаторов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Подкласс конденсаторов	Группа конденсаторов	Обозначение группы
Конденсаторы постоянной емкости	Керамические на $U_n < 1600\text{В}$	10
	Керамические на $U_n \geq 1600\text{В}$	15
	Кварцевые	20
	Стеклянные	21
	Стеклокерамические	22
	Стеклоэмалевые	23
	Слюдяные малой мощности	31
	Слюдяные большой мощности	32
	Бумажные на $U_n < 2\text{ кВ}$ фольговые	40
	Бумажные на $U_n \geq 2\text{ кВ}$ фольговые	41
	Бумажные металлизированные	42
	Электролитические фольговые алюминиевые	50
	Электролитические фольговые танталовые, ниобиевые и др.	51
	Электролитические объемнопористые	52
	Оксидно-полупроводниковые	53
	С воздушным диэлектриком	60
	Вакуумные	61
	Полистирольные	71
Фторопластовые	72	
	75	
	76	

	Комбинированные Лакопленочные	
Подстроечные и переменные конденсаторы	Вакуумные С воздушным диэлектриком С газообразным диэлектриком С твердым диэлектриком	1 2 3 4

**Конденсаторы с органическим диэлектриком** изготавливают намоткой тонких длинных лент конденсаторной бумаги, пленок с металлизированным или фольговым электродами.

**Конденсаторы с неорганическим диэлектриком** изготавливают из керамики, стекла, стеклокерамики, стеклоэмали, слюды с обкладками в виде металлизации или тонкой фольги.

**Конденсаторы с оксидным диэлектриком** (электролитические) выполняют в виде анода из алюминия, тантала или ниобия с тонким оксидным слоем и катодом, которым служит жидкий электролит, пропитывающий бумажную или тканевую прокладку (в алюминиевых и танталовых конденсаторах) и полупроводник – двуокись марганца (в оксиднополупроводниковых конденсаторах).

Электролитические конденсаторы общего назначения имеют униполярную (одностороннюю) проводимость с подключением анода к положительному потенциалу.

Неполярные конденсаторы с оксидным диэлектриком специального назначения могут включаться как в цепи постоянного тока, так и в цепи пульсирующего тока без учета полярности, а также допускать смену полярности при эксплуатации. К таким конденсаторам относятся высокочастотные, импульсные, пусковые и помехоподавляющие.

Высокочастотные конденсаторы (алюминиевые жидкостные и танталовые оксиднополупроводниковые) применяются в источниках вторичного питания, в цепях развязок и переходных цепях полупроводниковых устройств в диапазоне частот пульсирующего тока от десятков герц до сотен килогерц.

Импульсные конденсаторы (оксидно-электролитические алюминиевые) используются в цепях с относительно длительным зарядом и быстрым разрядом.

Пусковые конденсаторы (оксидно-электролитические алюминиевые) используются в асинхронных двигателях в момент из запуска для повышения пускового момента. Эти конденсаторы имеют емкость порядка десятков и сотен микрофард и рабочее напряжение до 400...600 В.

Помехоподавляющие конденсаторы (оксидно-полупроводниковые танталовые) выполняют в виде проходных конденсаторов, работающих как фильтры нижних частот.

**Конденсаторы с газообразным диэлектриком** могут быть постоянными и переменными. В качестве диэлектрика в них используются воздух, вакуум и сжатый газ (азот, фреон, элегаз). Эти конденсаторы имеют малые потери ( $\text{tg}\delta = 10^{-5}$ ) и высокую стабильность электрических параметров. Используются в передающих устройствах ДВ, СВ и КВ диапазонов на частотах 80 МГц в качестве контурных, блокировочных, разделительных и фильтровых конденсаторов, а также в качестве накопительных в импульсных искусственных линиях формирования и в мощных высоковольтных высокочастотных установках.

**3.2. Условное обозначение конденсаторов** в технической документации может быть сокращенным и полным.

**Сокращенное** условное обозначение состоит из букв и цифр.

**Первый элемент** – буква или сочетание букв, обозначающие подкласс конденсатора:

К – постоянной емкости;

КТ – подстроечный (полупеременный, триммер);

КП – переменной емкости.

**Второй элемент** – обозначение группы конденсатора в зависимости от материала диэлектрика по таблице 1.

**Третий элемент** – цифра или цифры, обозначающие регистрационный номер конденсатора, проставляемые через дефис.

Полное условное обозначение конденсаторов состоит из сокращенного обозначения, обозначения и величины основных параметров и характеристик, обозначения документа на поставку.

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение, указываются в следующей последовательности:

- обозначение конструктивного варианта или конструктивного исполнения. При указании обоих второе обозначение записывается после указания номинального напряжения;

- номинальное напряжение;

- номинальная емкость;

- допускаемое отклонение емкости (допуск);

- группа по температурной стабильности емкости;

- другие необходимые дополнительные характеристики.

Конструктивный вариант конденсатора обозначается строчными буквами.

Конструктивное (климатическое) исполнение обозначается прописными буквами:

В – всеклиматическое;

Т – тропическое.

**Номинальное напряжение** устанавливается в соответствии с

ГОСТ9665-77 из ряда

1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 350; 400; 450; 500; 630; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000;

6300; 8000; 1000 В.

**Номинальная емкость** выбирается по стандарту СЭВ 1076-78 из семи рядов Е3; Е6; Е12; Е24; Е48; Е96; Е192. Цифра каждого ряда указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале. В ряду Е6, например, содержится шесть значений номинальных емкостей в каждой декаде, которые соответствуют числам 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем умножения или деления на  $10^n$ , где  $n$  – целое число.

Допустимое отклонение емкости (допуск) указывается в процентах и выбирается из ряда:

$\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1$ ;  $\pm 2$ ;  $\pm 5$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $\pm 30$ ;  $0$ ;  $+ 50$ ;  $-10 + 30$ ;  $-10 + 50$ ;

$-10 + 100$ ;  $-20 + 50$ ;  $-20 + 80$ .

Для конденсаторов с номинальными емкостями ниже 10 пФ допустимые отклонения указывают в абсолютных значениях:  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1$ нФ.

Группа по температурной стабильности емкости (температурному коэффициенту емкости – ТКЕ) имеет буквенно-цифровое обозначение. Буквенные обозначения знака ТКЕ:

П – плюс;

М – минус;

МПО – ноль;

Н – нелинейный (нестабильный) закон изменения ТКЕ.

При буквенном обозначении П, М и МПО цифры обозначают множитель значения ТКЕ к  $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ .

При буквенном обозначении Н цифры указывают отклонения емкости в процентах.

У слюдяных конденсаторов группы ТКЕ обозначаются:

А – с ненормированным значением ТКЕ;

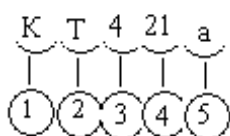
Б – множитель ТКЕ  $\pm 200\%$ ;

В – множитель ТКЕ  $\pm 100\%$ ;

Г – множитель ТКЕ  $\pm 50\%$ .

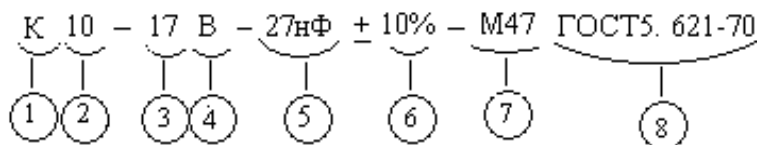
Таким образом, сокращенное условное обозначение конденсаторов будет следующим:

К 10-17 В – конденсатор постоянной емкости, керамический на номинальное напряжение меньше 1600 В с регистрационным номером 17, всеклиматического конструктивного исполнения.



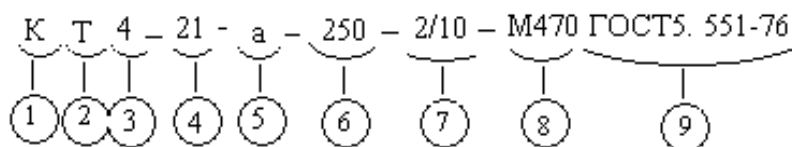
- 1- конденсатор;
- 2- подстроичный (триммер);
- 3- твердый диэлектрик;
- 4- регистрационный номер;
- 5- конструктивный вариант.

Эти конденсаторы будут иметь следующие полные обозначения:



- 1- конденсатор постоянной емкости;
- 2- керамический на номинальное напряжение менее 1600 В;
- 3- конструктивное исполнение или регистрационный номер;
- 4- вариант конструктивного исполнения (всеклиматическое);
- 5- номинальная емкость с размерностью;
- 6- допустимое отклонение номинальной емкости;
- 7- группа ТКЕ, т.е  $\text{ТКЕ} = -47 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- 8- условия поставки по ГОСТ 5.621-70.

Так как у этого типа конденсатора номинальное напряжение оговорено в обозначении его группы то отдельно оно не обозначается.



- 1- конденсатор;
- 2- подстроичный (триммер);
- 3- твердый диэлектрик;
- 4- конструктивное исполнение или регистрационный номер;
- 5- конструктивный вариант;
- 6- номинальное напряжение;
- 7- диапазон номинальной емкости (от 2 до 10) пФ;
- 8- группа ТКЕ, т.е  $\text{ТКЕ} = -470 \cdot 10^{-e} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- 9- условия поставки по ГОСТ 5.551-76.

Кроме полного буквенно-цифрового обозначения для малогабаритных конденсаторов постоянной емкости введено кодированное буквенно-цифровое или цветное обозначение. Кодированное буквенно-цифровое обозначение номиналов емкостей состоит из 2-3 цифр и буквы. Буква кода из русского (или латинского) алфавита, обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака:

Ф(Ф) – 1 фарада; И(и) –  $10^{-3}$ ; М(м) –  $10^{-6}$ ; Н(н) –  $10^{-9}$ ; П(п) –  $10^{-12}$ . Кодированное обозначение допусков приведено в таблице 2.

Таблица 2

Буквенное обозначение	В	С	Д	Ф	Ж	И	К	М	Н	А	Г	Т	Ю	Б	Э
	B	C	D	F	G	I	K	M	N	A	Q	T	Y	S	Z
Допуск %	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$ ( $\pm 0,2$ )	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 30$	0 +50 (0+80)	-10 +30	-10 +50	-20 +100	-20 +50	-20 +100

3. Кодированное обозначение рабочего напряжения приведено в таблице

Таблица 3

Буквенное обозначение	I	R	M	A	C	B	D	E	F	G	H	S	J	K
Рабочее напряжение, В	1	1,6	2,5	3,2	4	6,3	10	16	20	25	32	40	50	63
Буквенное обозначение	L	N	P	Q	Z	W	X	T	Y	U	V			
Рабочее напряжение, В	80	100	125	160	200	250	315	350	400	450	500			

Кодированное обозначение ТКЕ у керамических конденсаторов выполняется в соответствии с таблицей 4. Таблица 4

Буквенное обозначение	-	A	G	N	C	H	M	L	P	R	S	T
Группа ТКЕ	П210	П100	П60	П33	МП0	М33	М47	М75	М150	М220	М330	М470
Группа ТКЕ	М750	М1500	М2200	М3300	Н10	Н20	Н30	Н50	Н70	Н90		

Таким образом кодированная маркировка малогабаритных постоянных конденсаторов выполняется в 3 строки. В первой строке обозначается группа ТКЕ, во второй – величина емкости, в третьей – допуск и рабочее напряжение.

Например: конденсатор емкостью 4700 пФ на рабочее напряжение 25В, группы ТКЕ М150 будет иметь обозначения, показанные на рисунке 1.

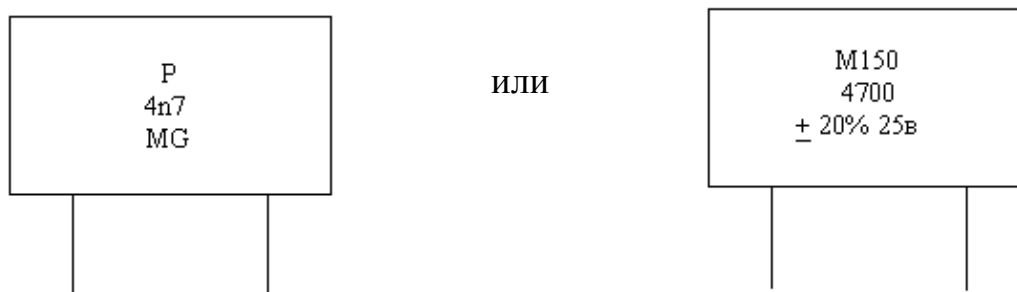


Рисунок 1

Цветная маркировка постоянных малогабаритных конденсаторов выполняется в виде колец или точек в соответствии с таблицей 5. Маркировочные знаки сдвинуты к левому выводу, располагаются слева направо, последний знак, обозначающий величину ТКЕ в %, имеет вдвое большую ширину.

Таблица 5

Цвет маркировки	Номинальная емкость	Множитель	Допуск, %	ТКЕ, %
	Первая, вторая, третья полосы	Четвертая полоса	Пятая полоса	Шестая полоса
Серебристый	-	$10^{-2}$	$\pm 10$	-
Золотистый	-	$10^{-1}$	$\pm 5$	-
Черный	0	1	-	$\pm 250$
Коричневый	1	10	$\pm 1$	$\pm 100$
Красный	2	$10^2$	$\pm 2$	$\pm 50$
Оранжевый	3	$10^3$	-	$\pm 15$
Желтый	4	$10^4$	-	$\pm 25$
Зеленый	5	$10^5$	$\pm 0,5$	$\pm 20$
Синий	6	$10^6$	$\pm 0,25$	$\pm 10$
Фиолетовый	7	$10^7$	$\pm 0,1$	$\pm 5$
Серый	8	$10^8$	-	$\pm 1$
Белый	9	$10^9$	-	-
Нет цвета	-	-	$\pm 20$	-

Пример цветной маркировки конденсатора емкостью 4700 пФ  $\pm 2\%$  с ТКЕ  $\pm 50\%$  приведен на рисунке 2.



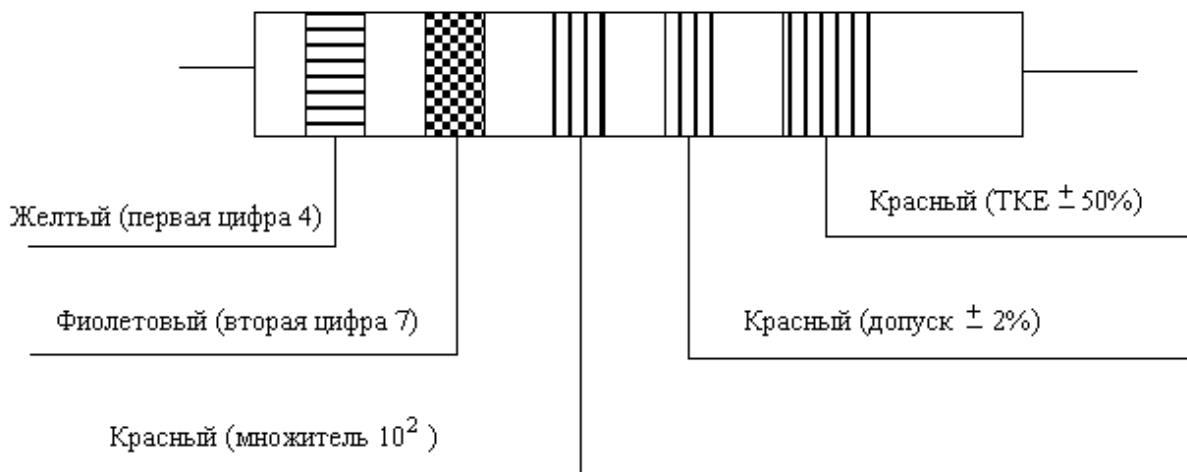
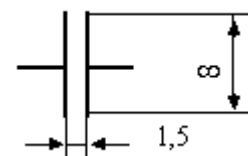


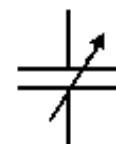
Рисунок 2

Условно-графическое обозначение конденсаторов в конструкторской документации (в схемах электрических принципиальных) выполняется в соответствии с ГОСТ 2.728

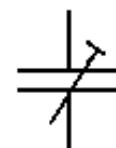
конденсатор постоянный



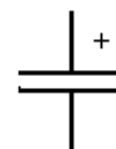
конденсатор переменный



конденсатор подстроечный



конденсатор полярный



### 3.3. Маркировка SMD-конденсаторов

#### 3.3.1. Маркировка тремя цифрами.

В этом случае первые две цифры определяют мантиссу, а последняя - показатель степени по основанию 10, для получения номинала в пикофарадах. Последняя цифра "9" обозначает показатель степени "-1". Если первая цифра "0", то емкость менее 1пФ (010 = 1.0пФ).

код	Пикофарады, пФ, pF	нанофарады, нФ, nF	микрофарады, мкФ, mF
-----	-----------------------	-----------------------	-------------------------

109	1.0 пФ		
159	1.5 пФ		
229	2.2 пФ		
339	3.3 пФ		
479	4.7 пФ		
689	6.8 пФ		
100	10 пФ	0.01 нФ	
150	15 пФ	0.015 нФ	
220	22 пФ	0.022 нФ	
330	33 пФ	0.033 нФ	
470	47 пФ	0.047 нФ	
680	68 пФ	0.068 нФ	
101	100 пФ	0.1 нФ	
151	150 пФ	0.15 нФ	
221	220 пФ	0.22 нФ	
331	330 пФ	0.33 нФ	
471	470 пФ	0.47 нФ	
681	680 пФ	0.68 нФ	
102	1000 пФ	1 нФ	
152	1500 пФ	1.5 нФ	
222	2200 пФ	2.2 нФ	
332	3300 пФ	3.3 нФ	
472	4700 пФ	4.7 нФ	
682	6800 пФ	6.8 нФ	
103	10000 пФ	10 нФ	0.01 мкФ
153	15000 пФ	15 нФ	0.015 мкФ
223	22000 пФ	22 нФ	0.022 мкФ
333	33000 пФ	33 нФ	0.033 мкФ
473	47000 пФ	47 нФ	0.047 мкФ
683	68000 пФ	68 нФ	0.068 мкФ
104	100000 пФ	100 нФ	0.1 мкФ
154	150000 пФ	150 нФ	0.15 мкФ
224	220000 пФ	220 нФ	0.22 мкФ
334	330000 пФ	330 нФ	0.33 мкФ
474	470000 пФ	470 нФ	0.47 мкФ
684	680000 пФ	680 нФ	0.68 мкФ
105	1000000 пФ	1000 нФ	1 мкФ

### 3.3.2. Маркировка четырьмя цифрами.

Эта маркировка аналогична описанной выше, но в этом случае первые три цифры определяют мантиссу, а последняя - показатель степени по основанию 10, для получения емкости в пикофарадах. Например:

$$1622 = 162 \cdot 10^2 \text{ пФ} = 16200 \text{ пФ} = 16.2 \text{ нФ}.$$

## **5. Задание:**

- 5.1. Научиться определять тип конденсатора
- 5.2. Научиться читать маркировку конденсатора, определять тип конденсатора

## **6. Порядок выполнения работы:**

- 6.1 По внешнему виду определить тип конденсатора
- 6.1 Записать номинальное значение емкости
- 6.2 Выбрать тип конденсатора по справочнику
- 6.3 Выписать параметры конденсатора из справочника
- 6.4 Написать полное обозначение конденсатора
- 6.5 Написать буквенно-цифровое обозначение номинала и допуска конденсатора
- 6.6 Сделать цветную маркировку номинального сопротивления и допуска конденсатора
- 6.7 ответить на контрольные вопросы

## **7. Контрольные вопросы:**

- 7.1 Классификация конденсатора
- 7.2 Назовите основные параметры конденсаторов и охарактеризуйте их
- 7.3 Конструктивные особенности конденсаторов
- 7.4 Особенности применения конденсаторов различного типа

## **8. Содержание отчета:**

- 8.1 Наименование работы.
- 8.2 Цель работы.
- 8.3 Перечень используемого оборудования.
- 8.4 Информация о проделанной работе.
- 8.5 Выводы по каждому пункту порядка выполнения работы.

## **9. Литература и средства обучения:**

- 9.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023
- 9.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.

## **Практическое занятие № 29**

### **Проверка работоспособности резисторов, конденсаторов**

- 1. Цель работы** Получить практические навыки работы по проверке работоспособности резисторов, конденсаторов.
- 2. Время выполнения работы – 2 часа**
- 3. Используемое оборудование и программное обеспечение**
  - 3.1 Резисторы, конденсаторы.
  - 3.2 Справочники по резисторам, конденсаторам.

3.3 Измерители иммитанса.

3.4 Методические указания к практическому занятию.

## **4. Краткие теоретические сведения**

### **4.1 Проверка резисторов**

На практике наиболее часто встречаются следующие неисправности резисторов:

- отклонение значения сопротивления от номинала, превышающее допуск;
- обрыв или перегорание токопроводящего слоя;
- нарушение контактов в выводах.

Проверку параметров резисторов выполняют с помощью омметра. Резистор в большинстве случаев считают неисправным, если его сопротивление отличается более чем на 20% от номинального значения, указанного на корпусе.

Переменные резисторы чаще всего имеют нарушения контакта подвижной щетки с токопроводящим элементом. Для проверки их исправности измеряют сопротивление между одним из крайних выводов и выводом средней точки, плавно вращая при этом ось от упора до упора. Если потенциометр исправен, стрелка омметра перемещается вдоль шкалы плавно, без дрожания и рывков.

Специфической неисправностью является нарушение идентичности номиналов и (или) функциональных зависимостей сопротивлений спаренных переменных резисторов от угла поворота их общей оси. Такая неисправность резисторов, включенных, например, в фазирующие цепи низкочастотных генераторов типа ГЗ-102, ГЗ-36 и др., приводит к значительному изменению амплитуды генерируемых колебаний при изменении частоты настройки.

### **4.2 Проверка конденсаторов**

Основными неисправностями конденсаторов являются:

- обрыв выводов;
- пробой диэлектрика;
- утечка тока (снижение сопротивления изоляции);
- изменение емкости.

Исправность конденсатора в большинстве случаев может быть проверена с помощью прибора для измерения сопротивлений (омметра или любого комбинированного измерительного прибора), имеющего верхний предел измерения сопротивлений не ниже 2 МОм.

Проверку неэлектролитических конденсаторов сравнительно большой емкости (0,05 мкФ и более) на отсутствие обрывов и пробой выполняют следующим образом. Подключив омметр к конденсатору, наблюдают за стрелкой прибора. При наличии обрыва стрелка не отклоняется. При полном пробое диэлектрика омметр покажет короткое замыкание, а при частичном — несколько десятков или сот килоом.

Если конденсатор исправен, стрелка скачком отклонится на несколько делений (заряд конденсатора) и быстро возвратится в первоначальное положение (разряд конденсатора). Угол отклонения стрелки будет тем больше, чем больше емкость конденсатора и чем выше установленный предел. При повторном подключении омметра через несколько секунд после первого стрелка не должна отклоняться. Отклонение стрелки в этом случае говорит об утечке тока.

Проверку конденсаторов на пробой и утечку, начиная с емкости 100 пФ и выше, можно выполнить также с помощью головных телефонов, соединенных последовательно с низковольтной батареей. При малом сопротивлении утечки каждое подключение индикатора к конденсатору вызывает щелчок в телефонах, тогда как при исправном конденсаторе щелчок прослушивается лишь при первом подключении или при смене полярности батареи. При обрыве конденсатора щелчка не будет.

Сопротивление изоляции исправных неэлектролитических конденсаторов составляет от  $10^9$  до  $10^{12}$  Ом и может быть измерено мегаомметром. В отличие от неэлектролитических электролитические конденсаторы имеют значительную утечку тока, пропорциональную емкости конденсатора. Для исправного конденсатора ток утечки в нормальных условиях определяется выражением

$$I_y = KCU + M, \quad (2.1)$$

где  $I_y$  — ток утечки, мкА;

$C$  — номинальная емкость, мкФ;

$K$  и  $M$  — постоянные коэффициенты, зависящие от типа конденсатора;

$U$  — номинальное напряжение конденсатора, В.

К примеру, для конденсаторов типа К50-6  $K = 0,5$ ;  $M = 3$ .

Практически сопротивление утечки электролитического конденсатора может быть измерено омметром. При этом плюс конденсатора должен быть соединен с плюсом источника питания омметра. Если конденсатор исправен, стрелка омметра резко отклонится в сторону нулевых показаний (заряд), а затем возвратится в положение, соответствующее сопротивлению 0,1—2 МОм (разряд). Последующие кратковременные подключения к конденсатору омметра, повторяемые с интервалом в несколько секунд, не должны вызывать отклонений стрелки измерителя.

При малом сопротивлении утечки заметное отклонение стрелки будет наблюдаться после каждого подключения омметра.

При обратной полярности подключения прибора его показание после окончания разряда исправного конденсатора может уменьшиться в 50—100 раз по сравнению с показанием при прямой полярности.

Отсутствие показаний заряда—разряда конденсатора свидетельствует об обрыве выводов электродов или о потере емкости (высыхании электроли-

та), а заниженное сопротивление или короткое замыкание — о повышенной утечке или пробое соответственно.

Емкость электролитического конденсатора может быть измерена довольно простым способом. Для этого плавно заряжают конденсатор до определенного напряжения (чем меньше напряжение, тем меньше будет ток утечки). Через 3—5 с, включив секундомер, разряжают конденсатор на известное входное сопротивление (желательно не менее 10 кОм/В при напряжении заряда до 10 В) вольтметру до 0,37 первоначального значения и останавливают секундомер. Затем подсчитывают емкость конденсатора по формуле

$$C = \frac{T}{R}, \quad (2.2)$$

где  $C$  — емкость конденсатора, мкФ;  
 $T$  — продолжительность разряда конденсатора, с;  
 $R$  — сопротивление разрядной цепи, МОм.

К примеру, при использовании вольтметра с относительным входным сопротивлением 100 кОм/В и установленным пределом 10 В (сопротивление разрядной цепи  $R = 100 \cdot 10 = 1000$  кОм = 1 МОм) конденсатор, предварительно заряженный до 10 В, разряжался до значения 3,7 В в течение 30 с. Тогда емкость конденсатора

$$C = \frac{T}{R} = 30/1 = 30 \text{ мкФ}.$$

Всесторонняя оценка качества конденсаторов может быть получена с помощью специальных приборов. В основу измерения емкости этими приборами положены методы вольтметра—амперметра, непосредственного измерения с помощью микрофарадометров, сравнения (замещения), мостовой и резонансный.

Напряжение, приложенное к конденсатору при любом его испытании, не должно превышать номинального рабочего напряжения.

Если в процессе испытания конденсатор заряжается до значительного напряжения, необходимо производить его разряд по окончании испытания.

## **5 Информационное и материально-техническое обеспечение занятия**

### **5.1 Методические указания к практическому занятию.**

## **6 Порядок выполнения работы**

6.1 Ознакомиться с предоставленными резисторами, конденсаторами и их маркировкой.

6.2 Измерить значения сопротивлений и емкостей с помощью измерителя иммитанса.

6.3 Сравнить измеренные сопротивления резисторов и емкости конденсаторов с их номинальными значениями.

- 6.4 Сделать выводы о работоспособности резисторов и конденсаторов.  
6.5 Заполнить таблицу

№ п/п	Наименование и тип ЭРЭ	Исходные данные	Измеренные данные	Выводы об исправности ЭРЭ

- 6.6 Записать алгоритм действий.  
6.7 Составить вывод.  
6.8 Ответить на контрольные вопросы.

## 7 Содержание отчета

- 7.1 Наименование работы.  
7.2 Цель работы.  
7.3 Результаты измерений, алгоритм произведенных действий.  
7.4 Выводы.  
7.5 Ответы на контрольные вопросы.

## 8 Контрольные вопросы

- 1 Какие неисправности резисторов и конденсаторов вы знаете?
- 2 Как проверить исправность переменного резистора?
- 3 Как проверить исправность постоянного резистора?
- 4 Как проверить исправность конденсатора?

## 9. Литература и средства обучения:

- 9.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023  
9.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.  
9.3. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с.  
7.1 Баканов Г.Ф. Конструирование и производство радиоаппаратуры: учебник для студ. учреждений СПО/ Г.Ф.Баканов, С.С.Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 384с.

## Практическое занятие № 30

### Проверка работоспособности проводов, высокочастотных, высоковольтных и силовых кабелей, разъёмов, предохранителей.

**1.Цель работы** Получить практические навыки проверки работоспособности проводов, высокочастотных, высоковольтных и силовых кабелей, разъёмов, предохранителей.

**2.Время выполнения работы – 2 часа**

### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

3.1 Комплекты проводов, высокочастотные, высоковольтные и силовые провода, разъёмы, предохранители.

3.2 Измерители иммитанса.

3.3 Методические указания по выполнению практической работы

3.4. Образцы радиокомпонентов

### 4.Краткие теоретические сведения

#### 4.1Высокочастотные провода.

Высокочастотные кабели делятся на радиочастотные кабели и кабели высокочастотной связи. Для монтажа высокочастотной аппаратуры связи используют высокочастотные провода (ВЧ).

Радиочастотные кабели предназначены для соединения передающих и приёмных антенн с радио и телевизионными станциями, различных радиочастотных установок, межприборного и внутреннего монтажа радиочастотных устройств, работающих на частотах выше 1МГц.

#### 4.2. Силовые кабели.



Силовой провод, кабель, это многожильный, как и акустические провода, чаще медный провод в диэлектрической изоляции. Предназначен для подключения электропитания усилителя, подключения магнитолы, монитора и прочего электрооборудования от АКБ . Подбирается в зависимости от потребляемой мощности аппаратуры, длины кабеля и по ценовым и дизайнерским качествам. Обычно выполнен в виде одиночного провода.

обычно выполнен в виде одиночного провода.



#### 4.4 Предохранители.

па-  
ков  
ис-  
мы-



Предохранители - это электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от токов короткого замыкания и токовой перегрузки. Преимущественно предохранители используются для защиты от токов короткого замыкания, а для защиты

от токов перегрузки в большинстве случаев предпочтение отдается тепловым реле и автоматическим выключателям. Основным элементом предохранителя - плавкая вставка постоянного или переменного сечения, которая при токах срабатывания сгорает (плавится с последующим возникновением и гашением электрической дуги), отключая электрическую цепь.

Сгоревший предохранитель легко отличить от исправного путем осмотра его прозрачного пластмассового корпуса. Внимательно осмотрите предохранитель на предмет выявления его перегорания. Если предохранитель внешне выглядит нормально, но подозрения на его неисправность сохранились, произведите проверку проводимости между ножевыми клеммами, выступающими из его корпуса.

При замене предохранителей следите за соответствием сменного старому по типу. Рассчитанные на различную силу тока предохранители могут внешне выглядеть идентичными, поэтому особое внимание следует уделять маркировке. Замена сгоревшего предохранителя на рассчитанный на меньшую - а особенно большую - силу тока является нежелательной. Каждый электрический контур нуждается в разной степени защиты. Следите за тем, чтобы маркировка на корпусе предохранителя соответствовала силе тока, на которую рассчитан соответствующий контур.

Если замененный предохранитель немедленно перегорает, не разумно продолжать его замену. Прежде следует выявить и устранить причину его выбивания. В большинстве случаев таковой оказывается короткое замыкание электропроводки контура, вызванное обрывом или повреждением изоляции провода.

Предохранитель разрывает электрическую цепь при достижении током установленного значения. Таким образом осуществляется защита потребителя тока и его цепи от повреждений. При коротком замыкании, например, предохранитель расплавляется, защищая цепь.

### 5. Порядок выполнения работы

5.1 Ознакомиться с предоставленным комплектом проводов, разъемов и предохранителей.

5.2 Измерить необходимые параметры предоставленных образцов с помощью измерителя иммитанса.

5.3 Сделать выводы о работоспособности проводов, разъемов и предохранителей.

5.4 Заполнить таблицу

№ п/п	Наименование и тип провода	Измеренные данные	Вывод об исправности

5.5. Записать алгоритм действий.

5.6. Составить вывод.

5.7. Ответить на контрольные вопросы.

## **6 Содержание отчета:**

6.1 Наименование работы.

6.2 Цель работы.

6.3 Результаты измерений.

6.4 Выводы.

6.5 Ответы на контрольные вопросы

## **7 Контрольные вопросы**

7.1 Как проверить работоспособность высоковольтных проводов?

7.3 Как проверить работоспособность высокочастотных проводов?

7.4 Как проверить работоспособность предохранителей различной конструкции?

7.5 Как проверить работоспособность разъёмов?

6.6 Как произвести контроль состояния изоляции высоковольтных проводов?

## **8 Список литературы**

8.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023

8.2 Баканов Г.Ф. Конструирование и производство радиоаппаратуры: учебник для студ. учреждений СПО/ Г.Ф.Баканов, С.С.Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 384с.

8.3 А. С. Ястребов, М. Ю. Волокобинский, А. С. Сотенко Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты. Изд.: Академия, 2021. – 160с. Для среднего профессионального образования.

## Практическое занятие № 31

### Изучение системы обозначения полупроводниковых приборов

**1 Цель работы:** научиться выполнять расшифровку маркировки заданного типа диода;

выполнить расчет заданного параметра полупроводникового диода.

**2.Время выполнения работы – 2 часа**

### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

1 Персональный компьютер

2 Программа Multisim 11

### 4. Краткие теоретические сведения

**Выпрямительный диод** – это полупроводниковый прибор, обладающий одним р-п переходом и двумя выводами, и предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.

В выпрямительном диоде используется свойство прямой электропроводности (прямое включение р-п перехода).

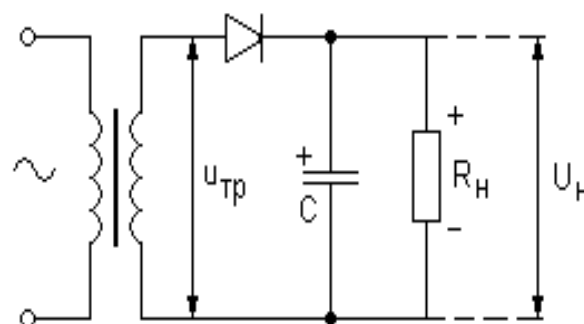
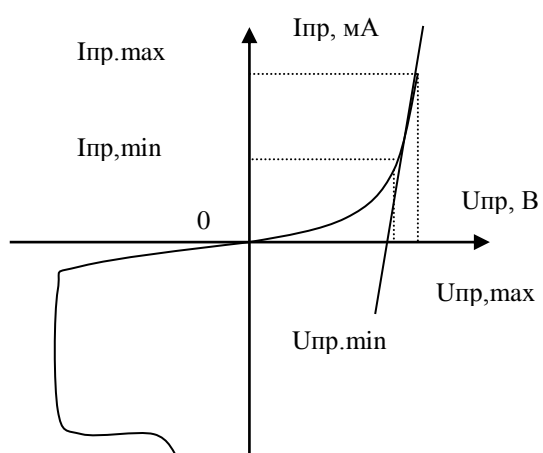


Рисунок 2 Схема включения выпрямительного диода

Рисунок 1 ВАХ выпрямительного диода

Характерным параметром выпрямительного диода является коэффициент выпрямления, который определяет степень преобразования переменного тока в постоянный и измеряется в относительных единицах.

$$K_{\text{в}} = \frac{\Delta I_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{обр}}} \quad (1)$$

Выпрямительные диоды предназначены для использования в различных выпрямительных схемах, блоках, столбах, работающих на токах низкой частоты. Маломощные выпрямительные диоды могут работать в устройствах преобразования электрических сигналов.

**Варикап** – это полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости емкости от обратного напряжения и который предназначен для применения в качестве управляющей емкости.

В варикапе используется свойство обратного включенного р-п перехода накапливать электрические заряды.

Характерным параметром варикапа является емкостной коэффициент, показывающий степень изменения емкости электронно-дырочного перехода.

$$K_{\text{с}} = \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{min}}} \quad (2)$$

Варикапы используются в устройствах частотной модуляции, автоматической подстройки частоты, для изменения резонансной частоты контура, в параметрических усилителях, в блоках высокой частоты телевизионных приемников и т. д.

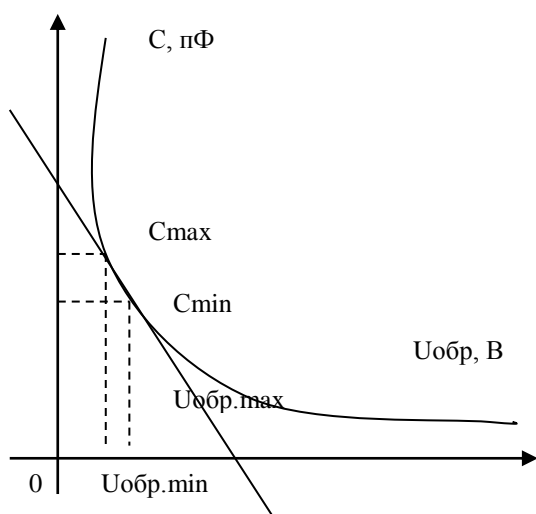


Рисунок 3 Типовая характеристика варикапа

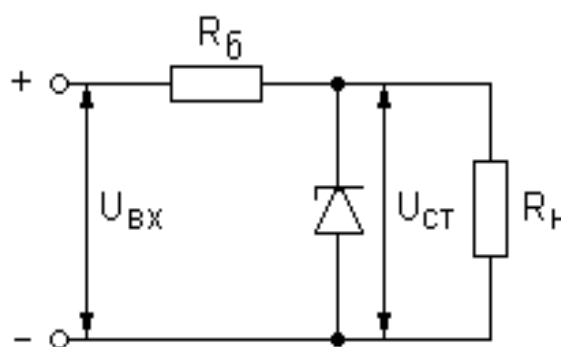


Рисунок 4 Схема включения стабилитрона

**Стабилитрон** – это полупроводниковый диод, работающий в режиме электрического пробоя, и предназначен для стабилизации переменного напряжения.

В стабилитроне используется свойство обратной электропроводности (обратное включение р-п перехода).

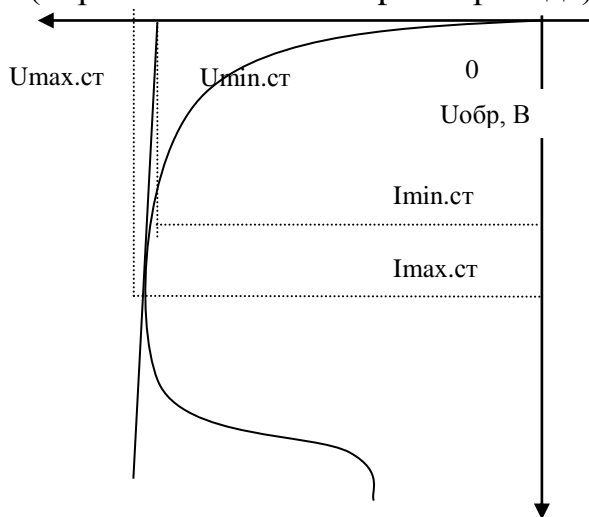


Рисунок 5 ВАХ стабилитрона

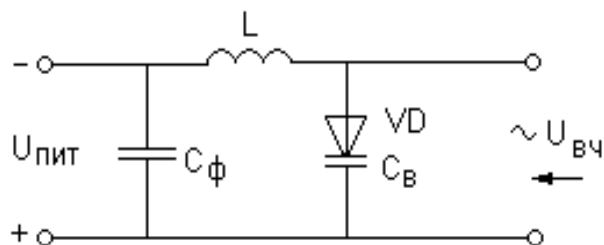


Рисунок 6 Схема включения стабилитрона

Стабилитроны используются как стабилизирующие элементы в простейших параметрических стабилизаторах напряжения, в качестве источников опорного напряжения и в электрических цифровых устройствах, а так же как элементы согласования уровней потенциала в цепях межкаскадной связи усилителей постоянного тока. Стабилитроны применяют в схемах ограничения импульсов, в цепях защиты от перегрузок и т. д.

Характерным параметром стабилитрона является его сопротивление, которое определяет ток и напряжение стабилизации.

$$R_{dif} = \frac{U_{st}}{I_{st}} \quad (3)$$

**Туннельный диод** – это диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на ВАХ при прямом включении участка с отрицательной дифференциальной проводимостью.

В данном типе диода используется свойство обратной проводимости при прямом включении р-п перехода.

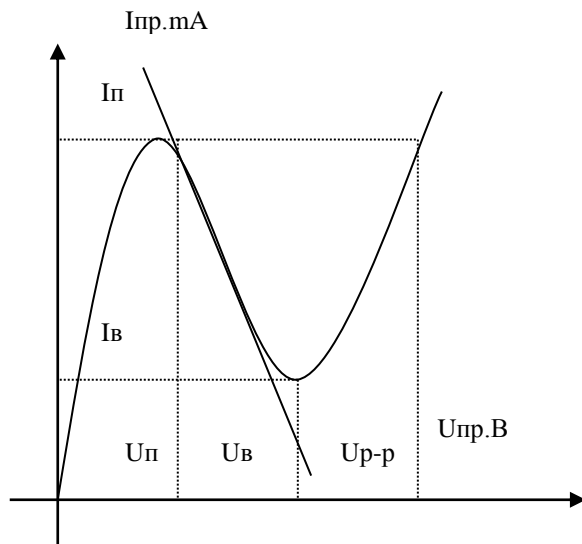


Рисунок 7 ВАХ туннельного диода

Характерным параметром туннельного диода является отрицательная дифференциальная проводимость, которая определяет возможность прямо включенного р-п перехода пропускать электрический ток в обратном направлении в определенном диапазоне напряжений.

$$-q_{dif} = \frac{\Delta I_d}{\Delta U_d} = \frac{I_p - I_v}{U_p - U_v} \quad (4)$$

Туннельные диоды широко используются при построении туннельно-транзисторных устройств, а наличие участка с отрицательной дифференциальной проводимостью позволяет их применять в схемах генераторов, усилителей, переключателей СВЧ-диапазона, импульсных устройствах.

### **Классификация и система обозначений полупроводниковых приборов**

Классификация полупроводниковых диодов осуществляется по их назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, исходному полупроводниковому материалу. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код.

**Первый элемент** (цифра или буква) – обозначает исходный полупроводниковый материал, кодируемый следующими символами:

- Г или 1 – германий и его соединения;
- К или 2 – кремний или его соединения;
- А или 3 – соединения галлия;
- И или 4 – соединения индия.

**Второй элемент** (буква), обозначает подкласс прибора, для кодирования которого используется одна из следующих букв:

- Д – диоды;
- Ц – выпрямительные столбы и блоки;
- В – варикапы;

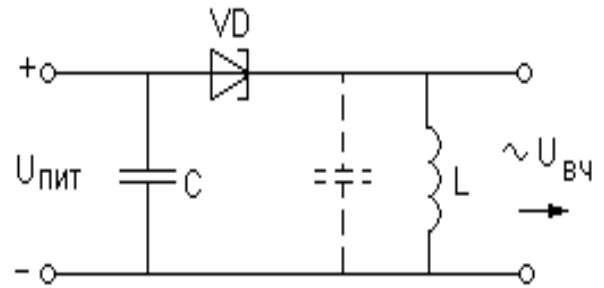


Рисунок 8 Схема включения туннельного диода

- И – туннельные диоды;
- А – сверхвысокочастотные диоды;
- С – стабилитроны;
- Г – генераторы шума;
- Л – излучающие оптоэлектронные приборы;
- О – оптопары.

**Третий элемент** (цифра) - определяет основные функциональные возможности диода, для обозначения которых используется индивидуальное цифровое обозначение наиболее характерных эксплуатационных признаков.

Подкласс Д (диоды):

- 1 – выпрямительные диоды с постоянным или средним значениями прямого тока не более 0,3 А;
- 2,3 - выпрямительные диоды с постоянным или средним значениями прямого тока более 0,3 А, но менее 10А;
- 4 – импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления 500нс;
- 5 - импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления более 150 нс, но не выше 5000нс;
- 6 - импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления 51 – 150 нс;
- 7 - импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления 5 – 50 нс;
- 8 - импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления 1 – 5 нс;
- 9 – импульсные диоды с эффективным временем жизни неосновных носителей заряда менее 1 нс.

Подкласс Ц (выпрямительные столбы и блоки):

- 1,3 – столбы с постоянным или средним значениями прямого тока не более 0,3 А;
- 2,4 - столбы с постоянным или средним значениями прямого тока от 0,3 А до 10А;

Подкласс В (варикапы):

- 1 – подстроечные варикапы;
- 2 – умножительные варикапы.

Подкласс И (туннельные диоды):

- 1 – усилительные туннельные диоды;
- 2 – генераторные туннельные диоды;
- 3 – переключательные туннельные диоды;
- 4 – обращенные диоды;

Подкласс А (сверхвысокочастотные диоды):

- 1 – смесительные диоды;
- 2 – детекторные диоды;
- 3 – усилительные диоды;
- 4 – параметрические диоды;

- 5 – переключательные и ограничительные диоды;
- 6 – умножительные и настроечные диоды;
- 7 – генераторные диоды;
- 8 – импульсные диоды.

Подкласс С (стабилитроны):

- 1 – стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт и с номинальным напряжением стабилизации не менее 10В;
- 2 - стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт и с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100В;
- 3 - стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт и с номинальным напряжением стабилизации более 100В;
- 4 – стабилитрон мощностью 0,3 – 5Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10В;
- 5 - стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт и с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100В;
- 6 - стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт и с номинальным напряжением стабилизации более 100В;
- 7 - стабилитроны мощностью от 5 до 10 Вт и с номинальным напряжением стабилизации менее 10В;
- 8 - стабилитроны мощностью от 5 до 10 Вт и с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100В;
- 9 - стабилитроны мощностью от 5 до 10 Вт и с номинальным напряжением стабилизации более 100В.

Подкласс Г (генераторы шума):

- 1 – низкочастотные;
- 2 – высокочастотные.

**Четвертый элемент** (число) – представляет собой порядковый номер разработки. Для обозначения порядкового номера используются двузначные от 01 до 99 или трехзначные от 101 до 999 числа.

**Пятый элемент** (буква) – условно определяет классификацию (разбраковку по параметрам) диодов, изготовленных по единой технологии. В качестве классификационной литеры (буквы) используются буквы русского алфавита, за исключением букв: З, О, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Ь, Э, Ю, Я.

В качестве **дополнительных элементов обозначения** могут применяться:

- цифры 1 – 9 для обозначения модификаций диодов, приводящих к изменению его конструкции или электрических параметров;
- буква С для обозначения сборок, наборов в общем корпусе однотипных приборов, не соединенных электрически или соединенных одноименными выводами;
- цифры, написанные через дефис, для обозначения модификаций конструктивного исполнения бескорпусных диодов:
  - 1 – с гибкими выводами без кристаллодежателя;
  - 2 – с гибкими выводами на кристаллодежателе (подложке);



- 3 – с жесткими выводами без кристаллодержателя;
- 4 – с жесткими выводами на кристаллодержателе;
- 5 – с контактными площадками без кристаллодержателя и без выводов;
- 6 – с контактными площадками на кристаллодержателе без выводов;
- буква Р после последнего элемента обозначения применяется для приборов с парным подбором;
- буква Г после последнего элемента обозначения применяется для приборов с подбором в четверки;
- буква К после последнего элемента обозначения применяется для приборов с подбором в шестерки.

**Пример расшифровки маркировки заданного типа диода 2Д 204 А.**

- 2 – кремниевый;
- Д – выпрямительный диод;
- 2 – с постоянным или средним значениями прямого тока более 0,3, но менее 10 А;
- 04 – порядковый номер;
- А – классификационная литера.

**5. Порядок выполнения работы:**

- 5.1 Определить тип диода в соответствии с данными своего варианта (Приложение А)
- 4.2 Дать диоду полную техническую характеристику
- 4.3 Указать физический смысл данного типа диода.
- 4.4 Используя исходные данные (Приложение А), рассчитать заданный параметр диода.

**6. Содержание отчета:**

- тема практической работы;
- цель работы;
- порядок выполнения;
- выполненная работа

**7. Литература и средства обучения:**

- 8.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023
- 8.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.
- 3.3. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с.

## Приложение А

Вариант	Марка диода	Заданный параметр и данные для его расчета
1	КВ 104 А	Кс, если дано: $C_{\min}=90\text{пФ}$ , $C_{\max}=120\text{пФ}$
2	2Д 215 А	Кв, если дано: $I_{\text{np}}=1\text{А}$ (при $U_{\text{obr}}=U_{\text{pr}}=1\text{В}$ ), $I_{\text{obr}}=50\text{мкА}$
3	КС 156 А	Rdif, если дано: $I_{\text{st.min}}=3\text{мА}$ , $I_{\text{st.max}}=55\text{мА}$ , $\Delta U_{\text{st}}=2,3\text{В}$
4	ГД 107 Б	Кв, если дано: $I_{\text{np}}=20\text{А}$ (при $U_{\text{obr}}=U_{\text{pr}}=1\text{В}$ ), $I_{\text{obr}}=100\text{мкА}$
5	АИ 201К	$-q_{\text{dif}}$ , если дано: $I_{\text{p}}=15\text{мА}$ , $I_{\text{vp}}=1,5\text{мА}$ , $U_{\text{p}}=0,08\text{В}$ , $U_{\text{vp}}=0,63\text{В}$
6	КВ 135 А	Кс, если дано: $C_{\min}=480\text{пФ}$ , $C_{\max}=590\text{пФ}$
7	2С 220 Ж	Rdif, если дано: $I_{\text{st.min}}=0,5\text{мА}$ , $I_{\text{st.max}}=0,62\text{мА}$ , $\Delta U_{\text{st}}=0,7\text{В}$
8	ГИ 307 А	$-q_{\text{dif}}$ , если дано: $I_{\text{p}}=14\text{мА}$ , $I_{\text{vp}}=2\text{мА}$ , $U_{\text{p}}=0,22\text{В}$ , $U_{\text{vp}}=0,62\text{В}$
9	2Д 206 Б	Кв, если дано: $I_{\text{np}}=5\text{А}$ (при $U_{\text{obr}}=U_{\text{pr}}=1\text{В}$ ), $I_{\text{obr}}=700\text{мкА}$
10	2С 168 А	Rdif, если дано: $I_{\text{st.min}}=3\text{мА}$ , $I_{\text{st.max}}=45\text{мА}$ , $\Delta U_{\text{st}}=1,1\text{В}$

### Практическое занятие № 32

#### Проверка работоспособности полупроводниковых диодов и транзисторов.

**1. Цель работы** Получить практические навыки проверки работоспособности полупроводниковых диодов и транзисторов.

**2. Время выполнения работы – 2 часа**

#### **3. Используемое оборудование и материально-техническое обеспечение занятия**

1 Персональный компьютер

2 Программа Multisim 11

3.1 Полупроводниковые диоды.

3.2 Биполярные, полевые, IGBT- транзисторы.

3.3 Справочники по полупроводниковым диодам.

3.4 Измерители иммитанса.

3.5 Методические указания по выполнению практической работы

## 4. Краткие теоретические сведения

### 4.1 Проверка полупроводниковых диодов

Характерными неисправностями полупроводниковых диодов являются:

- пробой или обрыв перехода;
- утечка тока;
- нарушение герметичности корпуса.

Оценить исправность диода можно путем измерения прямого и обратного сопротивлений с помощью омметра.

Перед проверкой исправности полупроводниковых приборов с помощью омметра необходимо, чтобы источник питания омметра не представлял опасности для данного типа диода или транзистора. Напряжение источника питания омметра не должно превышать предельно допустимого обратного напряжения проверяемого р—n-перехода диода или транзистора, а максимальная мощность  $P_{max}$ — отдаваемая прибором в проверяемую цепь, не должна превышать максимально допустимую для данного р—n-перехода.

Значение  $P_{max}$  определяют из выражения

$$P_{max} = \frac{U_n^2}{4R_{cp}}, \quad (2.1)$$

где  $U_n$  — напряжение источника питания омметра, В;

$R_{cp}$  — сопротивление, соответствующее средней точке шкалы омметра на установленном пределе измерения, Ом.

Как правило, выбирают омметр с источником питания, напряжение которого не превышает 1,5 В, чтобы заведомо не превысить напряжение пробоя перехода.

Проверка СВЧ и туннельных диодов с помощью омметра не может быть рекомендована, так как для СВЧ диодов обратное напряжение не должно превышать 1 В, а для туннельных диодов оно равно нулю. Проверку этих элементов производят на специальных приборах и установках, например характеристикографах, а при их отсутствии взятые под подозрение элементы заменяют заведомо исправными из состава ЗИП.

Проверку исправности диода с помощью омметра выполняют путем измерения прямого и обратного сопротивлений р—n-перехода. Если диод пробит, его сопротивления в обоих направлениях будут одинаково малы (несколько ом). При обрыве прямое и обратное сопротивления будут бесконечно большими. Исправный диод имеет прямое сопротивление в пределах десятков Ом, а обратное — сот килоОм.

При утечке тока через диод показания прибора при измерении сопро-

тивления в обратном направлении нестабильны: сначала сопротивление большое, а затем постоянно падает.

## 4.2 Проверка транзисторов

Наиболее часто встречающимися неисправностями транзисторов являются:

- обрыв выводов или выгорание переходов (при большом значении протекающего по ним тока);
- пробой переходов;
- появление токов утечки.

Для проверки параметров транзисторов существуют достаточно простые и удобные приборы.

Элементарная проверка транзистора может быть произведена с помощью омметра, напряжение питания которого не должно превышать 1,5 В, так как примерно такое же значение имеет предельно допустимое напряжение между базой и эмиттером многих типов транзисторов малой мощности.

При проверке необходимо знать полярность выводов омметра. Она может быть установлена по схеме прибора или практически при подключении к омметру какого-либо диода и сопоставлении значения сопротивления с маркировкой диода.

Сопротивление, показываемое омметром при его подключении к какому-либо двум выводам исправного транзистора, может быть малым — десятки ом и менее при прямом токе — через  $p-n$ -переходы и большим — килоомы и более при обратном токе через  $p-n$ -переходы.

Ориентировочные значения сопротивлений переходов транзисторов структуры  $p-n-p$  указаны в таблице 2.1

Таблица 2.1 Ориентировочные значения сопротивлений  $p-n$ -переходов биполярных транзисторов структуры  $p-n-p$  в зависимости от способа подключения омметра и вида транзисторов

Способ подключения омметра	Германиевый транзистор малой мощности	Кремниевый транзистор малой мощности	Германиевый транзистор средней и большой мощности	Соотношения между сопротивлениями
Прямые сопротивления переходов $\bar{B} - K, \bar{B} - \bar{E}$	50—100 Ом	1—3 кОм	10—30 Ом	-
Обратные сопротивления переходов $B - \bar{K}, B - \bar{E}$	0,1—5 МОм	Около $\infty$	>(1—2) кОм	$R > R$ $B - \bar{E} \quad B - \bar{K}$

Сопrotивление коллектор — эмит- тер $\overset{+}{\mathcal{E}} - \bar{K}, \bar{\mathcal{E}} - \overset{+}{K}$	0,01—5 МОм	—	—	$R > R$ $\bar{\mathcal{E}} - \overset{+}{K}$ $\overset{+}{\mathcal{E}} - \bar{K}$
---	------------	---	---	---

Примечание. Индексы Б, Э, К означают соответственно электроды транзисторов: база, эмиттер, коллектор, а знаки «+» и «—» над ними — полярность подключения источника питания омметра.

Прямые сопротивления эмиттерного (эмиттер—база) и коллекторного (коллектор—база) переходов должны быть наибольшими (от 10 Ом до 3 кОм в зависимости от типа транзистора). Большие значения прямых сопротивлений свидетельствуют о неисправности транзистора, например об обрыве в его цепях.

Обратные сопротивления переходов должны быть большими; малые значения их являются обычно признаком пробоя переходов. Обратное сопротивление эмиттерного перехода бывает, как правило, больше коллекторного. При измерении обратного сопротивления коллекторного перехода выявляются «плывущие» транзисторы: их характеризует самопроизвольное уменьшение во времени измеряемого сопротивления, что эквивалентно возрастанию тока коллектора. Германиевые транзисторы имеют значительно меньшие прямое и обратное сопротивления  $p-n$ -переходов, чем кремниевые.

Сопротивление между эмиттером и коллектором при прямом и обратном включении должно быть большим.

При подключении плюсового вывода к коллектору сопротивление, как правило, бывает в несколько раз больше, чем в случае подключения его к эмиттеру.

Малое сопротивление между коллектором и эмиттером обычно указывает на замыкание переходов, большое — на нарушение контактов. Характеристики микромодулей и интегральных микросхем проверяют на специальных установках.

## 5. Порядок выполнения работы

5.1 Ознакомиться с предоставленными полупроводниковыми диодами, транзисторами и их маркировкой.

5.2 Измерить необходимые параметры диодов и транзисторов с помощью измерителя иммитанса.

5.3 Сравнить измеренные значения с номинальными.

5.4 Заполнить таблицу

№ п/п	Тип полупроводникового диода	Прямо	Обратно	Вывод об ис- правности


4.5 Записать алгоритм действий.

4.6 Сделать выводы о работоспособности полупроводниковых диодов с обоснованием.

4.7 Составить вывод

4.8 Ответить на контрольные вопросы.

## **6 Содержание отчета:**

6.1 Наименование работы.

6.2 Цель работы.

6.3 Результаты измерений, алгоритм произведенных действий.

6.4 Выводы.

6.5 Ответы на контрольные вопросы.

## **7 Контрольные вопросы**

7.1 Какие вы знаете характерные неисправности полупроводниковых диодов?

7.2 Как проверить работоспособность выпрямительных полупроводниковых диодов?

7.3 Как проверить работоспособность полупроводниковых диодов выпрямительного блока автомобильного генератора?

7.4 Как проверить работоспособность полупроводниковых стабилизаторов?

7.5 Каковы наиболее часто встречающиеся неисправности транзисторов?

7.6 Как проверить исправность биполярного транзистора?

7.7 Как проверить исправность полевого транзистора?

7.8 Как проверить исправность IGBT-транзистора?

## **8 Список литературы**

8.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023

8.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.

8.3. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шест

## Изучение системы обозначения интегральных микросхем

**1 Цель работы:** Получить навыки расшифровки маркировки интегральной схемы, изучить параметры интегральных схем.

**2.Время выполнения работы – часа**

**3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

1 Персональный компьютер

2 Программа Multisim 11

4. Краткие теоретические сведения

### **4.1. Классификация и электрические параметры интегральных схем.**

В соответствии с функциональным назначением интегральные схемы делят на подгруппы и виды.

**В подгруппы объединяют:**

- логические элементы,
- элементы арифметических и дискретных устройств,
- элементы запоминающих устройств,
- триггеры, формирователи импульсов,
- усилители высокой, промежуточной и низкой частоты,
- усилители постоянного тока и другие генераторы гармонических, прямоугольных, линейно изменяющихся и других сигналов,
- амплитудные, частотные, импульсные и другие модуляторы,
- преобразователи частоты, фазы, длительности,
- вторичные источники питания (выпрямители, стабилизаторы напряжения),
- схемы селекции, сравнения и др.

Совокупности интегральных микросхем, выполняющих различные функции, имеющих единую конструктивно-технологическую основу и предназначенных для совместного применения в радиоэлектронной аппаратуре объединяют в серии. Как правило, серия содержит набор интегральных микросхем, из которых можно построить законченное радиоэлектронное устройство.

### **4.2.Условное обозначение интегральной микросхемы представляет собой набор следующих элементов:**

- 1) цифру, обозначающую группу микросхем по конструктивно-технологическому исполнению;
- 2) две цифры, обозначающие порядковый номер разработки;
- 3) две буквы, обозначающие подгруппу и вид по функциональному назначению;
- 4) цифру, обозначающую порядковый номер разработки.

Для микросхем широкого применения используют в начале обозначения букву К.

### 4.3. Электрические параметры.

Поскольку каждая микросхема представляет собой изделие с конкретным функциональным назначением, совокупность электрических параметров должна отражать это функциональное назначение и характеризовать свойства и режимы ее работы.

Таким образом:

**аналоговые усилительные микросхемы** характеризуются коэффициентом усиления, величиной входного и выходного сопротивления, полосой пропускания и т.д.;

**цифровые микросхемы** характеризуются быстродействием, входными напряжениями, соответствующими двум состояниям схемы, коэффициентом объединения (число выводов, по которым реализуется логическая функция) по входу и по выходу.

Основным направлением в развитии современной электроники и микроэлектроники является использование больших интегральных схем (БИС). А поскольку в объеме БИС реализуются блоки и даже устройства, то такие схемы не обладают большой универсальностью и становятся узкоспециализированными, предназначенными для конкретного вида радиоэлектронного оборудования.

Наиболее часто используемыми являются большие интегральные микросхемы

Таблица 2

Тип ИМС	Параметры			
	Uип.ном., В	Iпотр., мА	Uвых., В не менее	Kyc не менее
K118УН1А	6,3	3,5	2,4-3,8	
K118УН1В	12,6	5	7,9-9,6	
K118УН2А	4	2	2,4-3,8	
KP119УТ1А	6,3	2,5	0,6	3-6
KP119УИ1	6,3	6,0	2,0	4-10
KP119УЕ1	3,0	2,5	0,5	0,7
K118УД1А	4,0	1,0	2,5-3,3	
K118УД1Б	6,3	1,3	4,0-4,9	
K174УР1	12	22		
K174УР2	12	75		
K284УД1А	9		5	20
K284УЕ1	6		1	0,97
K140УД1А	6,3	4,2	2,8	500
K140УД6	15	4	11	30000
K140УД2	12,6	8	10	35000
K153УД2	1	6	10	20000



К544УД2Б	15	7	10	10000
----------	----	---	----	-------

### Пример расшифровки маркировки ИМС

<b>К</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>У</b>	<b>Д</b>	<b>2</b>	<b>А</b>
Широкого применения	Полупроводниковая	№ серии		Операционный усилитель		Номер разработки	Разновидность ИМС

В основу системы обозначений ИМС положен буквенно-цифровой код **1 элемент** – буква К – ИМС широкого применения.

**2 элемент** – цифра – указывает конструктивно-технологическую группу:

1,5,6, - полупроводниковые;

3 – пленочные;

2,4,6,8 – гибридные.

**3 элемент** – две или три цифры – порядковый номер разработки (от 00 до 99).

**4 элемент** – две буквы – показывают функциональное назначение:

УН – усилитель низкой частоты;

УВ – усилитель высокой частоты;

УК – видеоусилитель;

УР – радиоусилитель, промежуточной частоты;

УТ – усилитель постоянного тока;

УЕ – повторитель;

УД – операционный усилитель;

УС – дифференциальный усилитель;

УИ – усилитель импульсный;

УЛ – усилитель считывания и воспроизведения;

УМ – усилитель индикации;

У – усилитель широкополосный,

УП – прочие усилители;

НТ – набор транзисторов

**5 элемент** – порядковый номер одноименных по функциональному признаку ИМС в данной серии.

**6 элемент** – буква – параметрическая группа.

### 5. Задание:

- 5.1. изучить условия выбора интегральной микросхемы;
- 5.2. Научиться выбирать ИМС согласно условиям и расшифровывать маркировку выбранной ИМС.

## **6. Порядок выполнения работы:**

- 6.1. Изучить условия выбора интегральной микросхемы;
- 6.2. Выбрать ИМС согласно данным своего варианта (Приложение А);
- 6.3. Расшифровать маркировку выбранной ИМС.

## **7. Содержание отчета:**

1. Название и цель работы.
2. Таблицу с выписанным заданием своего варианта.
3. Таблицу с параметрами выбранной ИМС.
4. Расшифровку маркировки ИМС
5. Достоинства ИМС по сравнению со схемами на дискретных элементах.
6. Ответы на вопросы в таблице 1 для своего варианта.

## **8. Литература и средства обучения:**

- 8.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023
- 8.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.
- 8.3. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с.
- 8.4 Multisim . Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2018. – 488 с; ил.
- 8.5. Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2022. — 256 с.

**Приложение А**  
**Исходные данные**

Варианты	Условия выбора ИМС	Ответьте на поставленные вопросы	
		Вопрос 1	Вопрос 2
1	Гибридная, операционный усилитель	Перечислите преимущества и недостатки гибридных схем по сравнению с полупроводниковыми	Поясните способы получения конденсаторов в ИМС
2	Полупроводниковая, усилитель $U_{ип}=12,6В$	Поясните принцип классификации ИМС	Поясните принципы получения резисторов и полупроводниковых ИМС
3	Полупроводниковая, усилитель низкой частоты $U_{ип}=4В$	Перечислите преимущества и недостатки полупроводниковых схем по сравнению с гибридными	Поясните понятие «серия» ИМС
Варианты	Условия выбора ИМС	Ответьте на поставленные вопросы	
		Вопрос 1	Вопрос 2
4	Гибридная, повторитель	Поясните почему БТ в ИМС делают четырехполюсным	Поясните понятие «степень интеграции» ИМС
5	Полупроводниковая, импульсный усилитель	Перечислите способы межэлементной изоляции в полупроводниковых ИМС	Поясните принципы получения диодов и полупроводниковых ИМС
6	Полупроводниковая, усилитель радиочастоты, наименьший ток потребления	Поясните способы увеличения степени интеграции	Дайте сравнительную характеристику различных способов межэлементной изоляции
7	Полупроводниковая, усилитель постоянного тока, $U_{ип}=6,3$	Поясните, почему чаще используют ИМС на МДП-транзисторах	Поясните способы получения резисторов в полупроводниковых ИМС

8	Полупроводниковая усилитель низкой частоты, наибольшее выходное напряжение	Как различают ИМС по конструктивно-техническому признаку	Поясните, какие трудности возникают при производстве ИМС
9	Полупроводниковая усилитель низкой частоты, наименьшее выходное напряжение	Поясните, почему коллектор биполярного транзистора делается двухслойным	Какой способ межэлементной изоляции не используется при производстве ИМС
10	Полупроводниковая, повторитель	Дайте сравнительную характеристику гибридных и полупроводниковых ИМС	Перечислите как подразделяются ИМС по степени интеграции

### Практическое занятие № 34

#### Выбор элементной базы элементов электрической принципиальной схемы

1. **Цель работы** Приобрести практический опыт работы с документацией к печатному узлу радиоаппаратуры.
2. **Время выполнения работы – 2 часа**
3. **Используемое оборудование и программное обеспечение**
  - 3.1 Электрическая принципиальная схема устройства, выданная преподавателем.
  - 3.2 Сборочный чертеж печатного узла РЭА.
  - 3.3 Спецификация.
  - 3.4 Печатный узел РЭА.
  - 3.5. Персональный компьютер

#### 4. Краткие теоретические сведения

Схема электрическая принципиальная определяет полный состав элементов и связи между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления в изделии заданных электрических процессов, все связи между ними, а также электрические элементы (разъемы, платы, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других конструкторских документов. Их используют для изучения принципов рабо-

ты изделия, при наладке, контроле и ремонте изделий. Электрическая принципиальная схема должна содержать перечень элементов, в который записывают все элементы, изображенные на схеме (перечень может быть оформлен в виде отдельного документа). Такая схема имеет шифр ЭЗ.

Чертеж детали и сборочный чертеж (СБ). Чертеж должен содержать изображение изделия и другие данные, необходимые для изготовления (сборки — для СБ) и контроля.

Количество проекций, видов, разрезов и сечений на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для того, чтобы иметь полное представление о форме детали (для чертежа детали) и о взаимной связи соединяемых частей (для сборочного чертежа). Чертежи деталей должны содержать сведения о форме, размерах, предельных отклонениях, чистоте поверхности, покрытии, материале и его свойствах после обработки (например, твердость после закалки). Количество сборочных чертежей должно быть минимальным, но достаточным для проведения по ним рационального процесса сборки и контроля изделия. Рабочие чертежи следует разрабатывать так, чтобы при их использовании требовался минимум дополнительных документов. Рабочие чертежи должны содержать минимум ссылок на другие документы.

Допускается давать в чертежах ссылки на стандарты, технические условия и другие документы, если они полностью и однозначно определяют соответствующие требования. На рабочих чертежах не допускается давать технологические указания, за исключением случаев, когда существует единственный способ изготовления или контроля, который может гарантировать требуемое качество изделия. Изделие должно быть показано на чертеже с теми размерами и допусками, какие оно будет иметь после изготовления. Для изделий с покрытиями размеры и чистоту поверхности на чертежах показывают без учета покрытия. Но если оно влияет на сопряжение изделий (размеры и чистоту поверхности необходимо выдерживать с учетом покрытия), то соответствующие размеры и обозначения шероховатости отмечают знаком «\*» и на поле чертежа в технических требованиях делают запись «\*Размеры и шероховатость поверхности после покрытия».

В одной из граф основной надписи чертежа детали помещают данные, характеризующие материал, из которого она должна быть изготовлена. Эти данные включают в себя наименование материала, марку, качественную характеристику (если она существует), номер стандарта или технических условий, по которым выпускается материал. Если деталь будет изготовлена из материала определенного сортамента, то в этой же графе должны содержаться наименование сортамента, его размерная и качественная характеристики (если они существуют), номер стандарта или технических условий, устанавливающих сортамент. Например, сталь 20 ГОСТ 1050—74, круг 56 ГОСТ 2590—71.

Рабочие чертежи разрабатывают на каждую деталь. Допускается не делать чертеж на детали, изготовленные из сортового материала резкой под прямым углом и из листового материала резкой по периметру прямоугольни-

ка или окружности без последующей обработки, на несложные деревянные конструкции и на изделия индивидуального производства, размеры и форма которых определяются по месту расположения детали. В этом случае в сборочных чертежах и их спецификациях указывают данные, необходимые для изготовления и контроля таких деталей. Если сборочная единица должна изготавливаться наплавкой на детали металла или сплава, опрессовкой их пластмассой, резиной и т. п., то на наплавляемый материал, на резину или пластмассу отдельные чертежи не выпускают. В этом случае на сборочном чертеже показывают все необходимые размеры, допустимые отклонения и шероховатость поверхности. Сборочный чертеж должен содержать размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые не обеспечиваются сопряжением поверхностей соединяемых изделий и должны быть выполнены или проконтролированы по этому чертежу, указания о характере сопряжения или способе соединения неразъемных соединений, а также номера позиций всех составных частей, совпадающие с номерами позиций в спецификации этого сборочного чертежа.

На сборочном чертеже должны быть указаны габаритные размеры. Кроме того, следует указывать установочные и присоединительные размеры, к числу которых относятся координаты и размеры крепежных отверстий или элементов крепления, координаты и размеры элементов конструкции, которые служат для сопряжения по другому сборочному чертежу.

Сборочные чертежи разрешается выполнять упрощенно. На контурных очертаниях предметов допускается не изображать мелкие выступы и впадины, зазоры между стержнем и отверстием, фаски, скругления, проточки, выступы, накатки, если все эти упрощения не затрудняют пользование чертежом в процессе изготовления и контроля изделия.

Габаритный чертеж (ГЧ). Габаритный чертеж используется организацией, проектирующей размещение изделия на объекте, где оно будет эксплуатироваться. На габаритном чертеже изделие изображают так, чтобы были видны крайние положения перемещающихся частей. Изображение изделия показывают с максимальными упрощениями. Допускается не показывать элементы, незначительно выступающие за основной контур.

Количество видов на габаритном чертеже должно быть минимальным, но достаточным для того, чтобы дать исчерпывающее представление о внешних очертаниях предмета, о расположении элементов связи изделия с другими изделиями и об элементах настройки и управления; (шкалы, ручки и т. д.). На габаритном чертеже проставляют габаритные, установочные и присоединительные размеры. Установочные и присоединительные размеры, определяющие связь изделия с другими изделиями, должны иметь предельные отклонения. Габаритные чертежи не предназначены для изготовления по ним изделия и не должны содержать соответствующих данных.

Спецификация. Это документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта. Спецификации составляют на все перечисленные изделия и выполняют на отдельных листах, за исключением случая, ко-

гда для сборочной единицы чертеж и спецификацию можно разместить на формате 11.

В общем случае спецификация состоит из разделов, расположенных в такой последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. В зависимости от состава изделия те или иные разделы могут отсутствовать.

. В раздел «Документация» вносят основной комплект конструкторских документов изделия (за исключением его спецификации), а также документацию на детали, кроме их чертежей (если такая имеется). В разделы «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» вносят соответствующие составные части, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. При этом «Комплексы» и «Сборочные единицы» записывают за обозначением спецификации, а входящие в них составные части по отдельности не вписывают.

Спецификацию составляют на специальных формах, предусмотренных ГОСТом.

## **5. Порядок выполнения работы**

5.1 Ознакомиться с документацией заданного печатного узла.

5.2 По заданию преподавателя найти необходимые элементы на печатном узле по электрической принципиальной схеме.

5.3 Найти заданные элементы с печатного узла на принципиальной схеме.

5.4 Записать параметры найденных элементов.

5.5 Записать алгоритм выполненных действий.

5.6 Составить вывод.

5.7 Ответить на контрольные вопросы.

## **6. Содержание отчета**

6.1. Наименование работы.

6.2. Цель работы.

6.3. Алгоритм выполненных действий.

6.4. Выводы.

6. 5. Ответы на контрольные вопросы.

## **7 Контрольные вопросы**

7.1 Что такое сборочный чертеж? К какой документации относится?

7.2 Какой документ составляется к сборочному чертежу? Дайте его определение.

7.3 Что такое электрическая принципиальная схема?

7.4 Что такое печатный узел?

## **8. Литература и средства обучения:**

8.1 Черепяхин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепяхин.- М.: ЭБС Юрайт 2023

8.2.Проектирование цифровых устройств. Профессиональный модуль: Учебник для СПО / А.В. Кистрин, Б.В. Костров, М.Б. Никифоров и др.- М.: КУРС,2019.- 352с. ЭБС Знаниум 2019

8.3.Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с.

8.4.2 ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

8.5.3 ГОСТ 29137-91 «Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы».

8.6.4 ГОСТ 2.106-96 Спецификация

## **Практическое занятие № 35**

### **Расчет габаритных размеров печатной платы электронного устройства**

**1. Цель работы** Приобрести практические навыки расчета конструктивно-технологических параметров элементов печатного монтажа.

**2. 2. Время выполнения работы – 2 часа**

**3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

3.1 Справочники по радиокомпонентам.

3.2 Методические указания по выполнению практического занятия.

3.3 ГОСТы ЕСКД.

3.4 Компоновка ПУ.

3.5. Персональный компьютер

**4. Краткие теоретические сведения**

Применение печатного монтажа позволяет:

- уменьшить габариты, массу, увеличить плотность монтажа;
- повысить надежность за счет уменьшения общего числа паяных соединений;

- обеспечить высокую идентичность электрических и конструктивных параметров от образца к образцу;

- сократить монтажные ошибки;

- автоматизировать и механизировать производство изготовления, сборки, монтажа, контроля и регулировки;

- получить высокую производительность и низкую себестоимость в условиях серийного производства.

При этом возникает трудность в ремонте, а при отработке конструк-



ции невозможность внесения изменений без корректировки документации и оснастки.

## 2.1 Конструктивно - технологические параметры элементов печатного монтажа

По типу печатные платы делятся на односторонние (ОПП), двухсторонние (ДПП) и многослойные (МПП). Мы будем рассчитывать только ОПП и ДПП.

ОПП обеспечивают большую точность выполнения проводящего рисунка и совмещение его с отверстиями. Они наиболее просты по конструкции, имеют низкую стоимость. Компоненты устанавливаются на стороне, свободной от монтажа и могут корпусом касаться платы, обеспечивая этим надежность. Но трассировочные возможности ОПП - низкие, т.к. все проводники не могут быть выполнены без пересечений при высокой плотности монтажа. Используются ОПП в основном в бытовой радиоаппаратуре.

ДПП с металлизированными переходными и монтажными отверстиями характеризуются высокими коммутационными способностями, т.к. проводники располагаются с обеих сторон платы. Это позволяет повысить плотность монтажа, прочность сцепления выводов с проводящим рисунком ПП; допускает монтаж ЭРИ на поверхность. Такие платы имеют повышенную стоимость по сравнению с ОПП. ДПП широко применяются в производстве радиоэлектронных устройств.

Точность изготовления ПП зависит от технологических характеристик.

По точности выполнения ПП в соответствии с ГОСТ 23751-86 делятся на 5 классов. Платы 1 и 2 классов точности выпускаются на рядовом оборудовании с невысокими конструктивными параметрами и предназначены для надежных недорогих устройств с малой плотностью монтажа. ПП 3<sup>го</sup> класса - наиболее распространены, т.к. обеспечивают достаточно высокую плотность трассировки и монтажа, для их изготовления требуется рядовое специализированное оборудование. ПП 4 и 5 классов точности требуют высокоточного и уникального высокоточного оборудования, дорогих специальных материалов, безусадочной фотопленки для фотошаблонов и специальных производственных помещений: «чистых комнат» с термостатированием.

Класс точности определяется элементной базой и плотностью монтажа. Плотность монтажа определяется шагом координатной сетки: чем меньше шаг, тем выше плотность монтажа. Для ПП 1 и 2 класса - используют дискретные элементы и шаг КС равен 2,5 мм; для ПП 3 класса - микросхемы, микросборки со штыревыми и планарными выводами, так же компоненты поверхностного монтажа, шаг КС равен 2,5 мм или 1,25 мм.

Методы изготовления ПП имеют 2 направления их получения:

- субтрактивный (удаление)
- аддитивный (прибавление)

Современные методы сочетают эти два направления.

## 2.2 Расчет элементов проводящего рисунка ПП

Таблица 1 Наименьшее номинальные значения основных размеров элементов конструкции

Условное Обозначение	Номинальное значение основных размеров для классов точности				
	1	2	3	4	5
t(мм) ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S (мм) расстояние между проводниками, контактными площадками, между проводником и контактной площадкой	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b (мм) гарантийный пояс	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025

2.2.1 Определение расстояния Q до элементов проводящего рисунка

а) от края платы - не меньше толщина ПП с учетом допуска на размеры сторон

Учитывая, что печатные проводники должны располагаться строго по координатной сетке вертикально, горизонтально, либо под углом 45 и КС является осью симметрии проводника, расстояние от края платы до проводника или КП - не менее 2 мм

б) от края неметаллизированного отверстия рассчитывается по формуле:

$$Q = q + K + \frac{\sqrt{T_D^2 + T_d^2 + \Delta t_{\text{во}}^2}}{2}, \quad (2.1)$$

где q – ширина ореола, скола по ГОСТ 23752-79

q = 1,2 мм для 1,2 класса точности } для печатных плат толщиной

q = 0,5 мм для 3,4 класса точности 1,5 – 2,0 мм

K - наименьшее расстояние от ореола, скола до соседнего элемента проводящего рисунка

K = 0,3 мм - для 1,2 кл. точности

K = 0,15 мм - для 3,4 кл. точности

T<sub>D</sub> - позиционный допуск расположения центров ПП (мм) (см.таблица 2);

T<sub>d</sub> - позиционный допуск расположения осей отверстий (см. таблица 3);

Δt<sub>во</sub> - верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (ширины печатного проводника) (см. таблица 4)

Таблица 2 Значения позиционных допусков расположения центров контактных площадок T<sub>D</sub>

Вид изделия	Размер по (большей стороне) ПП в мм	Значение $T_D$ в мм для класса точ-		
		1	2	3
Опп, дпп	До 180вкл	0,35	0,25	0,15
	Св. 180 до 360	0,40	0,30	0,20

Таблица 3 Значение позиционных допусков расположения осей отверстий  $T_d$

Размер (по большей стороне) ПП в мм	Значение позиционного допуска расположения осей $T_d$ в мм для классов точности		
	1	2	3
До 180 вкл.	0,20	0,15	0,08
Св. 180 до 360	0,25	0,20	0,10

Таблица 4 Предельные отклонения ширины печатного проводника контактной площадки  $\Delta t$  для узкого места:

Наличие металлического покрытия	Предельное отклонение элементов конструкции $\Delta t$ мм для кл. точности		
	1	2	3
Без покрытия	$\pm 0,15$	+ 0,10	+ 0,05
С покрытием	+ 0,25 -0,20	+ 0,15 -0,10	$\pm 0,10$

Таблица 5 Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий  $\Delta d$  в мм:

Диаметр отверстия $d$ в мм	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра $\Delta d$ в мм для класса точности		
		1	2	3
до 1,0 вкл.	нет	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,05
	есть	+0,05 -0,15	+ 0,05 -0,15	+ 0 -0,10
св. 1,0	нет	+ 0,15	+ 0,15	$\pm 0,10$
	есть	+ 0,10 -0,20	+ 0,10 -0,20	+ 0,05 -0,15

### 2.2.2 Определение диаметров монтажных и переходных отверстий

Диаметр монтажного отверстия рассчитывается по формуле:

$$d = d_3 + r + |\Delta d_{\text{но}}|, \quad (2.2)$$

где  $d_3$  - максимальное значение диаметра вывода ЭРИ (для прямо-

угольного вывода за диаметр берется диагональ его сечения) в мм

$\Delta d_{\text{но}}$  - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия в мм см. таблицу 5

$r$  - разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого ЭРИ

$r$  - выбирают от 0,1 до 0,4 мм при ручной установке и 0,4 до 0,5 мм - при автоматической.

Число типоразмеров любых отверстий на ПП следует ограничивать - это ограничение выбираем за счет  $r$ .

Рекомендуется применять не более трех типоразмеров монтажных и переходных отверстий в целях повышения технологичности изделия.

Диаметр переходного отверстия  $d_0$  увязывать с толщиной платы  $h$  таким образом, чтобы — было не менее  $1:3 \approx 0,33$

$$d_0 \geq h \cdot 0.33$$

В одно монтажное отверстие устанавливается вывод только одного ЭРИ. Центры отверстий размещать в узлах КС. Центры монтажных отверстий под неформуемые выводы многовыводных ЭРИ, межцентровые расстояния которых не кратны шагу КС, следует располагать так, чтобы в узле КС находился центр хотя бы одного из монтажных отверстий, а центры остальных - в соответствии с требованиями конструкции с указанием необходимых размеров.

### 2.2.3 Определение диаметров контактных площадок для монтажных и переходных отверстий

Контактные площадки (КП) являются частью проводящего рисунка. Они соединяются с металлизированными отверстиями в ДПП и неметаллизированными в ОПП.

Наименьшее номинальное значение диаметра контактной площадкой  $D$  в мм под выбранное отверстие рассчитывается по формуле:

$$D = (d + \Delta d_{\text{во}}) + 2b + \Delta t_{\text{во}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_p^2 + \Delta t_{\text{но}}^2}; \quad (2.3)$$

где  $\Delta d_{\text{во}}$  - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия

$b$  - гарантийный пояс (см. таблицу 1);

$\Delta d_{\text{тр}}$  - величина подтравливания диэлектрика в отверстии;

$\Delta d_{\text{тр}} = 0$  для ОПП и ДПП

$\Delta t_{\text{во}}$  - верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (диаметра КП) см. таблицу 4

$\Delta t_{\text{но}}$  - нижнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (диаметра КП) см. таблицу 4.

Расчетное значение округляется в большую сторону и сравнивается со значением Приложение А Таблицы 1

Если в плате нет узких мест, диаметры контактных площадок выбираются из Таблицы 1 Приложение А соответствующие более низкому классу.

#### 2.2.4 Определение размеров печатных проводников и их расположение

Печатные проводники выполняются постоянно возможно большей ширины на всем протяжении; располагаются равномерно на возможно большем расстоянии от соседних элементов проводящего рисунка при этом ведутся они по координатной сетке, количество перегибов должно быть минимальным; проводники вести кратчайшим путем.

В узком месте печатные проводники выполняются наименьшей номинальной ширины на возможно меньшей длине.

Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника устанавливают в зависимости от класса точности по таблице 1

Если узких мест нет, то ширину проводника определяют по формуле 4, используя данные таблицы 1 соответствующие более низкому классу.

Цепи питания и корпусные вести широкими проводниками, по возможности 2,5 мм, штрихуя расстояние между координатной сеткой, т.е. обозначая широкий проводник. Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$  в мм рассчитываем по формуле:

$$t = t_{\min} + |\Delta t_{\text{но}}|, \quad (2.4)$$

$t_{\min}$  – минимальная ширина печатного проводника (таблица 1)

Значение ширины печатного проводника записывают в технические требования чертежа печатной платы.

Если узких мест нет, то ширину проводника определяют по формуле 2.4, используя данные таблицы 1 соответствующие более низкому классу.

#### 2.2.5 Определение расстояния между элементами проводящего рисунка

Наименьшее номинальное расстояние между соседними элементами проводящего рисунка  $S$  в мм определяем по формуле:

$$S = S_{\min} + \Delta t_{\text{во}} + \frac{T_l}{2}; \quad (2.5)$$

где  $S_{\min}$  - минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка, выбираемое из расчета обеспечения электрической прочности изоляции.

$\Delta t_{\text{во}}$  - верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции см. таблицу 4

$T_l$  - значение позиционного допуска расположения печатного проводника в мм, согласно таблице 7:

Таблица 7 Значения позиционных допусков расположения печатного проводника

Вид изделия	Значение позиционного допуска расположения печатного проводника $T_1$ , мм, для класса точности				
	1	2	3	4	5
ОПП; ДПП; ГПК; МПП (наружный слой)	0,2	0,10	0,05	0,03	0,02
МПП (внутренний слой)	0,3	0,15	0,10	0,08	0,05

$T_1 = 0,2$  для 1 кл. точности;  $T_1 = 0,10$  для 2 кл. точности;  $T_1 = 0,05$  для 3 кл. точности.

Если узких мест нет, то номинальное расстояние устанавливают в соответствии с Таблицей 1 по более низкому классу.

Проверку параметра  $S$  - расстояние между двумя контактными площадками произвести по Таблице 2 Приложение А

Наименьшее номинальное расстояние  $L$  в мм между центрами двух отверстий с контактными площадками диаметрами  $D_1$  и  $D_2$  для прокладки  $n$ -го числа печатных проводников рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{D_1 + D_2}{2} + t \cdot n + S(n + 1) + T_1; \quad (2.6)$$

где  $n$  - число проводников.

## 5 Порядок выполнения работы

5.1 Определить к какому типу и классу относится печатная плата, выданная преподавателем и какой метод изготовления лежит в основе её получения, чтобы рассчитать оптимальные конструктивно-технологические параметры: ширину печатных проводников, расстояния между элементами проводящего рисунка, величину контактных площадок.

5.2 Определить диаметры выводов радиокомпонентов по справочнику ( $d_3$ ).

5.3 Рассчитать расстояние от края неметаллизированного отверстия до элементов проводящего рисунка ( $Q$ ).

5.4 Рассчитать номинальный диаметр монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий ( $d$ ).

5.5 Рассчитать диаметр контактной площадки под монтажное отверстие ( $D$ ).

5.6 Результаты значений параметров проводящего рисунка свести в таблицу

Условное обозначение	Диаметр отверстия в мм	Наличие металлизации	Диаметр контактной пло-	Количество отверстий
⊕				
⊕				
⊕				

5.7 Рассчитать наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника ( $t$ ).

5.8 Рассчитать наименьшее номинальное расстояние между соседними элементами проводящего рисунка ( $S$ ).

5.9 Рассчитать наименьшее номинальное расстояние между центрами двух отверстий ( $L_{\text{ном}}$ ).

5.10 Сравнить рассчитанное значение  $L$  с  $L_3$ , где  $L_3$ - заданное значение - расстояние между центрами монтажных отверстий с контактными площадками  $D_1$  и  $D_2$ . При  $L < L_3$ , прокладка  $n$ -го количества проводников возможна. При  $n = 1$ , значение  $L$  сравниваем со значением таблицы Приложения А.

5.11 Результаты значений параметров проводящего рисунка сводим в таблицу

Параметры элементов	Размеры в мм	Размеры в узком месте в мм
Ширина проводников		
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой		

5.12 Составить вывод.

5.13 Ответить на контрольные вопросы.

## 6 Содержание отчета:

6.1 Наименование работы.

6.2 Цель работы.

6.3 Произведенные расчеты.

6.4 Выводы.

6.5 Ответы на контрольные вопросы

## 7. Контрольные вопросы

- 7.1 Какие виды монтажа радиоэлементов вам известны, назовите их.
- 7.2 Как подразделяются по типу печатные платы?
- 7.3 Чем определяется класс точности печатной платы?
- 7.4 На каком минимальном расстоянии от края ПП можно вести печатные проводники?
- 7.5 Как определяется ширина печатных проводников?
- 7.6 Назовите допустимое количество типоразмеров монтажных и переходных отверстий на одной печатной плате.

## **8 Список литературы**

- 8.1 Черепашин А.А. Материаловедение: Учебник для СПО / А.А. Черепашин.- М.: ЭБС Юрайт 2023
- 8.2 Журавлева Л.В. Электрорадиоматериаловедение: Учебник для нач. проф. образования – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2022.
- 8.3.Проектирование цифровых устройств. Профессиональный модуль: Учебник для СПО / А.В. Кистрин, Б.В. Костров, М.Б. Никифоров и др.- М.: КУРС,2019.- 352с. ЭБС Знаниум 2019
- 8.4 Баканов Г.Ф. Конструирование и производство радиоаппаратуры: учебник для студ. учреждений СПО/ Г.Ф.Баканов, С.С.Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 384с.
- 8.5 РД 50-708-91 «Инструкция платы печатные. Требования к конструированию».



**Практическое занятие № 36**  
**Определение собственной частоты вибрации печатной платы**  
**Практическое занятие № 37**

**Создание и редактирование схем цифровых устройства в среде  
NIMultisim**

**1 Цель работы:**

научиться создавать и редактировать электрические схемы, содержащих цифровые компоненты;

подготовить базу данных электрических схем, содержащих цифровые компоненты для дальнейшей работы в программе **NI Utiboard**;

**2.Время выполнения работы – 2 часа**

**3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

1. Персональный компьютер
2. Программа Multisim11
3. Набор электрических схем, содержащих цифровые компоненты

4. Краткие теоретические сведения

Программа Multisim может создавать, редактировать и моделировать аналоговые, аналогово-цифровые и цифровые схемы.

Программа Multisim 11 позволяет осуществлять моделирование электрических и электронных схем. Процесс “рисования” схемы в программе Multisim включает в себя выбор и добавление компонентов, соединение их проводниками, заземление схемы и разметку узлов.

**Последовательность построения схем**

Размещение компонентов

Существуют несколько способов выбора компонентов:

С помощью панелей компонентов

Для выбора элементов нужно использовать проводник компонентов



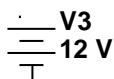
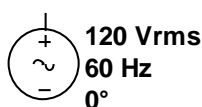
В проводнике компонентом имеются различные группы компонентов



Каждая группа подразделяется на семейства.

Источники питания

V2



и заземление выбираются в

группе ,

в семействах **AC POWER** и **DC POWER** соответственно

резисторы и конденсаторы в группе  транзисторы и диоды в группах

 и  соответственно

Приборы выбираются на панели инструментов



2) С помощью меню Multisim (кнопка «вставить») и диалогового окна «компонент» .

Виртуальный компонент представляет собой идеальный компонент, такой, например, как диод, резистор, имеющий нестандартное значение, операционный усилитель (ОУ) и так далее.

Параметры компонентов изменяются с помощью диалогового окна вызываемого двойным щелчком. Рассмотрим, как выполнять цифровое и аналогово-цифровое моделирование. Примеры схем достаточно просты, но их можно использовать и при работе с более сложными схемами, применяя анализ переходных процессов или работая в виртуальной лаборатории.

### **5. Порядок выполнения работы:**

**5.1** Собрать схемы ( приложение 1), в программе Multisim

**5.2** Выполнить измерение параметров электрических сигналов в цепях виртуальных электронных устройств, содержащих цифровые компоненты

**5.3.** Убедиться , что схемы выполняют соответствующие операции

### **6. Содержание отчета:**

1 Папка на рабочем столе ПК с набором схем.

### **7. Литература и средства обучения:**

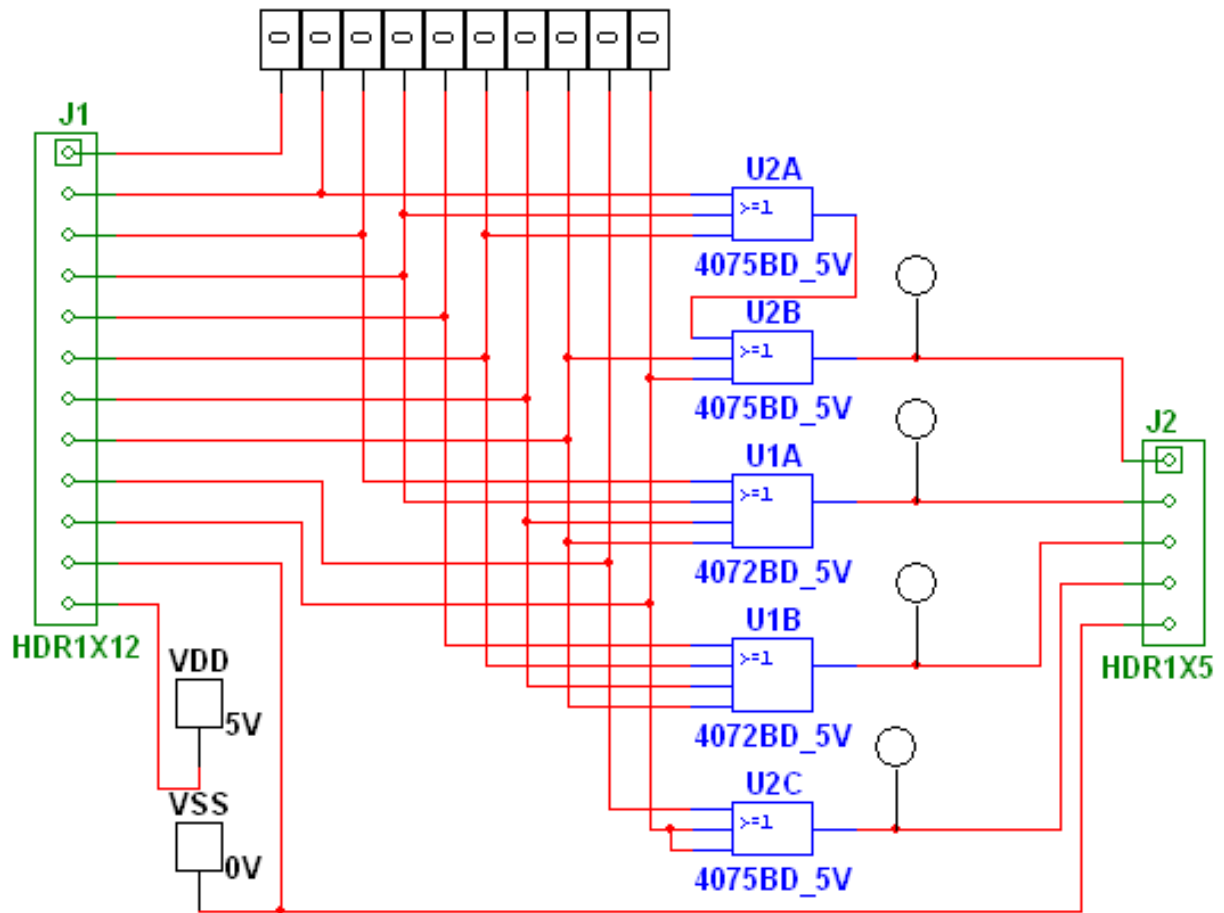
7.1 Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

7.2 Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360

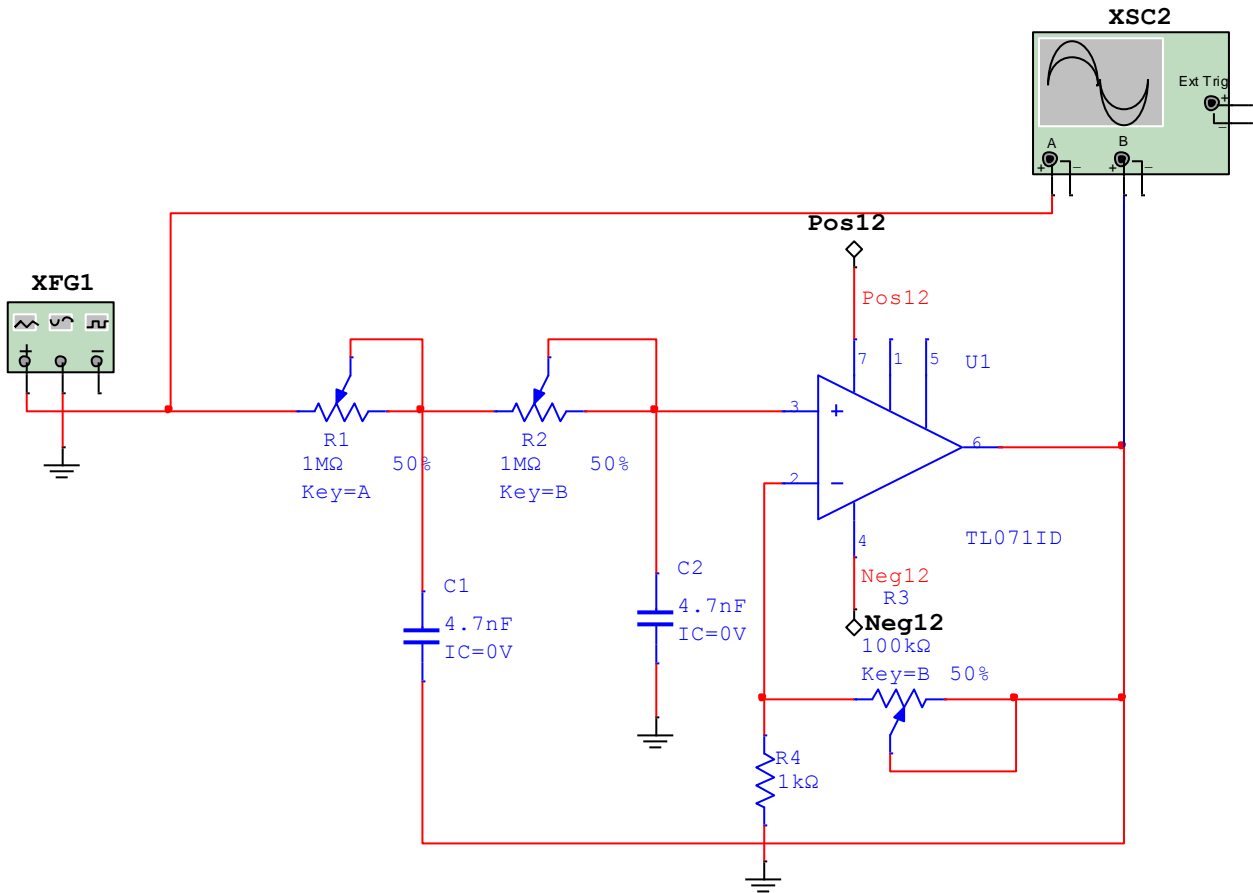
1 Multisim . Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2008. – 488 с; ил.

2 Методические указания для выполнения практического занятия

Схема 1 (Шифратор 10 на 4)



Cxema1



Cxema 2

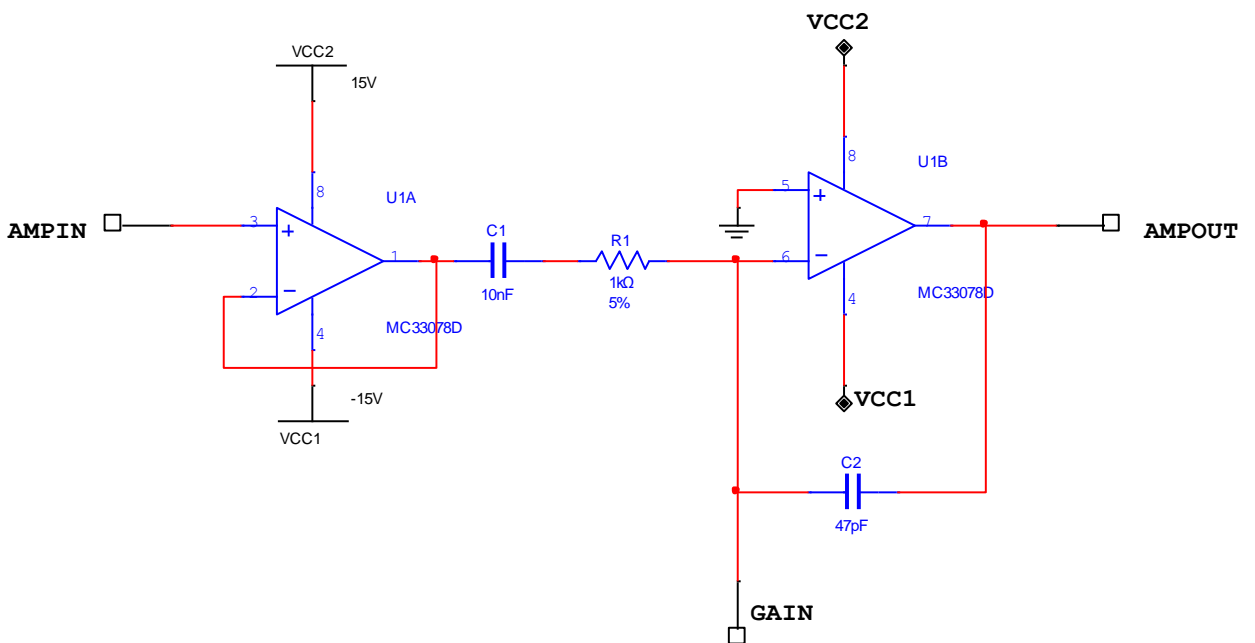


Схема 3

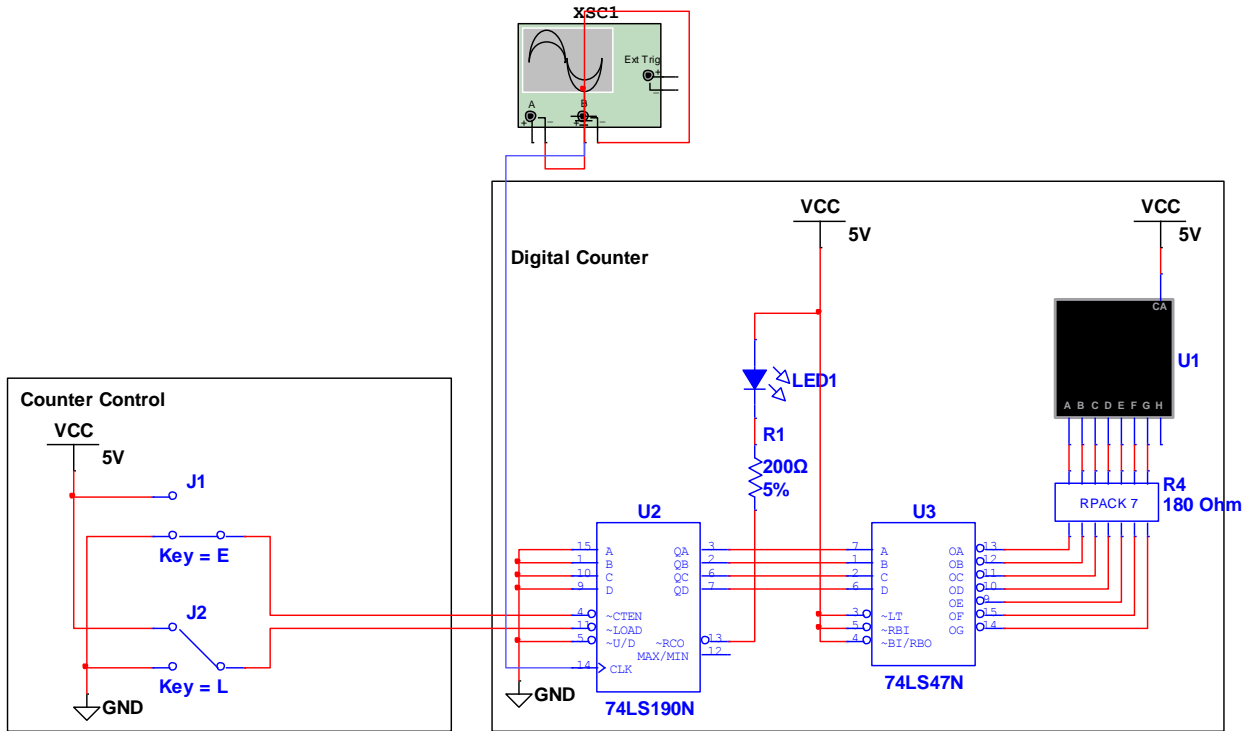


Схема 4

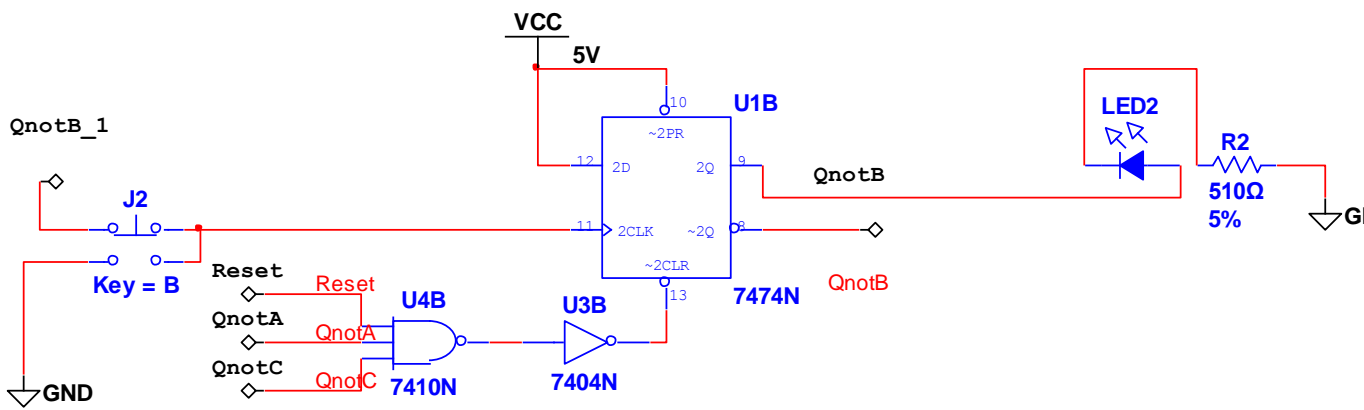
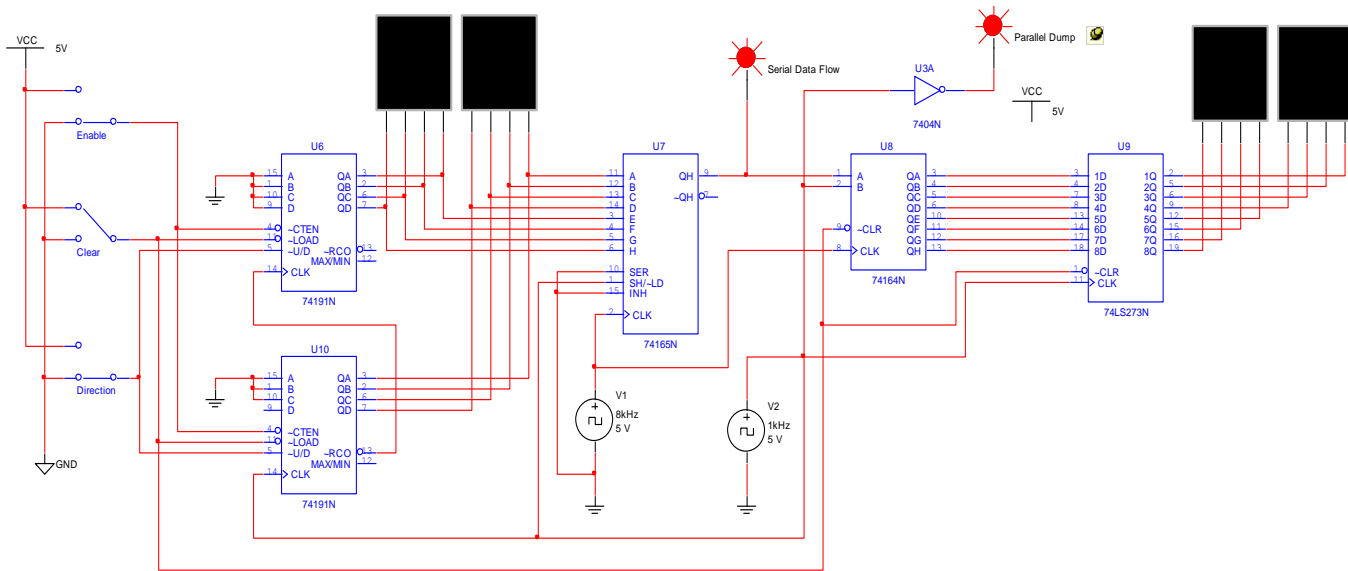


Схема 5



## Практическое занятие № 38 Моделирование схем цифровых устройств в среде NI Multisim

### 1 Цель работы:

научиться моделировать электрические схемы и приобрести практические навыки в измерении параметров электрических сигналов в цепях виртуальных электронных устройств содержащих цифровые компоненты

### 2.Время выполнения работы –2 часа

### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа Multisim 11

### 4. Краткие теоретические сведения

Программа Multisim может моделировать аналоговые, аналогово-цифровые и цифровые схемы. Рассмотрим, как выполнять цифровое и аналогово-цифровое моделирование. Примеры схем достаточно просты, но их

можно использовать и при работе с более сложными схемами, применяя анализ переходных процессов или работая в виртуальной лаборатории.

#### 4.1 Цифровые индикаторы, генераторы сигнала и инструменты

Чтобы продемонстрировать работу с различными инструментами и индикаторами цифровых моделей, проведем анализ данной схемы:

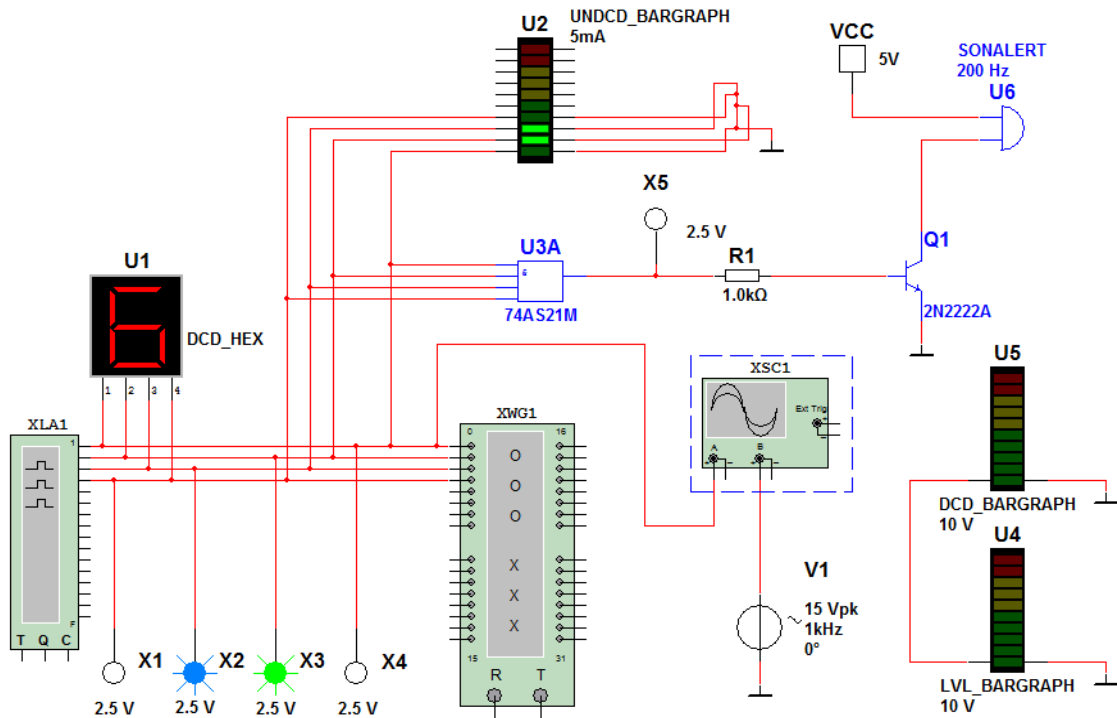
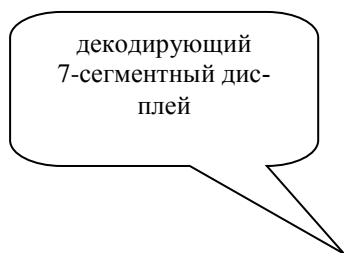


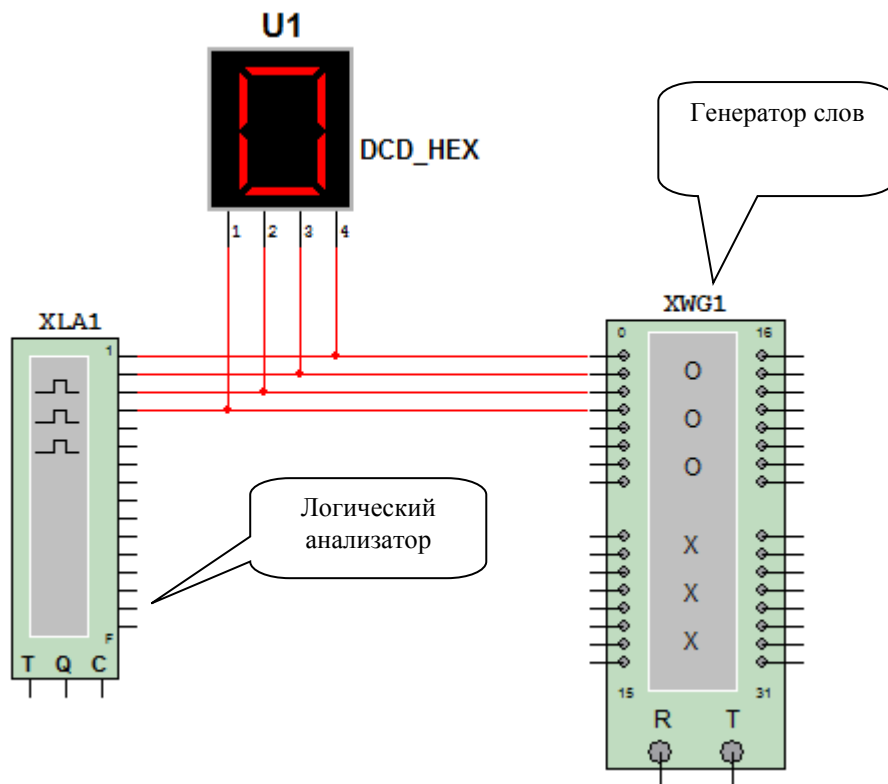
Рис. 1

Это довольно большая схема, поэтому будем создавать ее постепенно, проводя подробный анализ после каждого шага. Схема содержит инструменты WordGenerator, LogicAnalyzer и Oscilloscope, индикаторы, зуммер (buzzer), логический элемент и несколько диаграмм. С помощью данных компонентов будем моделировать и изучать поведение цифровых схем.

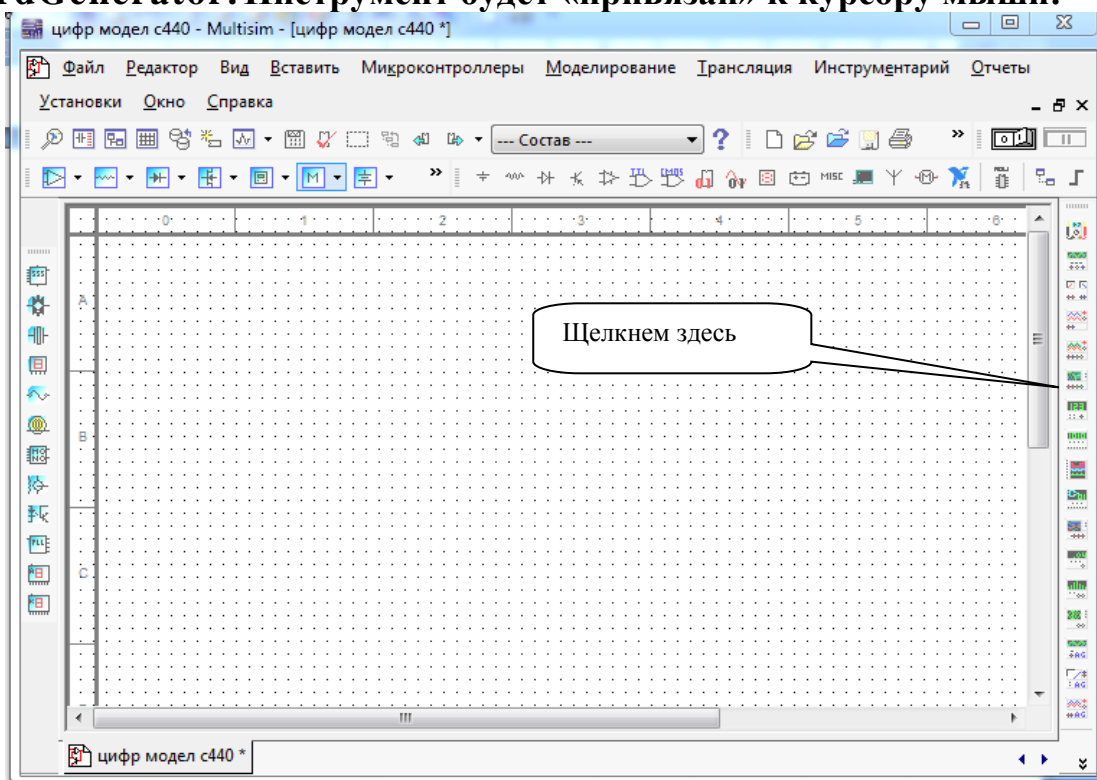
#### 3.1.1 Инструменты Word Generator и Logic Analyzer

Сначала сформируем часть данной схемы:



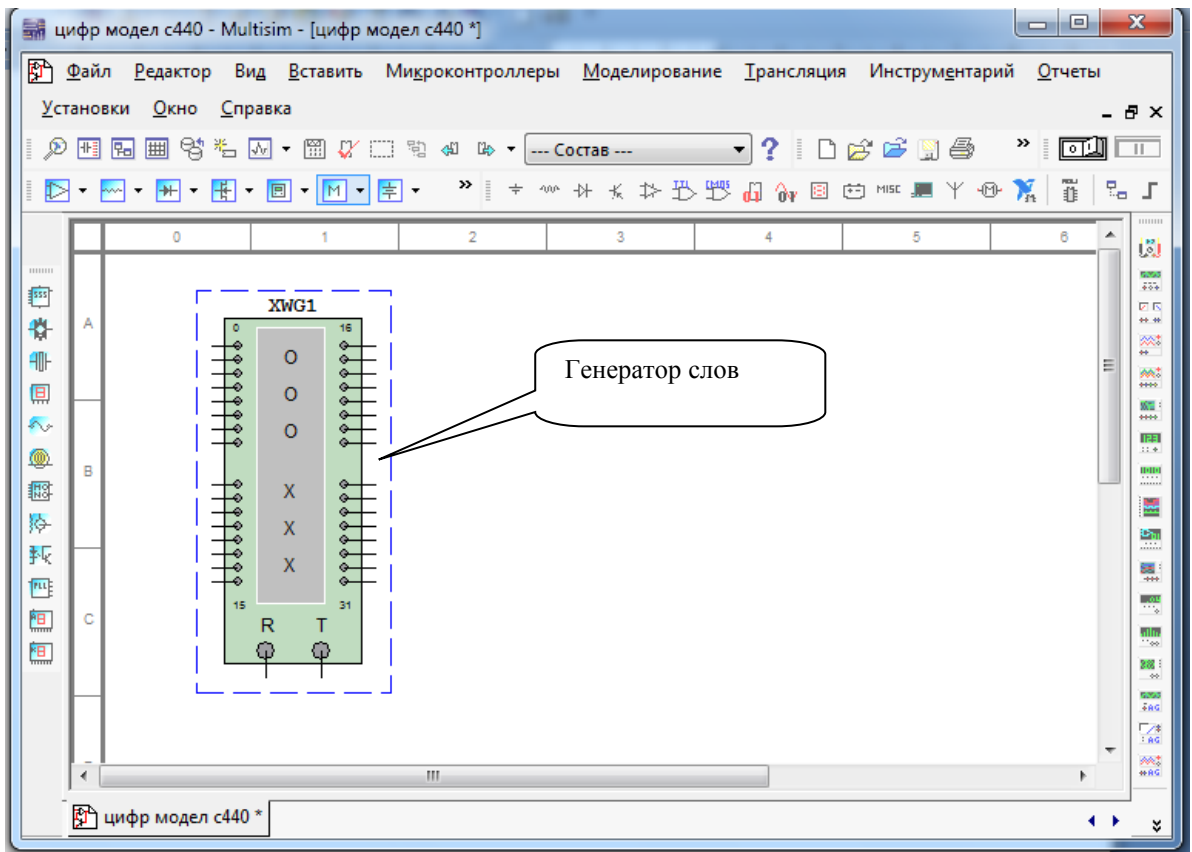


**Инструменты WordGenerator (генератор слов) и LogicAnalyzer (логический анализатор) находятся на панели инструментов Instruments. Чтобы добавить инструмент WordGenerator, щелкнем кнопку WordGenerator. Инструмент будет «привязан» к курсору мыши:**

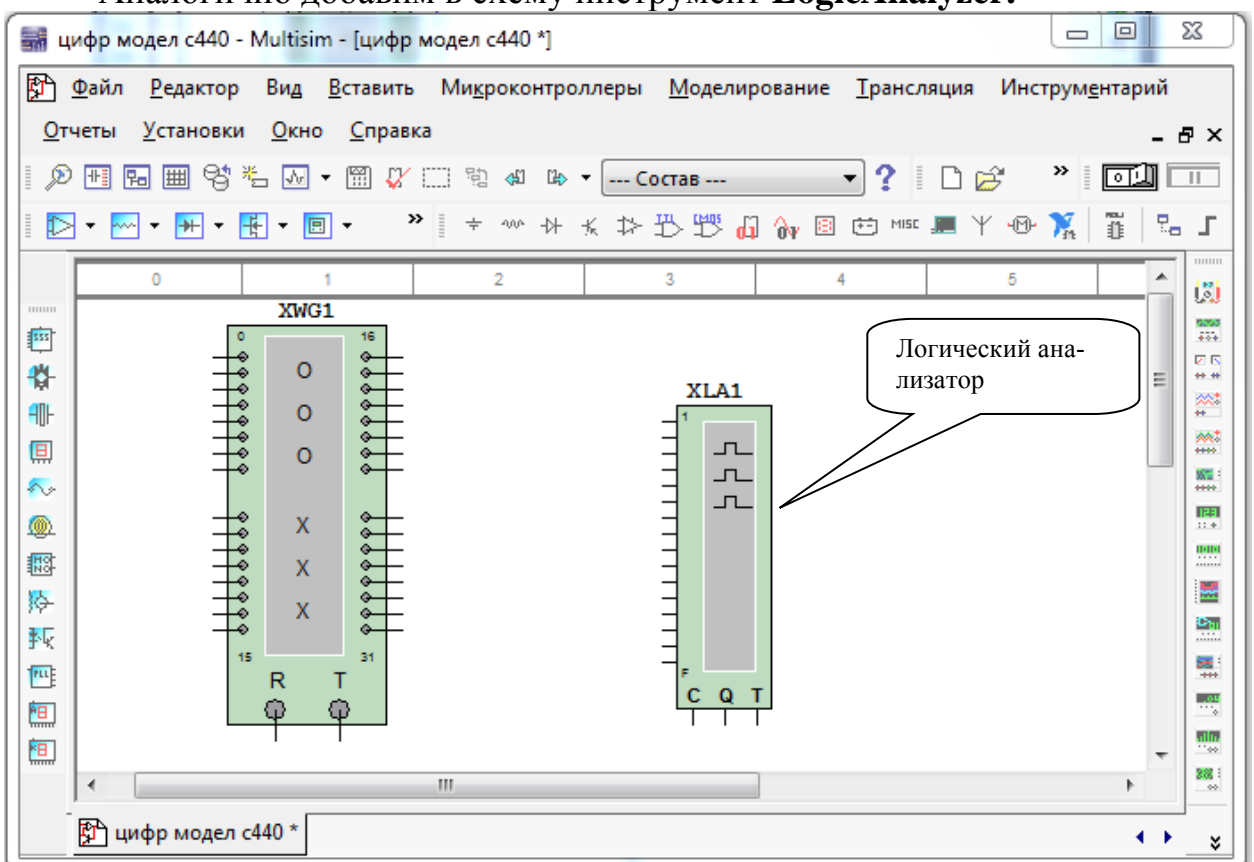


**Переместим курсор мыши в нужное положение и щелкнем *ЛЕВОЙ* кнопкой мыши, добавив компонент в схему:**

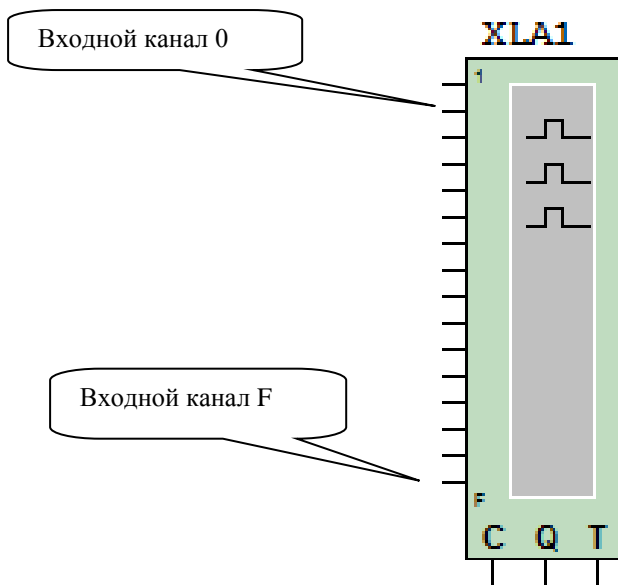




Аналогично добавим в схему инструмент **LogicAnalyzer**.

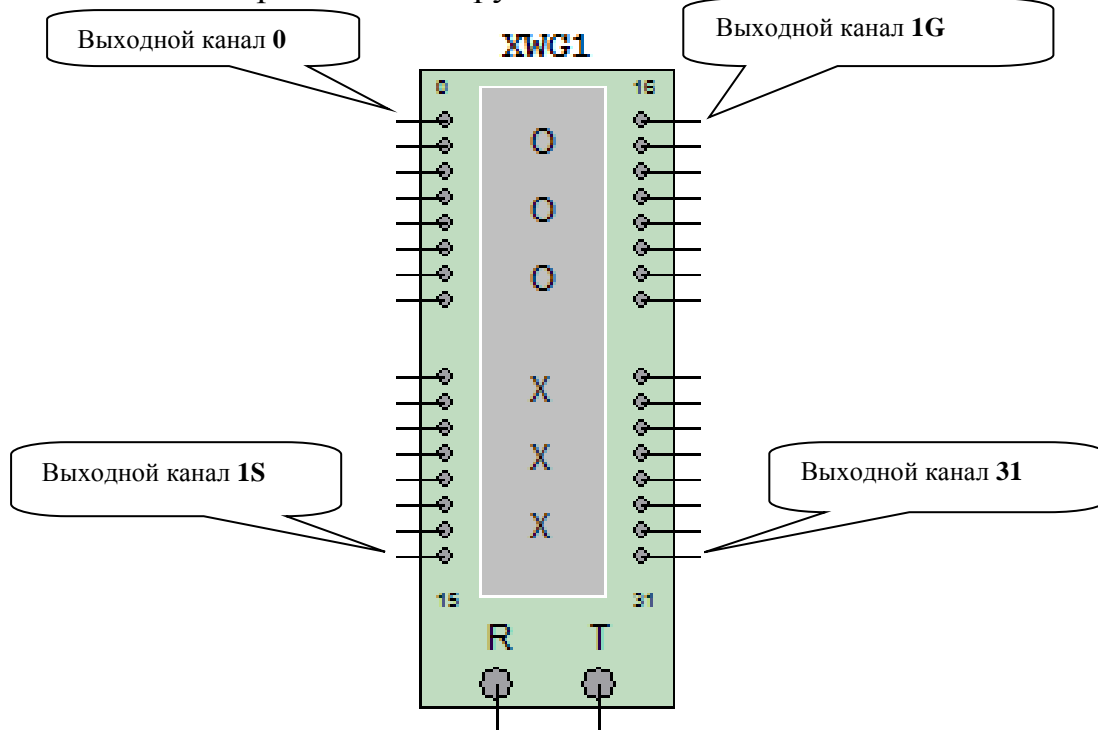


Рассмотрим более внимательно условные изображения инструментов **LogicAnalyzer** и **WordGenerator**. Изображение инструмента **LogicAnalyzer** показано ниже:



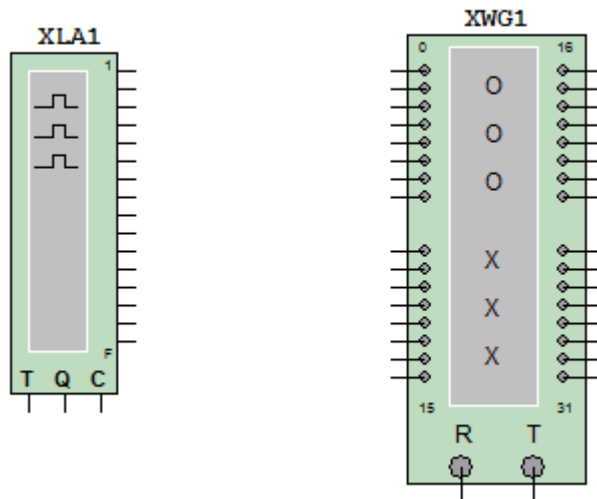
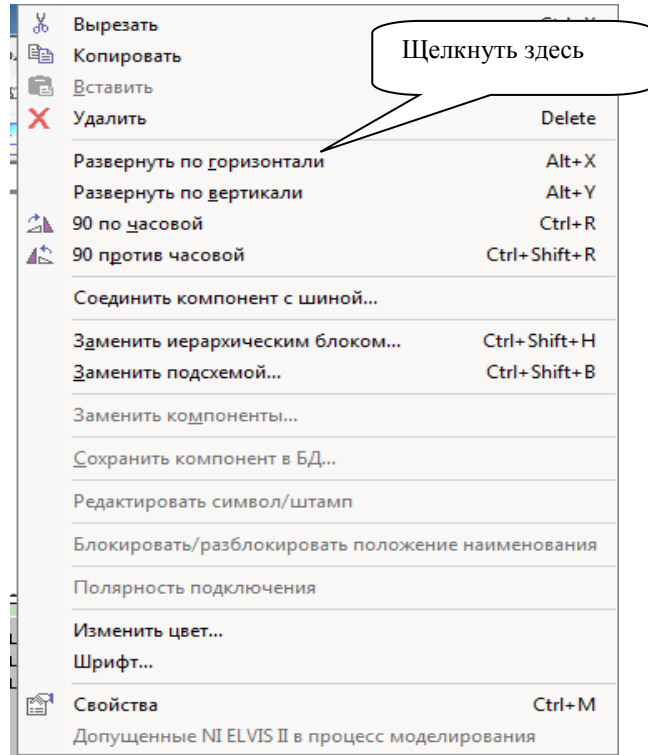
Он имеет 16 входов, помеченных цифрами от 1 до F(а не от 0 до F). При работе с логическими схемами учтите, что F — это шестнадцатеричное число, которое соответствует числу 15 в десятичной системе исчисления или числу 1111 в двоичной системе. Можно одновременно отобразить все 16 входов инструмента **LogicAnalyzer**. С помощью ярлыков 1 и Fопределим, какой вход является первым, а какой — последним.

Условное изображение инструмента **WordGenerator**показано ниже



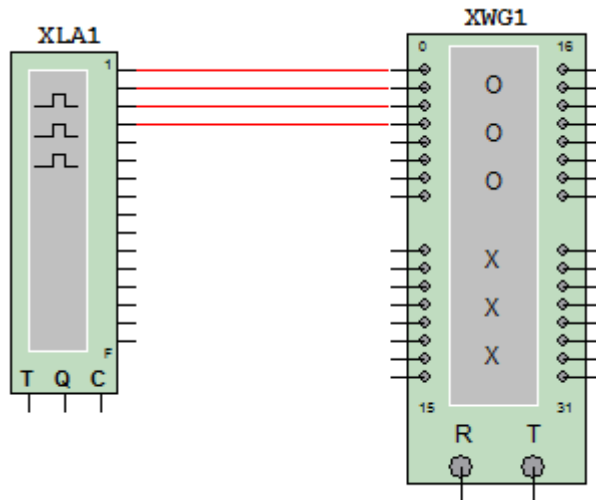
Он имеет 32 выхода, помеченных от 0 до 31. Каждый выход создает логический сигнал, который может использоваться как входной для логической схемы. Выход любого канала является независимым от других каналов.

В данном примере будут использоваться первые 4 вывода инструментов **WordGenerator** и **LogicAnalyzer**. Чтобы упростить работу с инструментами, надо перевернуть **LogicAnalyzer** по горизонтали, направив входные контакты в сторону инструмента **WordGenerator**. Щелкнем правой кнопкой мыши по иконке **LogicAnalyzer**. Появится меню:

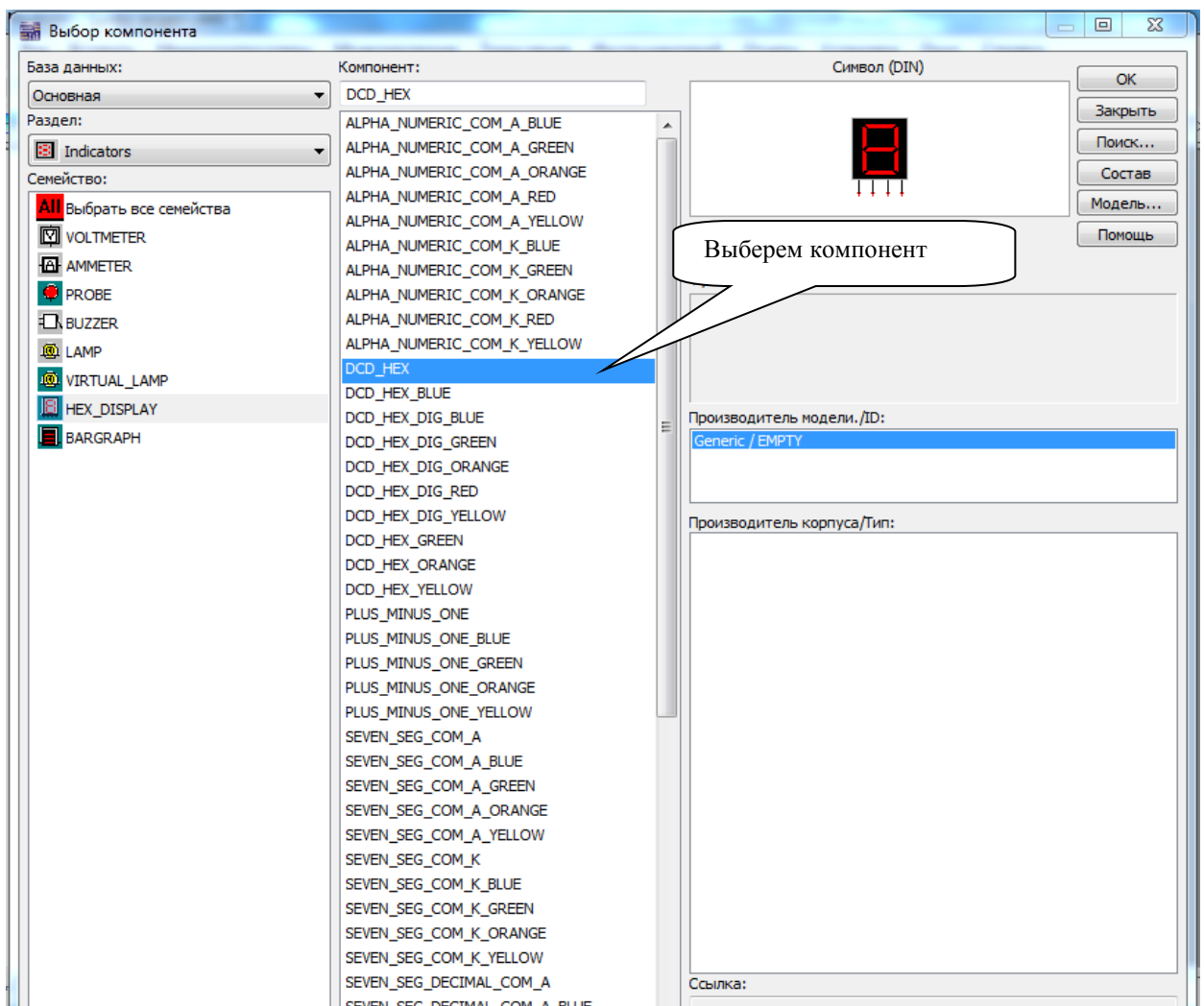


Теперь входные контакты инструмента **LogicAnalyzer** находятся справа.

Далее соединим инструменты **LogicAnalyzer** и **WordGenerator**. Возможно, понадобится переместить один из инструментов вверх или вниз:



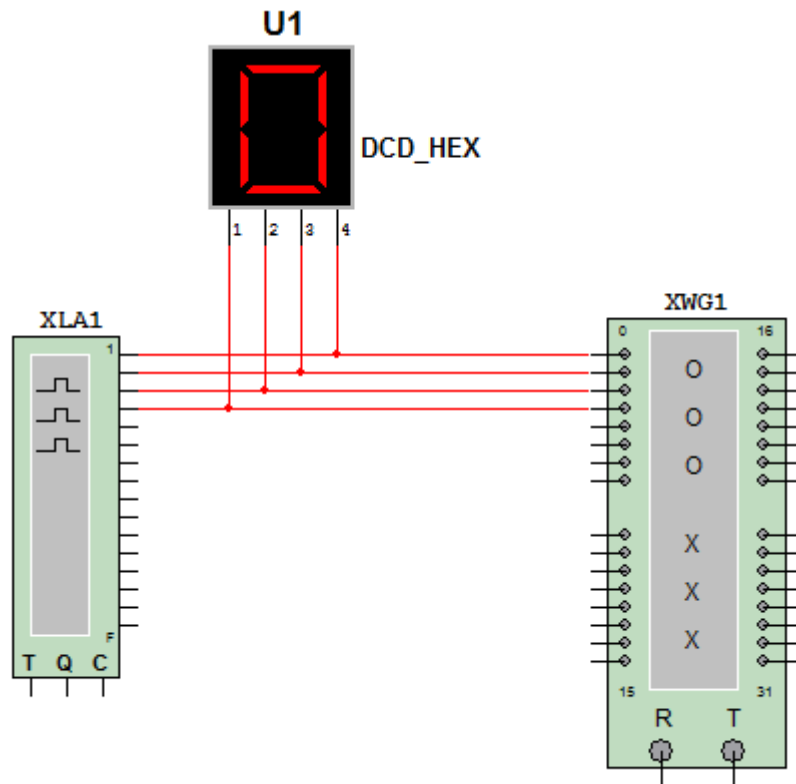
Теперь введем в схему декодирующий 7-сегментный дисплей. Этот компонент находится в группе **Indicator(Индикатор)**. Нажмем кнопку **Indicator** в окне **Выбор компонента**:



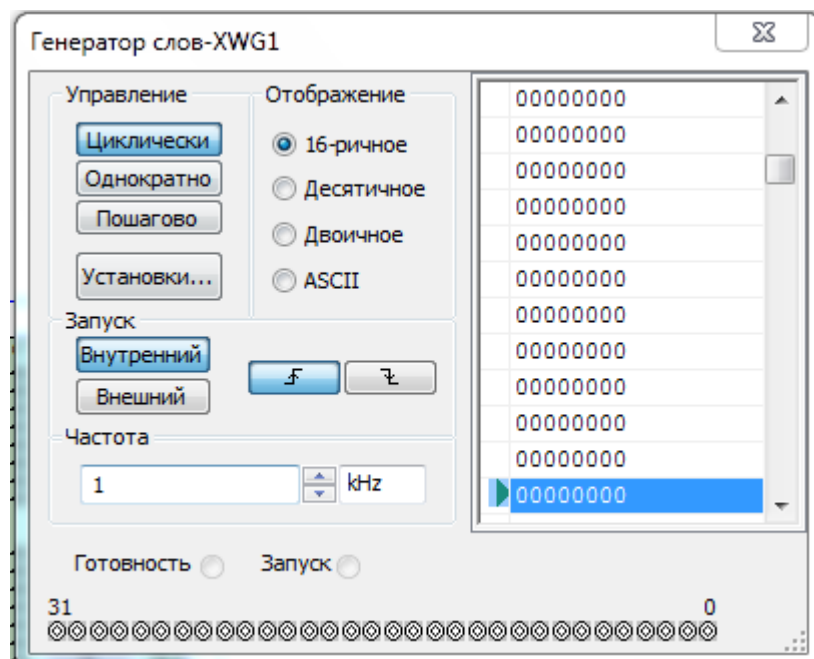
Компонент **DCD\_HEX** представляет собой индикатор с 7 сегментами. Это позволяет подать на 4 входа двоичный код от 0000 до 1111 и на буквен-

но-цифровом дисплее получить его шестнадцатеричный эквивалент от 0 до F. Система преобразования входных двоичных сигналов встроена в компонент.

Подключим компонент так, как показано:

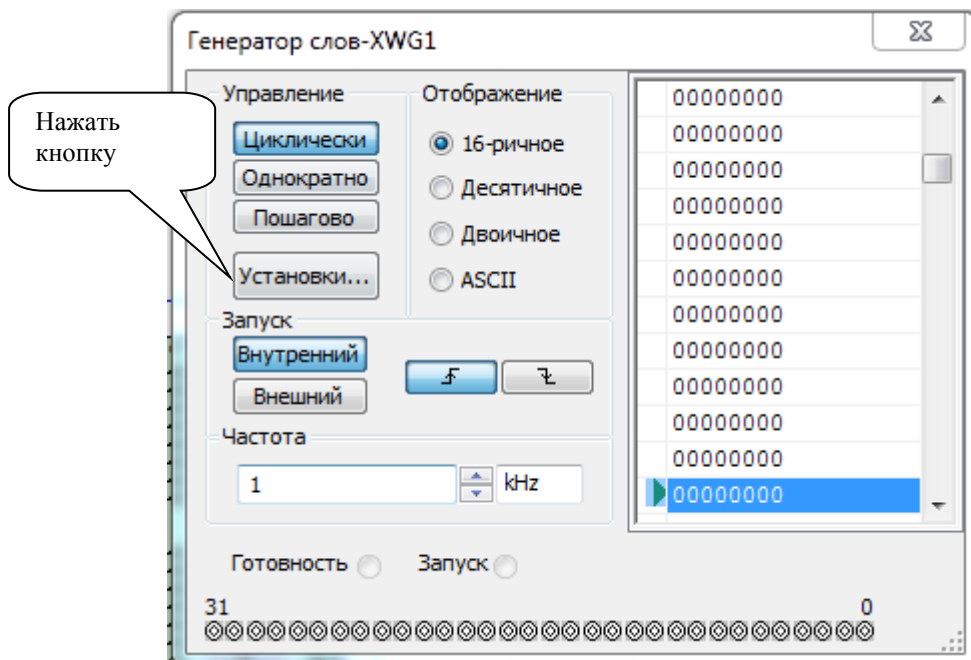


Последнее, что следует сделать до моделирования, — это запрограммировать инструмент **WordGenerator**. Дважды щелкнем по компоненту **WordGenerator**:

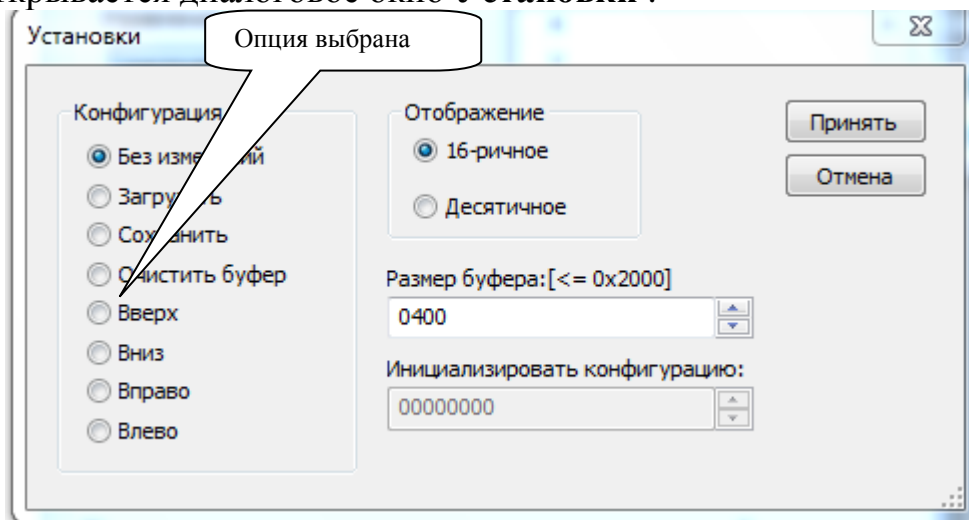


Чтобы инструмент **WordGenerator** выполнял счет от 0 до 15 (P) и обратно, нам потребуется 30 (1E) значений, которые займут 30 ячеек памяти инструмента **WordGenerator**. Необходимы только 30 ячеек, поскольку придется возвращаться к ячейке, в которой записан 0.

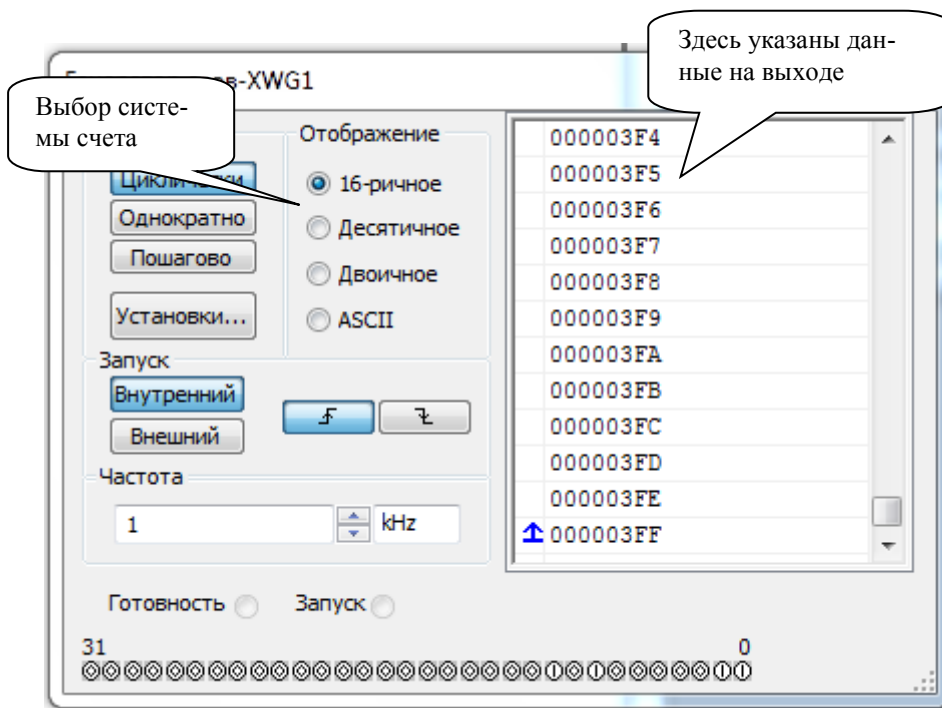
Можно автоматически создать возрастающие значения. Нажмем кнопку Set (**Установки**):



Открывается диалоговое окно **Установки** :



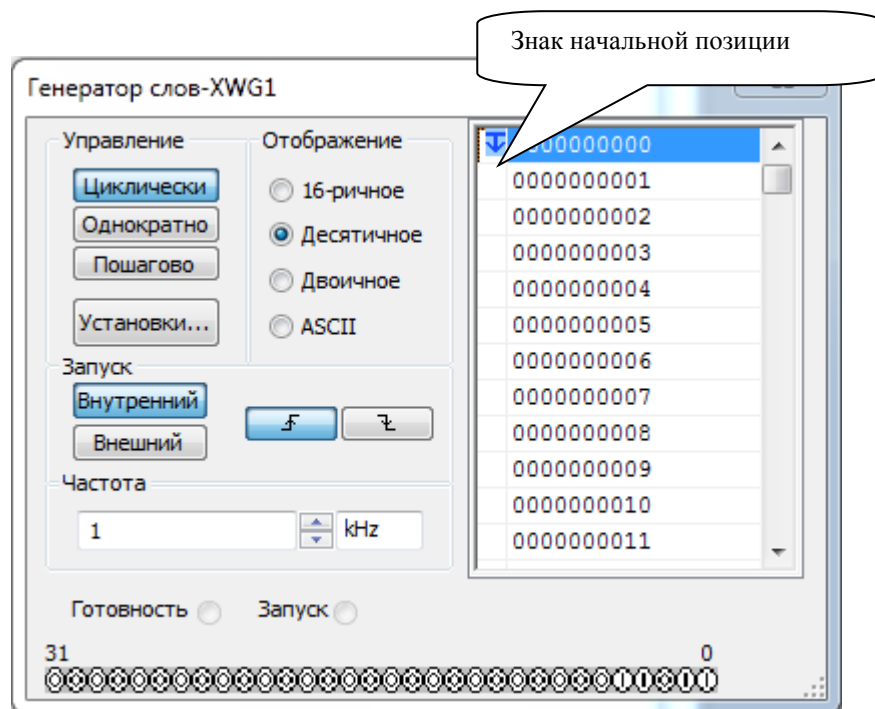
Это диалоговое окно позволяет загрузить и сохранить данные в файл, а также создать стандартные системы счета. Выберем опцию UpCounter (**Вверх**) и нажмем кнопку Ассерт(**Принять**).



Для создания нисходящей системы счета необходимо выбрать опцию DownCounter (**Вниз**).

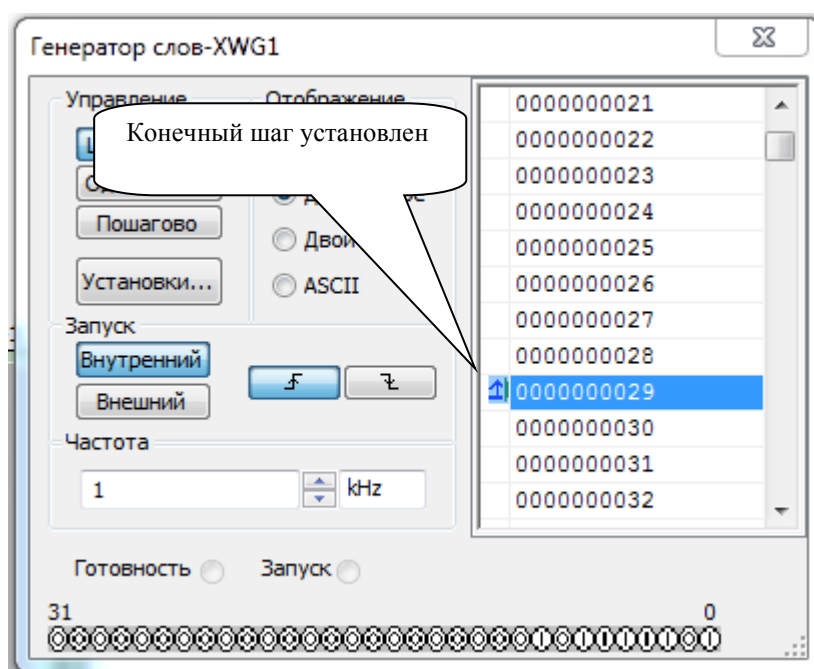
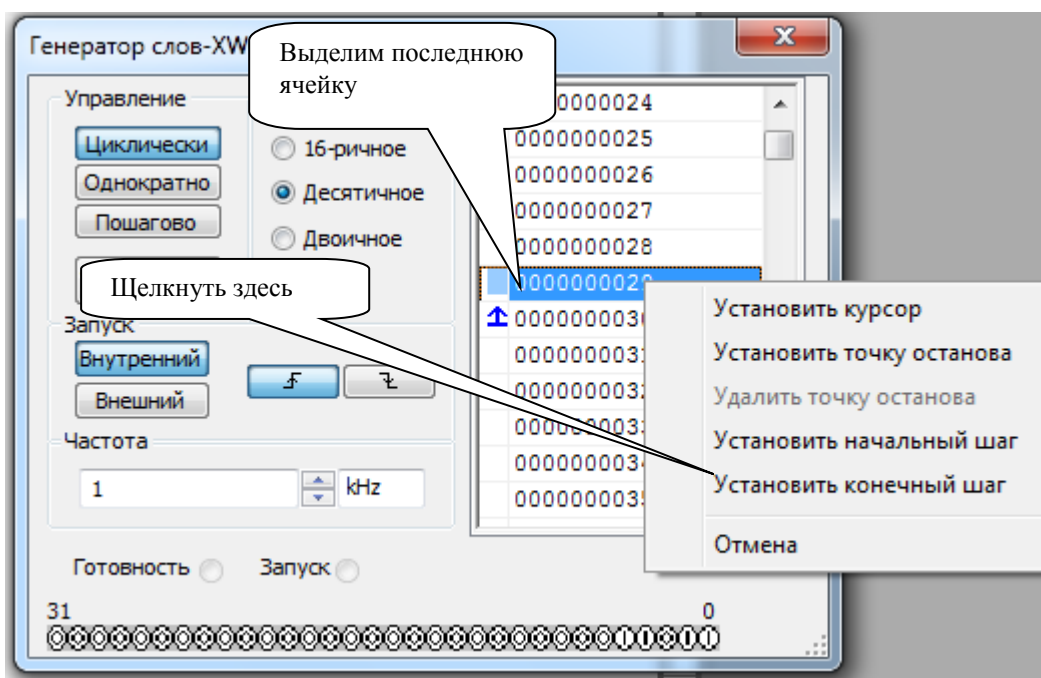
На табло **Отображение** можно изменять систему счета, нажимая соответствующую кнопку.

Далее сообщим инструменту **WordGenerator**, где находятся начальная и конечная ячейки данных. Моделирование начинается в начальной ячейке данных и завершается в конечной. По умолчанию начальная ячейка имеет значение 0 и обозначается синей стрелкой, направленной вниз.



Новый цикл моделирования начнется в ячейке, которая содержит индикатор начального положения.

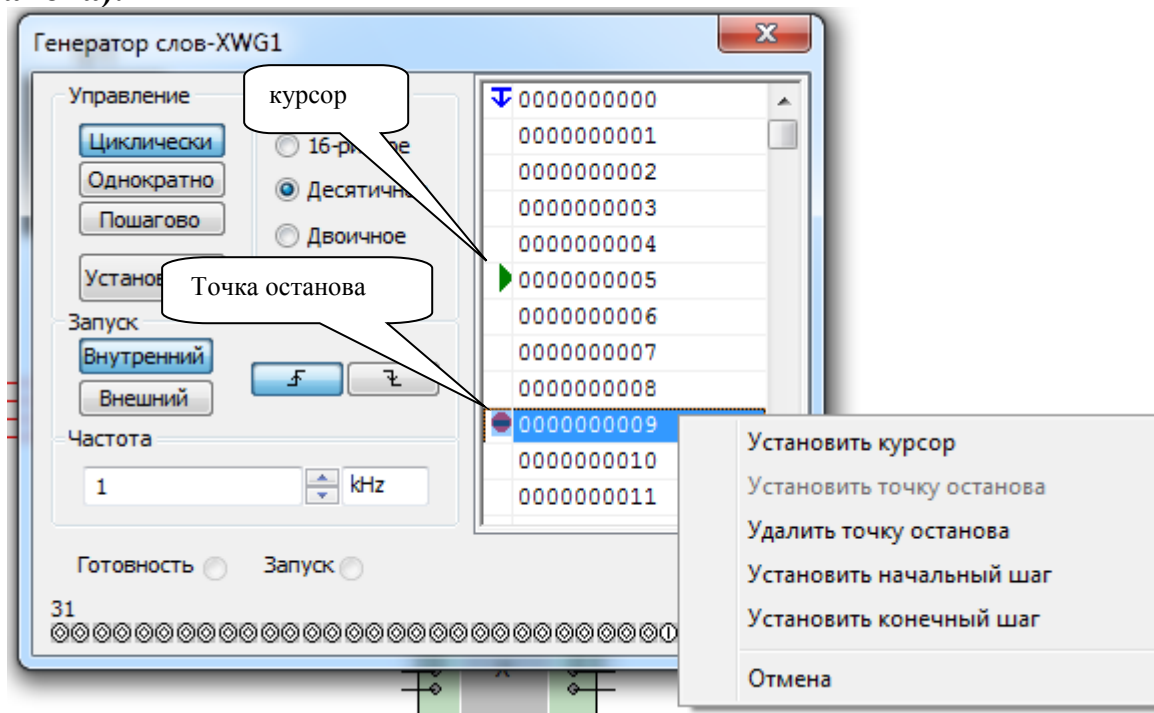
По умолчанию конечная ячейка данных располагается после всех 1024 ячеек. В данном примере используются только 30 ячеек данных (с адресами от 0 до 29), поэтому необходимо переместить индикатор конечной ячейки. Найдем последнюю ячейку в последовательности и щелкнем по ней правой кнопкой мыши:





Видно, что индикатор конечного положения появился рядом с последней запрограммированной ячейкой памяти. При выполнении моделирования инструмент **WordGenerator** будет проходить цикл только для данных, расположенных между индикаторами начального и конечного положения.

Запрограммировав **WordGenerator**, надо выбрать режим его работы. Режим **Cycle(Цикл)** обозначает, что инструмент **WordGenerator** последовательно выводит содержимое каждой ячейки памяти от начальной до конечной. Когда инструмент достигает конечной ячейки, он возвращается к начальной и повторяет цикл. В режиме **Cycle** цикл будет повторяться до тех пор, пока не будет остановлено моделирование. В режиме **Burst(однократно)** цикл будет повторен только один раз. В режиме **Step(Пошагово)** будет выведено содержимое лишь одной ячейки. При щелчке по кнопке **Step** инструмент **WordGenerator** будет переходить к следующей ячейке, выводя ее содержимое. Индикатор будет указывать на данную ячейку, пока вновь не будет нажата кнопка **Step**. Этот режим полезен при отладке схем. Если во время программирования инструмента **WordGenerator** щелкнуть по ячейке памяти правой кнопкой мыши и выбрать опцию **SetBreak-Point (Настроить точку останова)**, данная ячейка будет настроена как точка прерывания. **WordGenerator** остановится в точке прерывания в режиме **Cycle** или **Burst**. Процесс перемещения по ячейкам не возобновится до тех пор, пока не будет нажата кнопка **Cycle**, **Burst** или **Step**. Чтобы удалить точку прерывания, щелкнем по ячейке памяти и выберем команду **RemoveBreak-Point (Удалить точку останова)**:

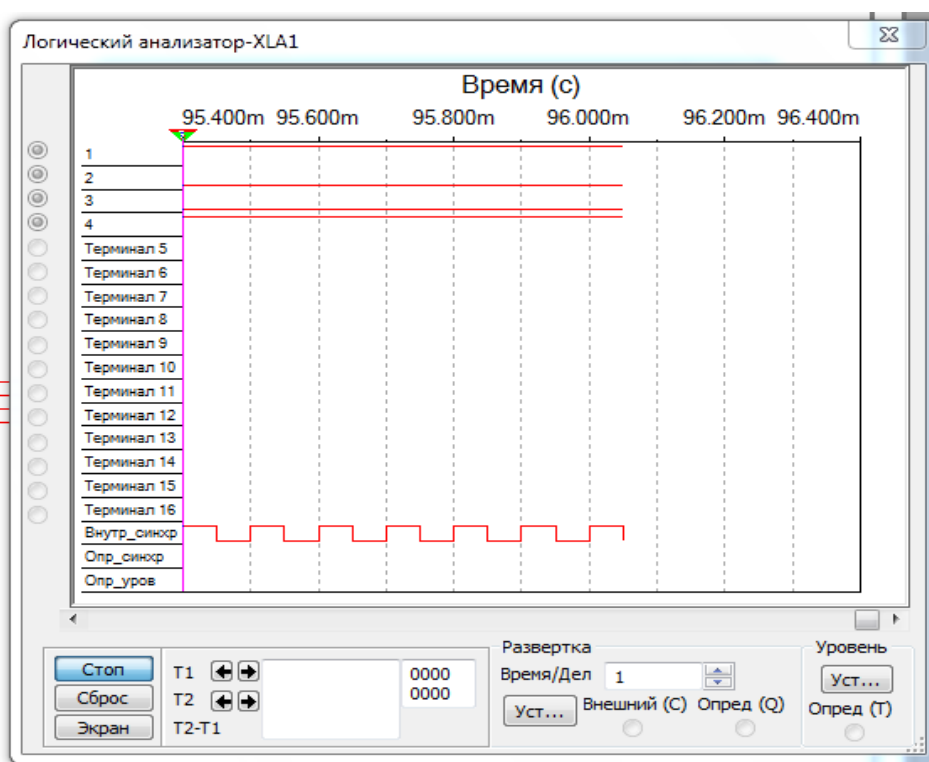


Во время моделирования курсор в окне **WordGenerator** указывает на текущую ячейку: В начале моделирования инструмент **WordGenerator** начнет вывод данных с текущей ячейки. В процессе моделирования курсор будет перемещаться по ячейкам, которые обрабатываются инструментом

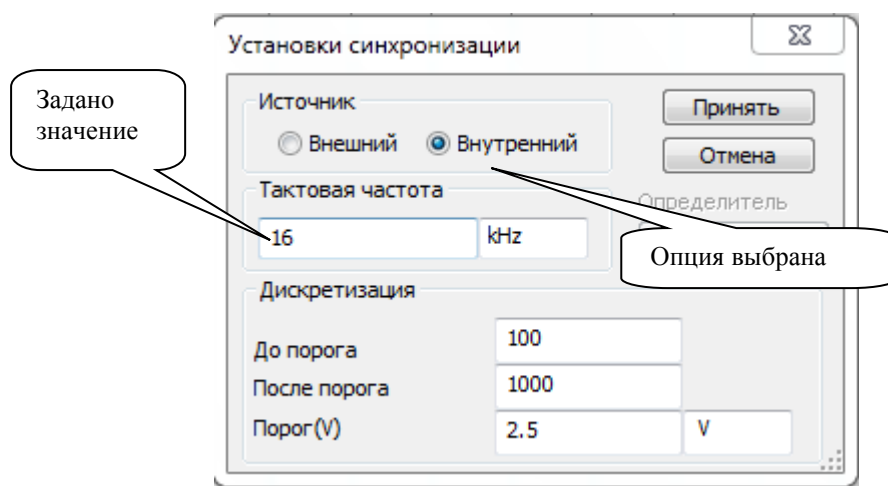
**WordGenerator.** Остановив моделирование, можно щелкнуть по ячейке и выбрать команду **SetCursor (Настроить курсор)**, чтобы изменить положение курсора. Все готово к моделированию. Убедимся в том, что окно **WordGenerator** не закрывает цифробуквенный дисплей **U1**, и нажмем кнопку **Cycle**. При нажатии этой кнопки начнется моделирование. Будет видно, как дисплей изменит значение от 0 до F, а потом — обратно до 0. Будет подсвечиваться также текущая ячейка памяти.

Пользуясь кнопками **Burst** и **Step**, можно изучить работу инструмента **WordGenerator**. Помните, что в режиме **Step** для перехода к новой ячейке памяти надо каждый раз нажимать кнопку **Step**.

С помощью функции **LogicAnalyzer** будем изучать диаграммы логических сигналов. Дважды щелкнем по иконке **LogicAnalyzer**, чтобы открыть окно, показанное ниже:

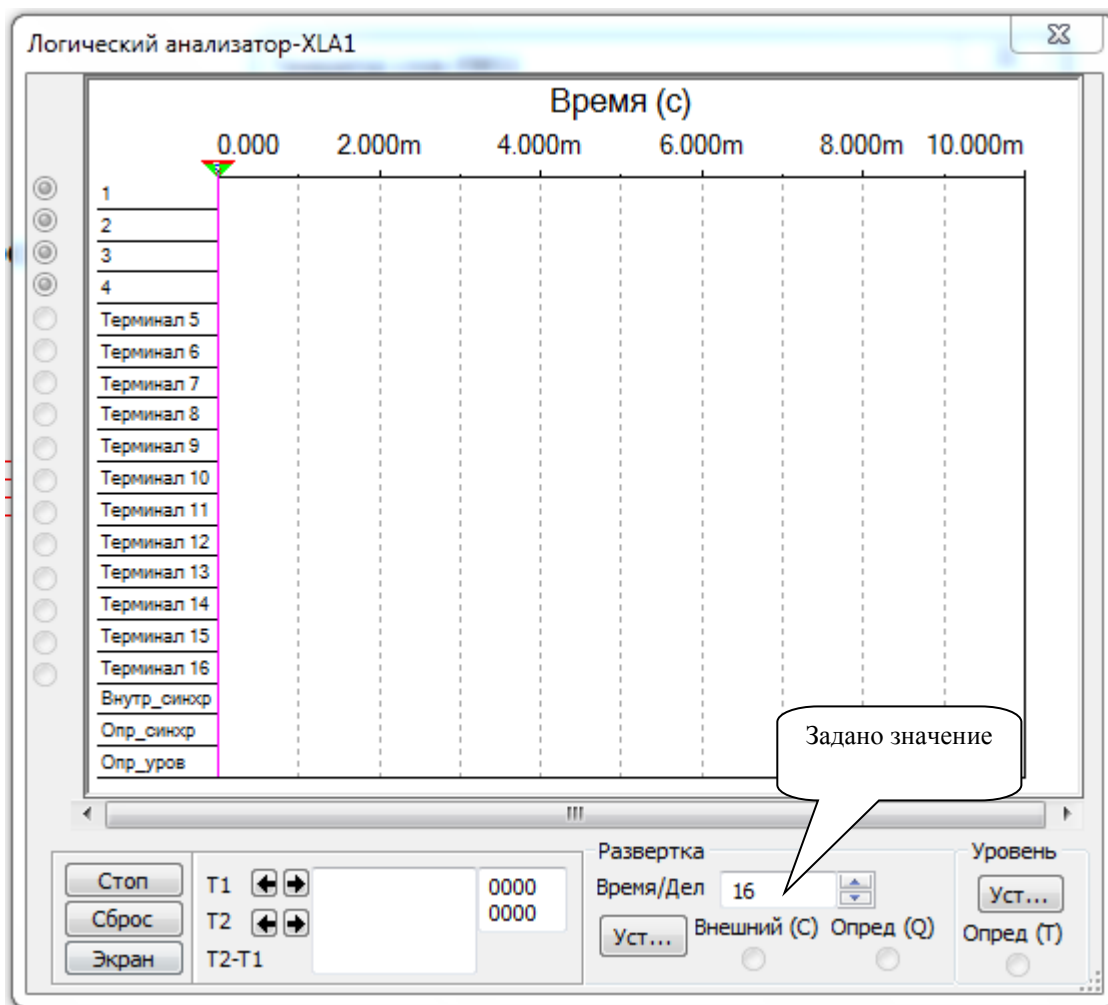


В окне некоторые диаграммы отображаются неверно, поскольку инструмент **LogicAnalyzer** пока не настроен. Щелкнем по кнопке **Set(Уст...)** в разделе **Clock(Синхронизация)**, чтобы изменить частоту выборки:



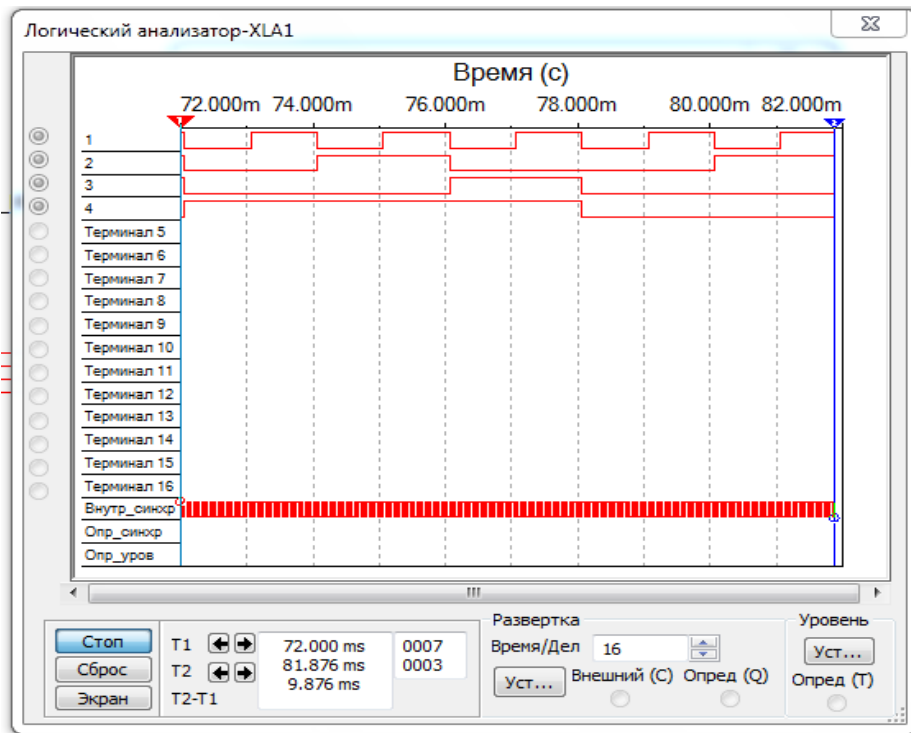
Таймер задает частоту выборки (samplerate) инструмента. В каждом цикле таймера **LogicAnalyzer** анализирует состояние входных каналов и отображает его на экране. Даже если входные значения изменятся, значения на экране сохранятся до следующего цикла. Это значит, что частота выборки должна намного превышать частоту изменения входного сигнала. Инструмент **WordGenerator** был настроен на частоту 1 кГц, следовательно, параметр **ClockRate (Тактовая частота)** инструмента **LogicAnalyzer** должен иметь более высокое значение. Выберем частоту, которая превышает значение 1 кГц в  $2^N$  раз. Почему так надо сделать, будет ясно позднее. Выберем значение 16 кГц.

Убедимся, что параметр **ClockSource (Источник)** настроен на режим **Internal (Внутренний)**. Мы не обеспечиваем синхронизацию, поэтому **LogicAnalyzer** самостоятельно сформирует необходимый сигнал. После этого нажмем кнопку **Ассерт (принять)**.

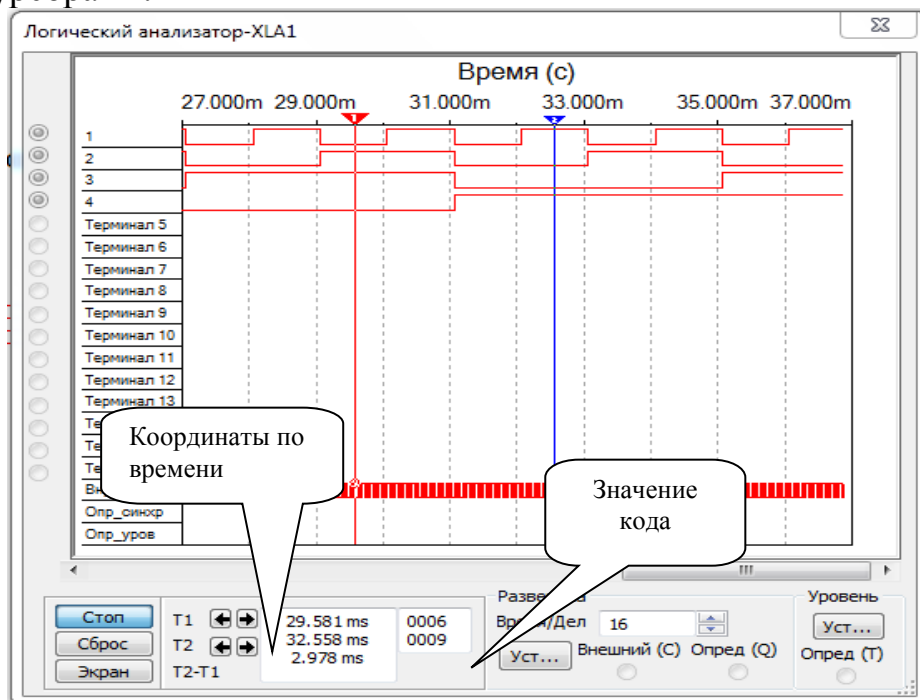


Настроим дисплей анализатора. На дисплее имеются деления, следовательно, необходимо указать количество импульсов таймера, приходящихся на деление (Clocks/Div). Можно выбрать значение 1, 2, 4, 8, 16 и так далее — до 128. Именно по этой причине выбрана частота таймера, превосходящая в  $2^N$  раз частоту **WordGenerator**. Для параметра Clocks/Div (Время/Дел) мы выберем значение 16. Так как частота таймера **LogicAnalyzer** составляет 16 кГц, деление по времени будет равно 1 мс, что соответствует периоду частоты **WordGenerator**.

Все готово к моделированию. Нажмем кнопку Моделирование. Начнется моделирование, и на экране **LogicAnalyzer** появятся данные:



Если остановить моделирование, то можно измерить значения на экране с помощью курсоров. Курсор **1** — красный, а курсор **2** — синий. Чтобы переместить курсор, переместим символ в виде треугольника на курсоре. Курсорами управляем так же, как в других практических занятиях. Ниже показан экран с курсорами:



Курсоры показывают координаты по времени, а также временной сдвиг между курсорами. Кроме того, с помощью курсоров можно получить входные значения. Если вход **0** будем считать самым младшим разрядом, а вход **15** — самым старшим, то состояние входов **LogicAnalyzer** может быть представлено **16**-разрядным двоичным кодом. Соответствующий ему шестнадцатеричный код отображен в окне курсора. Если посмотреть на курсор 1, то видно, что входы 1 и 4 находятся на низком логическом уровне, а вход 2 и 3

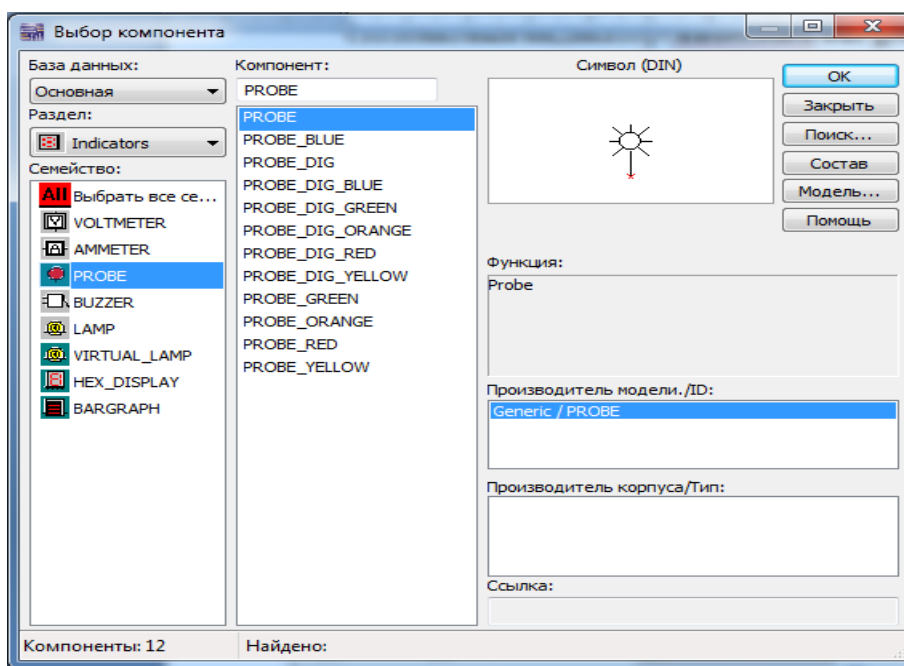
— на высоком. Все прочие входы не используются, и диаграммы для них не выводятся. Таким образом, состояние входов в момент, соответствующий положению курсора 1, отображается числом 0110, то есть 6 (в шестнадцатеричном коде). Если посмотрим на курсор 2, то заметим, что входы 1 и 4 находятся на высоком уровне, а входы 2 и 3 — на низком. Таким образом, состояние входов, соответствующее положению курсора 2, отображается двоичным числом 1001, то есть 9 в шестнадцатеричном коде. Эта информация и показана в окне курсора.

Измерения завершены и можно закрыть окна.

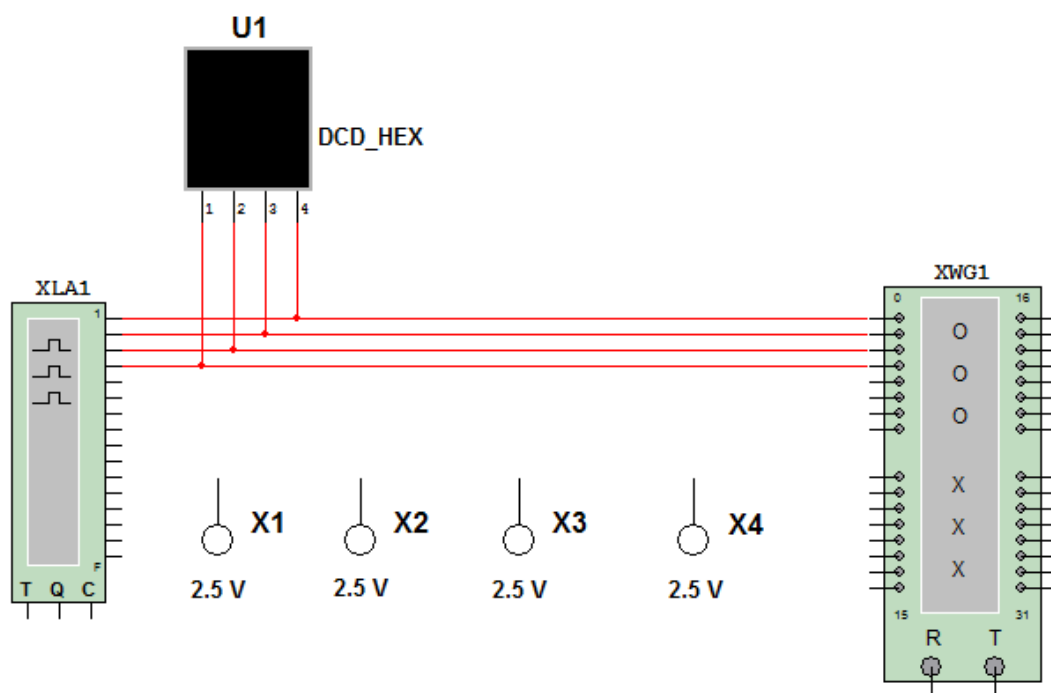
#### 4.1.2 Цифровой пробник и недешифрирующие столбиковые индикаторы

Далее рассмотрим два индикатора, которые могут использоваться для просмотра состояния одного бита. Логический пробник (digitalprobe) напрямую подключается к проводу и показывает его уровень. Недешифрирующий столбиковый индикатор (undecodedbargraph) представляет собой набор из десяти диодов, аналогичный набору светодиодов. Он подключается так же, как и набор светодиодов, но отличается от него по ряду параметров. Диоды обладают внутренним сопротивлением и требуют тока 5 мА. Позднее об этом будет рассказано подробно.

Логический пробник расположен в группе Indicators. Щелкнем кнопку Indicator:

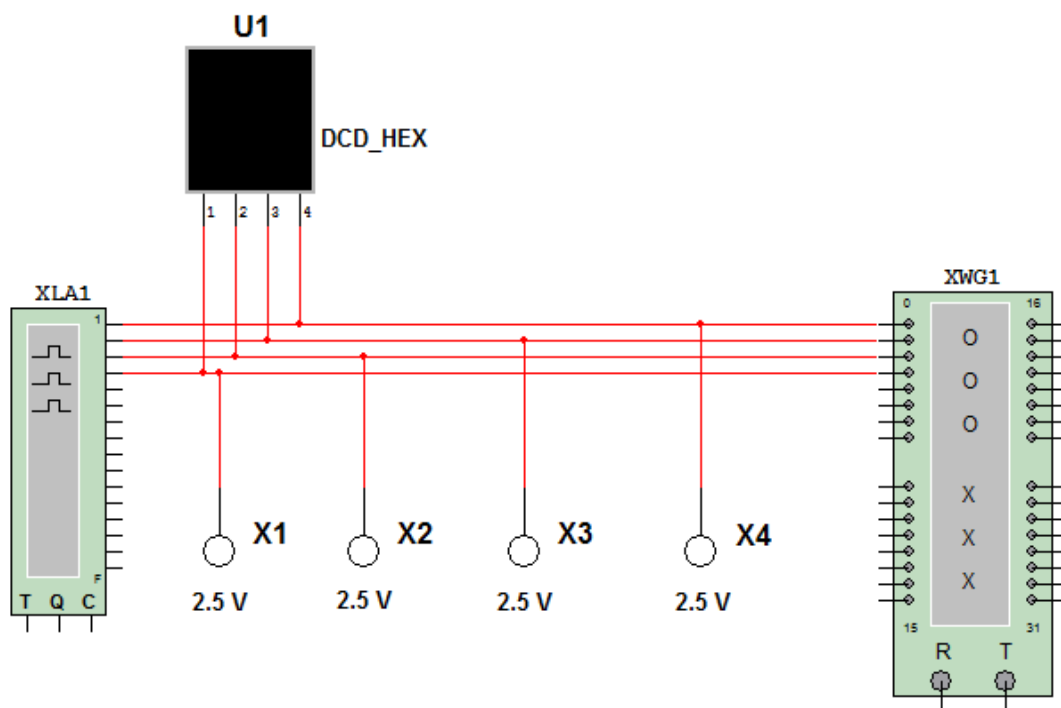


Нам доступны пять пробников. Один из них серый, другие — цветные. Выберем пробник и нажмем кнопку **ОК**. Условное обозначение пробника будет «привязано» к курсору мыши. Введем в схему четыре пробника. Чтобы повернуть компонент, нажмем клавиши **CTRL+R**. Добавим в схему четыре разноцветных пробника:



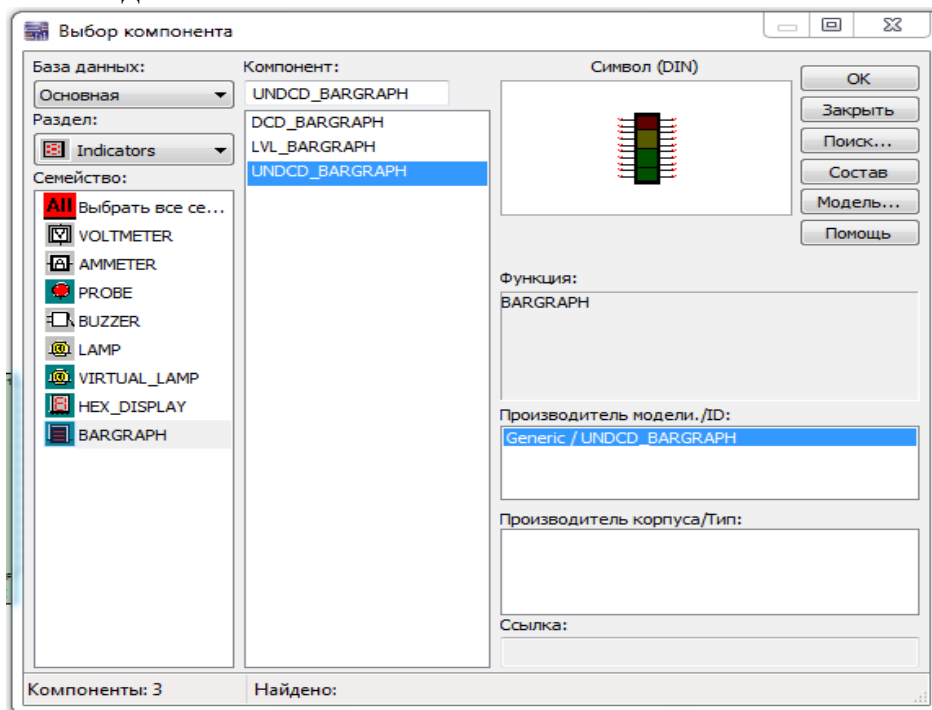
Обратите внимание на запись 2.5 V около условного обозначения пробника.

Это — пороговое значение напряжения для пробника. Он не будет светиться, если напряжение на нем меньше порогового, и засветится при достижении напряжением порогового значения, которое будет показано на схеме, что упрощает настройку. Для нашего примера пороговое значение 2,5 В является идеальным, поэтому не будем его изменять. Пробник не потребляет тока, следовательно, не нужно беспокоиться о его воздействии на схему. Подключим пробники, как показано ниже:

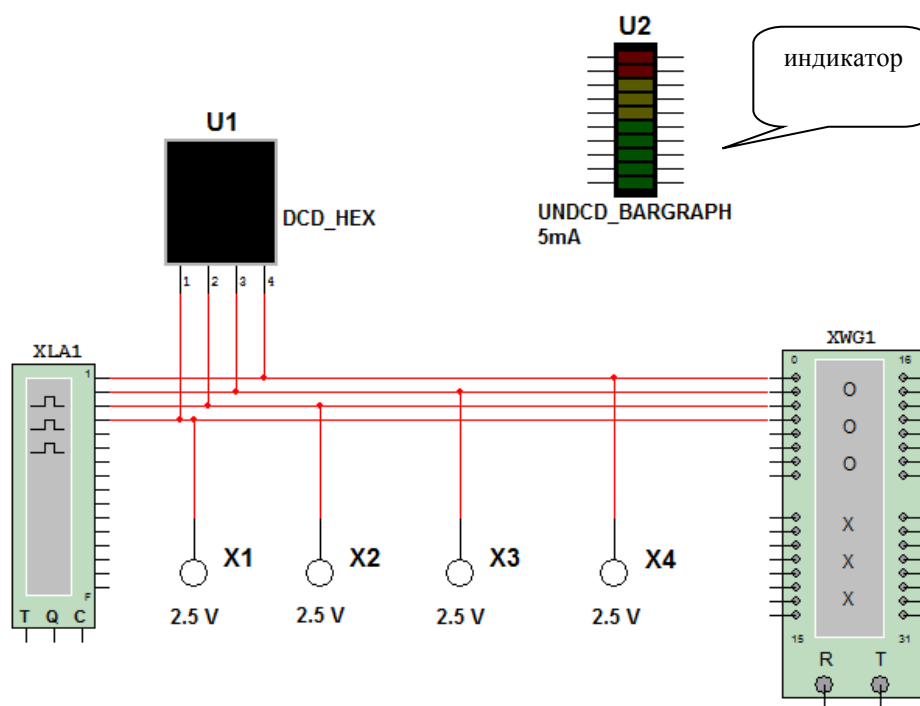


Теперь пробники отобразят состояние каждого входа инструмента **WordGenerator**. Самый правый пробник (X4) — это самый младший бит, а самый левый (X1) — самый старший бит.

Добавим теперь в схему столбиковый индикатор. Этот индикатор тоже находится в группе **Indicators**. Щелкнем по объекту **BARGRAPH**, чтобы выбрать необходимое семейство:



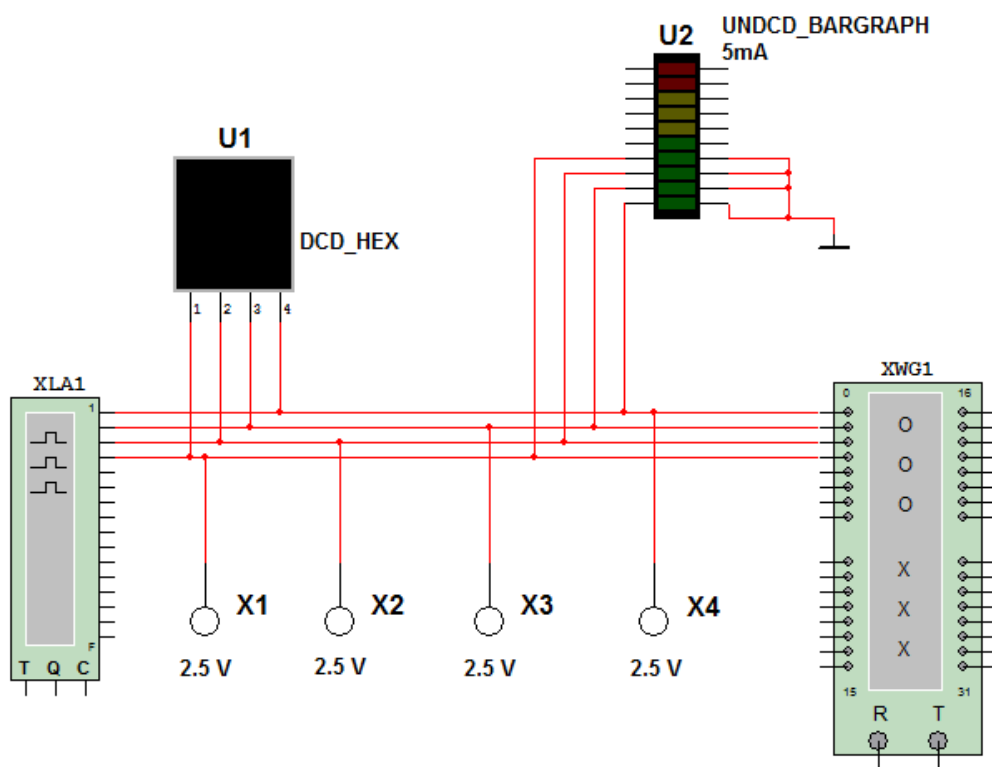
Диалоговое окно отобразит список всех доступных индикаторов. Нам необходимо использовать индикатор **UNDCD\_Bargraph**. Выделим его и нажмем кнопку ОК. Компонент будет «привязан» к курсору мыши:



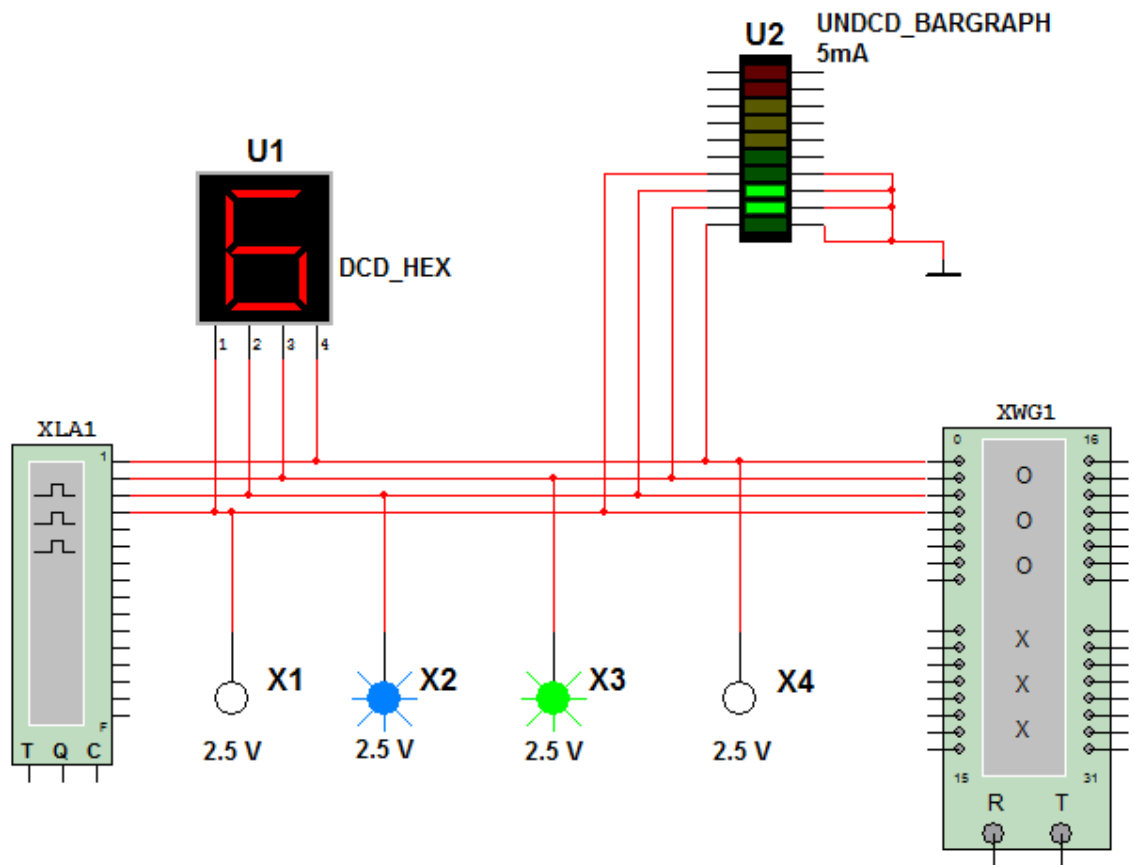


Он представляет собой набор из десяти диодов. Однако они не являются светодиодами. Ток может проходить через них в обоих направлениях, причем они не имеют прямого падения в 1,5 В, характерного для светодиодов. Вместо этого, каждый диод имеет внутреннее сопротивление 500 Ом и характеризуется определенным пороговым значением тока. Как показано выше, когда ток, не превышающий 5 мА, входит в левый контакт диода и выходит из правого контакта (то есть движется слева направо), диод не будет светиться. Эта функция аналогична функции светодиода, хоть и не полностью. Можно изменять как пороговое значение, так и сопротивление компонента. Если перевернуть компонент, то контакты также перевернутся. При начальном размещении компонента расположение контактов известно. Следите за ним при вращении компонента.

Добавим индикатор в схему и подключим его, как показано ниже. Нам не понадобятся дополнительные последовательные резисторы (ограничивающие ток через светодиоды), так как компонент обладает внутренним сопротивлением:



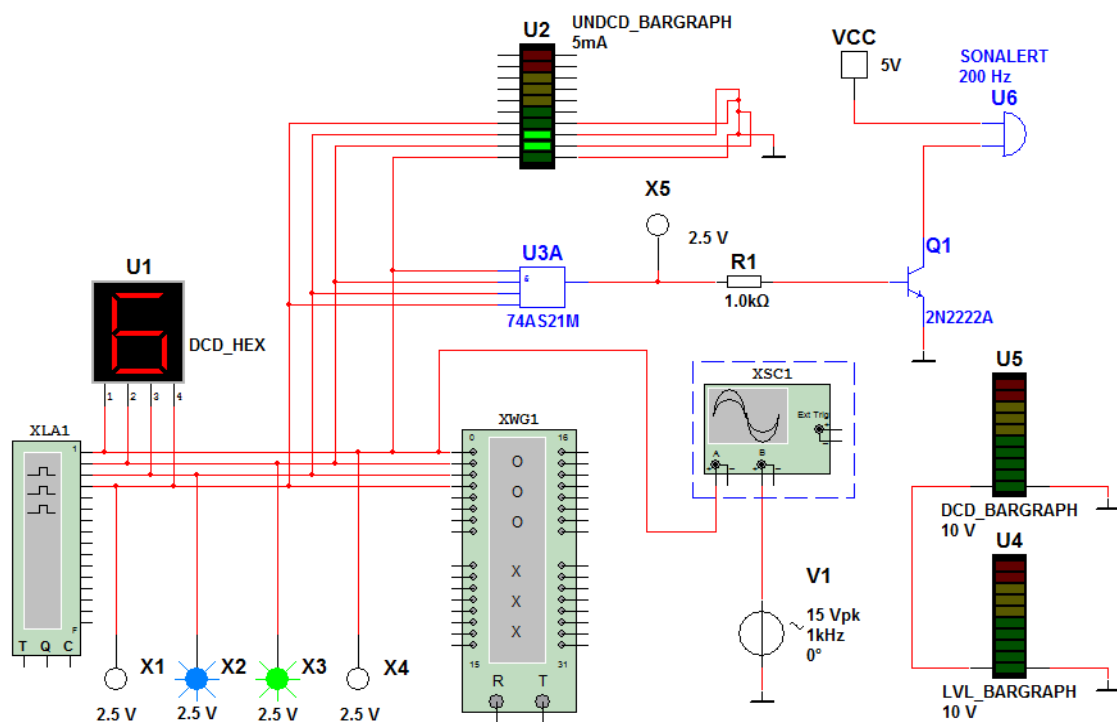
Нет необходимости использовать управляющие схемы, потому что инструмент **WordGenerator** может создавать ток, достаточный для свечения диодов. Теперь все готово к моделированию. Нажмем кнопку Cycle, чтобы начать его. Индикатор и пробники отобразят двоичные коды, которые соответствуют данным в окне с информацией:



Цифре **6** соответствует код 0110 (светящийся индикатор соответствует 1).

#### 4.1.3 Различные индикаторы сигналов

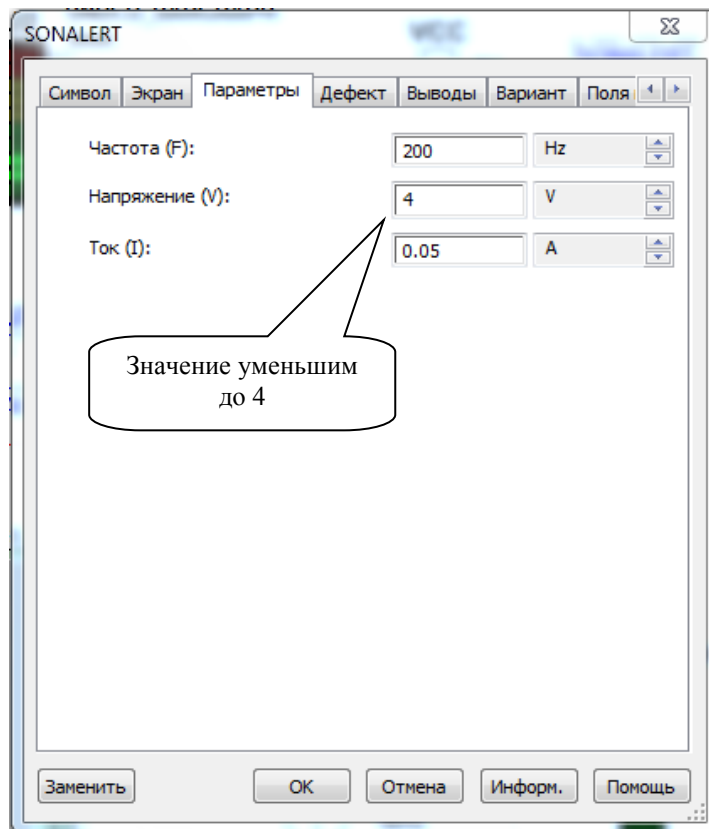
Добавим еще в схему зуммер и проверим работу индикаторов. Воспользуемся также осциллографом, чтобы получить две осциллограммы. Создадим следующую схему:



Зуммер (U6) находится в группе Indicators; добавим два столбиковых индикатора с помощью методики, которая использовалась при добавлении индикаторов в предыдущем разделе. Компоненты U4 и U5 называются **LVL\_Bargraph** и **DCD\_Bargraph** и находятся в семействе **Bargraph** группы **Indicators**. Компонент U3A (ячейка &) расположен в группе **TTL**.

Добавим также источник переменного напряжения, транзистор **Q1**.

Теперь соединим все компоненты. Рассмотрим некоторые из них подробнее. Изменим настройки зуммера. Дважды щелкнем по его изображению, чтобы изменить параметры. Частота зуммера равна 200 Гц, рабочее напряжение — 9 В при токе 50 мА. Изначально схема была настроена на напряжение 4 В; изменим его значение:

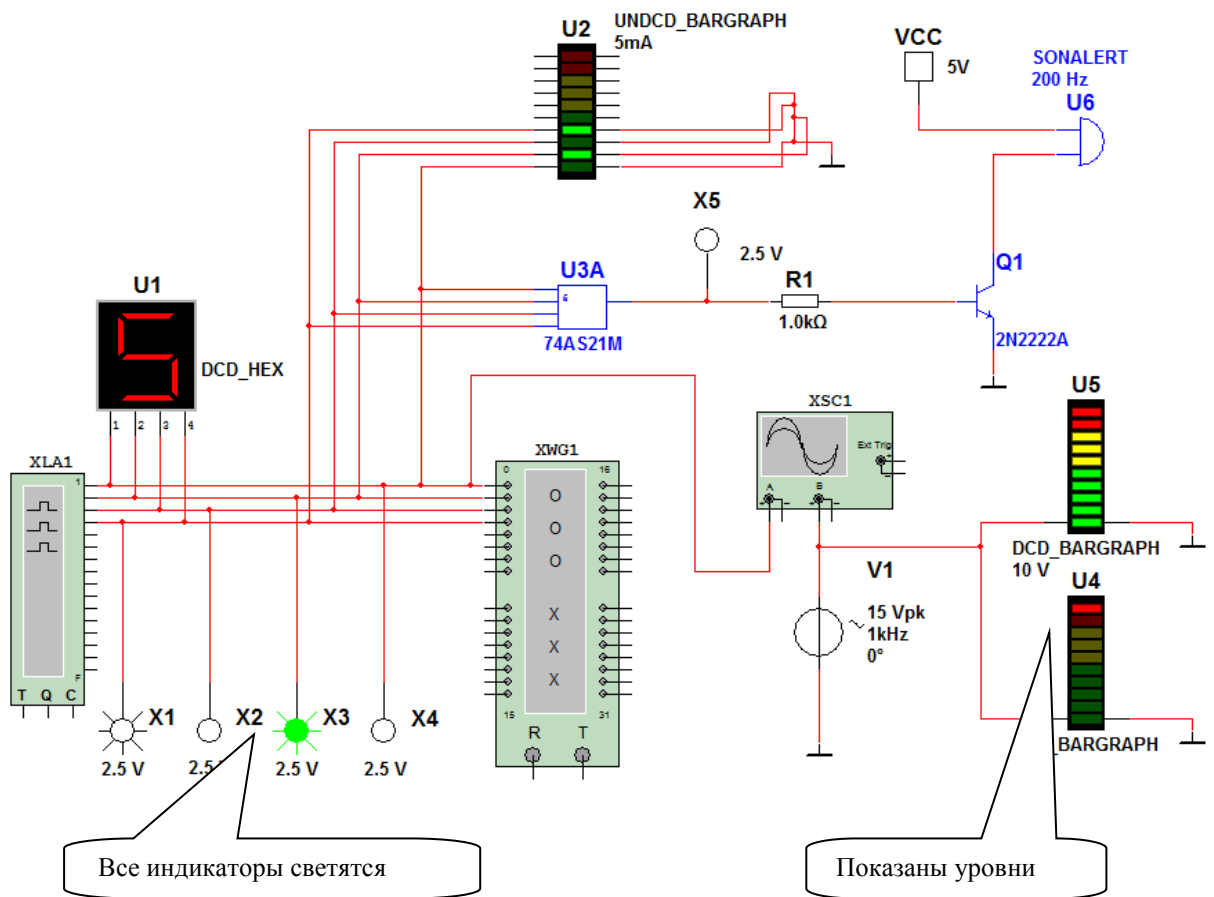


При желании можно изменить частоту и ток зуммера. Однако слишком большое значение тока может вызвать проблемы при работе с транзистором 2N2222A. Нажмем кнопку ОК, чтобы принять изменения. Если инструмент **WordGenerator** создаст код 1111, схема И определит это, и зуммер издаст сигнал.

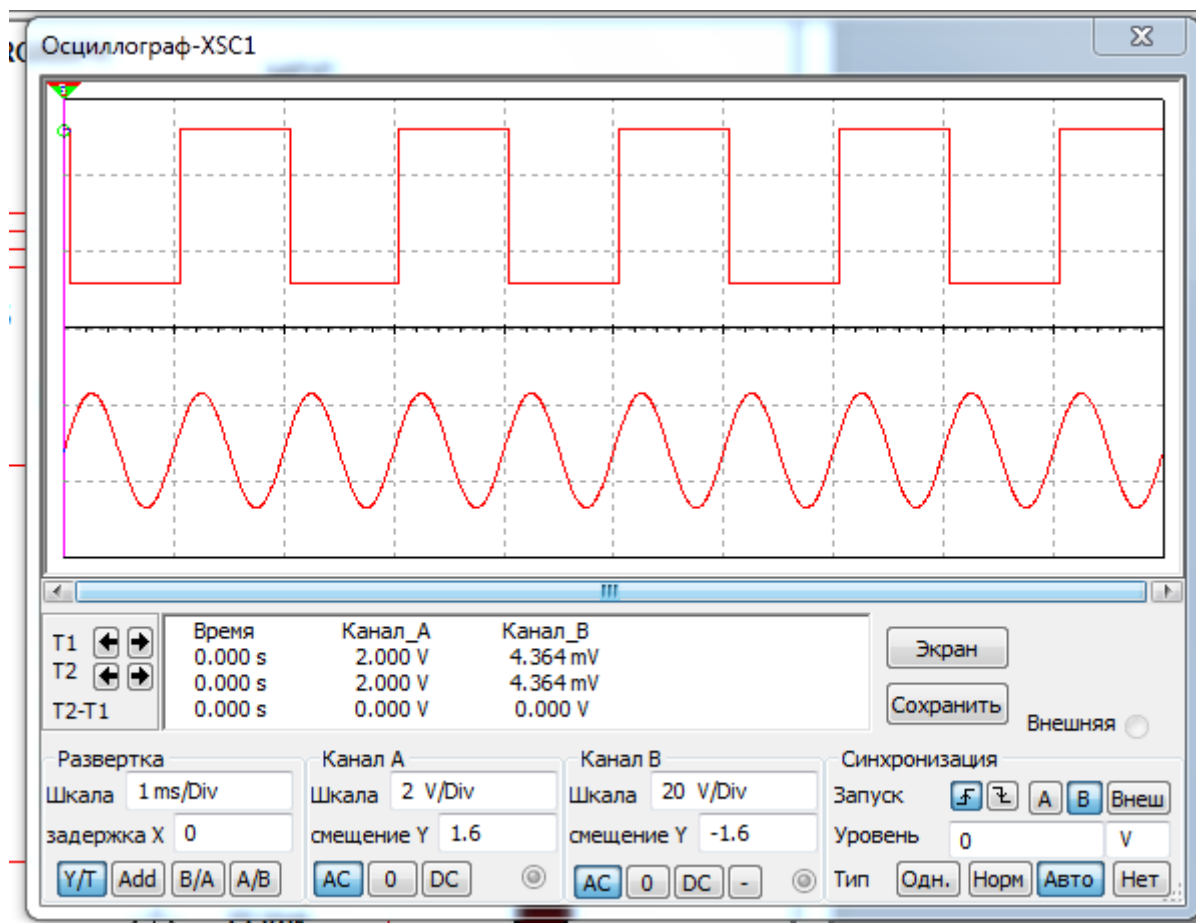
Компоненты LVL\_BARGRAPH и DCD\_BARGRAPH являются аналоговыми индикаторами. Это индикаторы с одним аналоговым входом, которые преобразуют входной сигнал в уровень столбика на дисплее. В них встроены логические схемы, позволяющие преобразовать аналоговый сигнал в десять цифровых сигналов, а также дополнительные схемы, отображающие логические сигналы на дисплее. Необходимо лишь поместить компоненты в схему и подключить входы к заземлению и измеряемому сигналу. В нашей схеме индикаторы подключены к синусоидальному источнику напряжения 15 В, поэтому показания будут изменяться в соответствии с синусоидой напряжения.

Перейдем теперь к моделированию. Нажмем кнопку **Cycle**. Каждый раз при считывании кода 1111 зуммер должен издавать звук. Высота столбиков в индикаторах повторяет изменения в синусоиде напряжения. Изображения, помещенные ниже, отображают этот процесс:

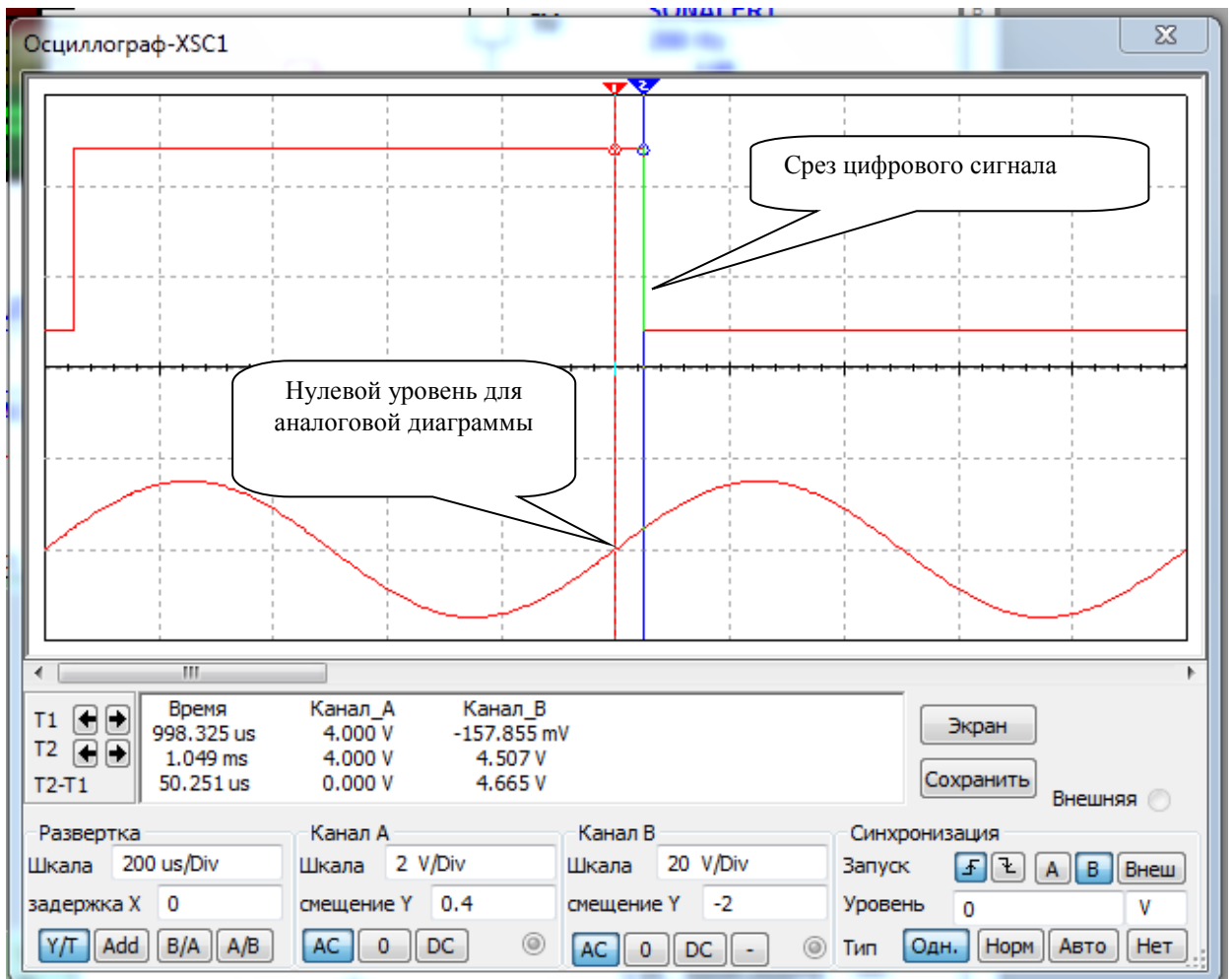




Рассмотрим, наконец, временные диаграммы на экране осциллографа и осциллограммы.



Осциллограммы выполняют две функции. Во-первых, с помощью осциллографа можно измерить мгновенные значения сигналов в цифровой схеме. (Это полезно при соединении цифровой схемы с аналоговой.) Во-вторых, что надо подчеркнуть, источник напряжения переменного тока не синхронизирован с инструментом **WordGenerator**. Если увеличить масштаб по оси времени и воспользоваться курсорами, то можно увидеть, что границы окна инструмента **WordGenerator** не совпадают с нулевыми значениями источника переменного напряжения:



Курсор 1 (красный) располагается в нулевой точке аналоговой осциллограммы. Курсор 2 (синий) совпадает с фронтом цифрового сигнала. Для синхронизации **WordGenerator** моментами перехода источника переменного напряжения через нулевые значения, необходимо создать дополнительную схему.

## 4.2. Схемы, содержащие аналоговые и цифровые модели

### 4.2.1 Схема содержащая ОУ и JK-триггер:

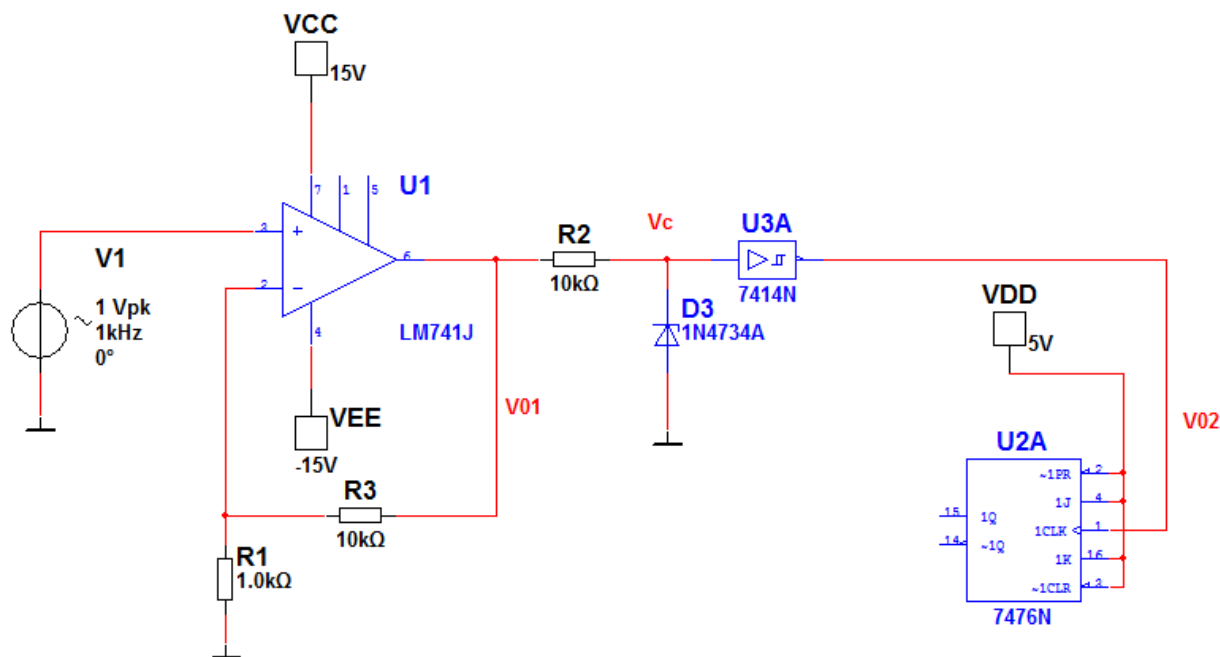


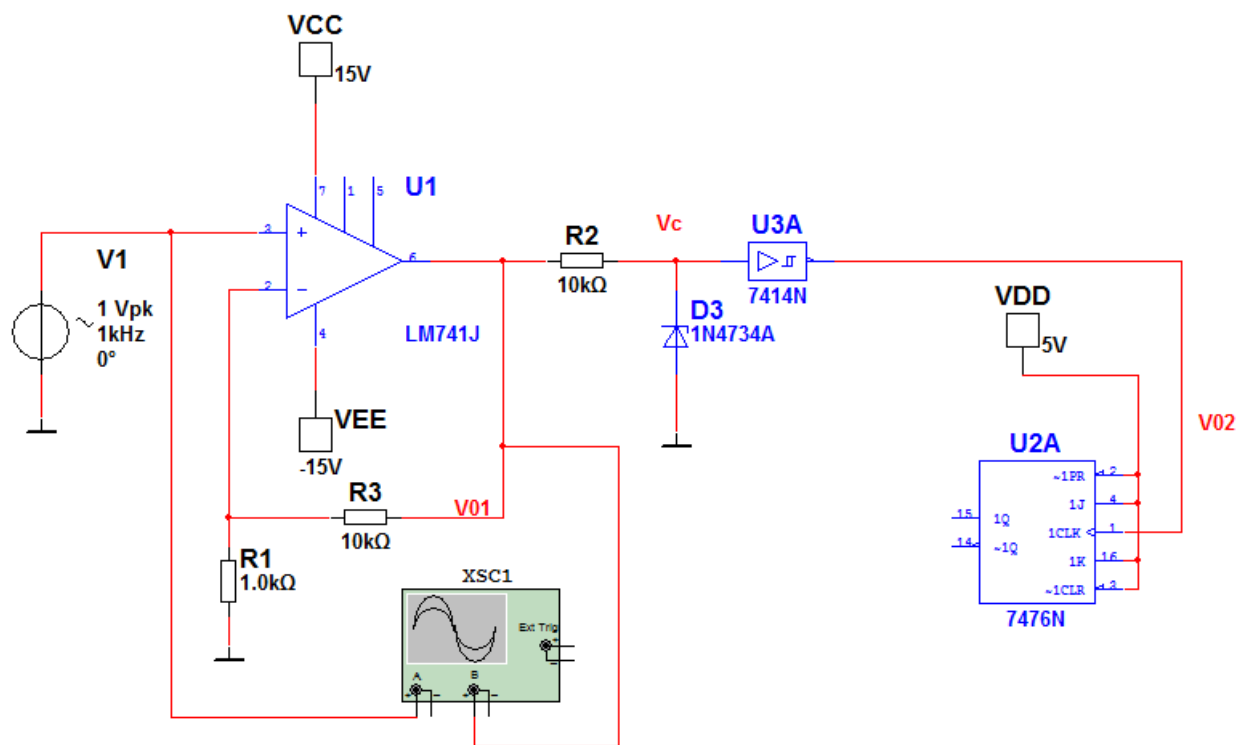
Рис.2

Схема в точности повторяет реальное устройство (ее еще называют схемой синхронизации).

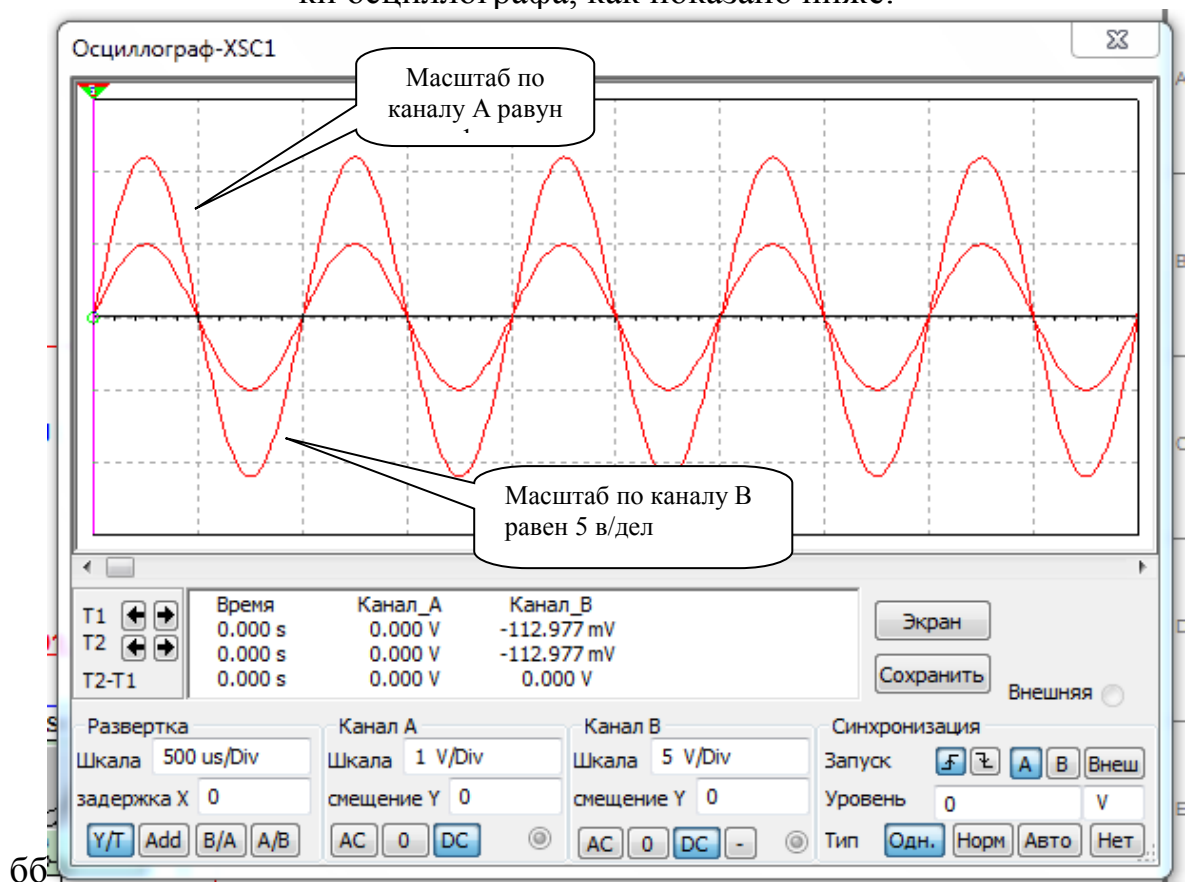
Источник синусоидального напряжения создает синусоиду частотой 1 кГц, мгновенные значения которой изменяются от -1 до 1 В. Коэффициент усиления схемы, собранной на ОУ LM741J, равен 11, поэтому на выходе ОУ (на узле V01) формируется кривая с частотой 1 кГц, изменяющаяся в диапазоне  $\pm 11$  В. На выходе ограничителя, собранного на стабилитроне (узел Vc), напряжение изменяется в диапазоне от +5,6 до -0,7 В. Этот сигнал совместим с уровнями напряжения компонентов TTL и может быть подан на вход триггера Шмитта (7414N). Выходное напряжение триггера Шмитта (узел V02) — кривая с частотой 1 кГц, изменяющаяся в диапазоне от 0 до 5 В. Схема JK-триггера (7476N) представляет собой делитель частоты с коэффициентом деления 2 (divide-by-two counter), следовательно, его выходной сигнал Q должен иметь частоту 500 Гц и изменяться в диапазоне от 0 до 5 В. Сигнал смещен по фазе на  $180^\circ$  относительно входного сигнала.

Выполним моделирование и получим осциллограммы. Подключим осциллограф:



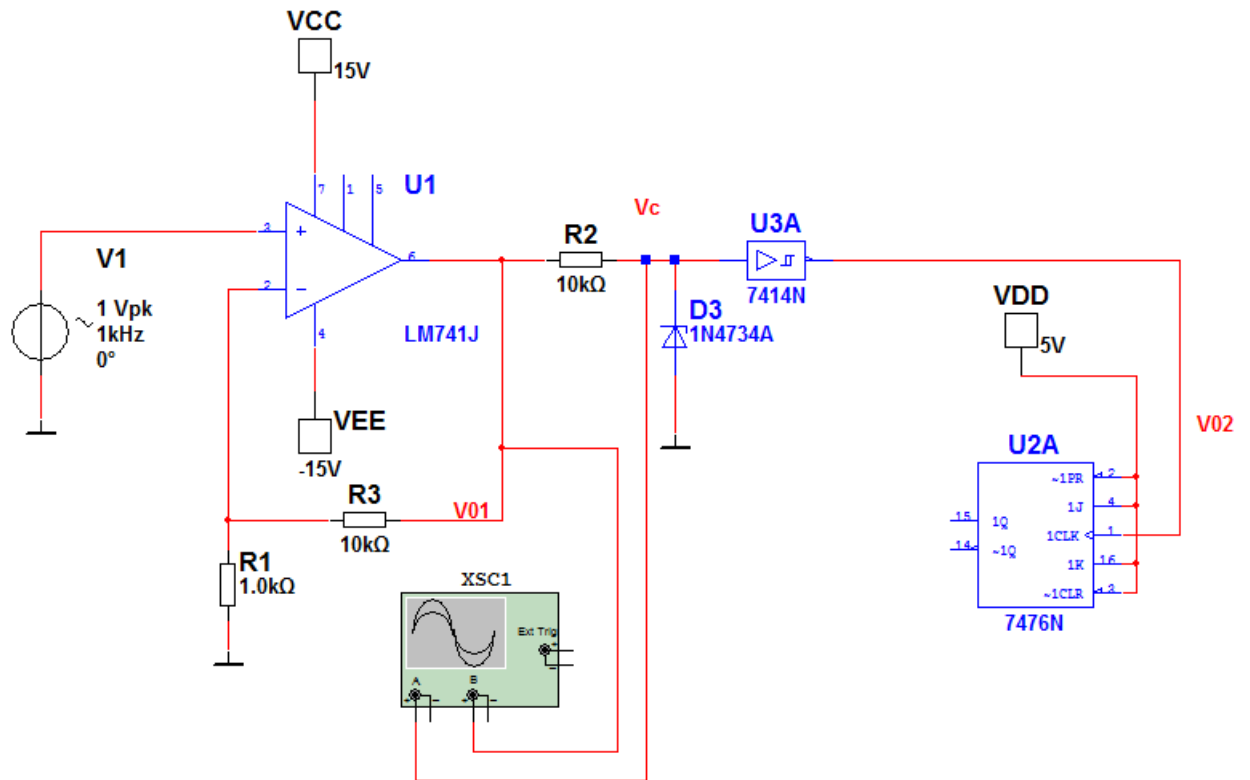


Сначала получим осциллограммы входного и выходного напряжений ОУ. Схема имеет усиление 11, следовательно, выходное напряжение должно быть в фазе с входным напряжением и превышать его в 11 раз. Щелкнем кнопку Run, чтобы начать моделирование. Дважды щелкнем по изображению осциллографа, чтобы открыть соответствующее окно. Изменим настройки осциллографа, как показано ниже:

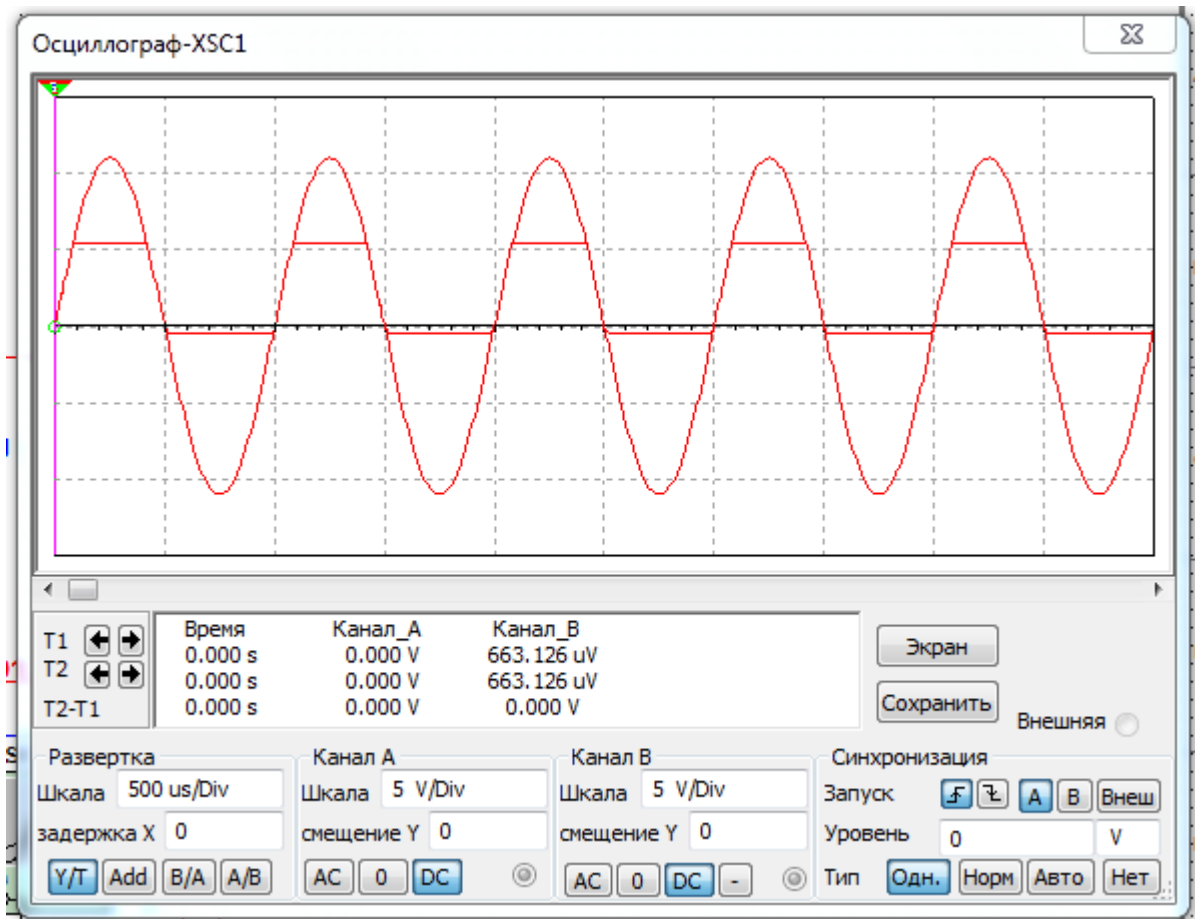


Мы видим, что амплитуда входного сигнала (канал **A**) равна 1 В, а амплитуда выходного (канал **B**) составляет 11 В. Чтобы измерить амплитуду выходного напряжения, можно воспользоваться курсорами, однако достаточно ограничиться визуальной оценкой. Как оказалось, усилитель на ОУ работает правильно.

Переключим теперь вход **A** на стабилитрон (узел **Vc**):

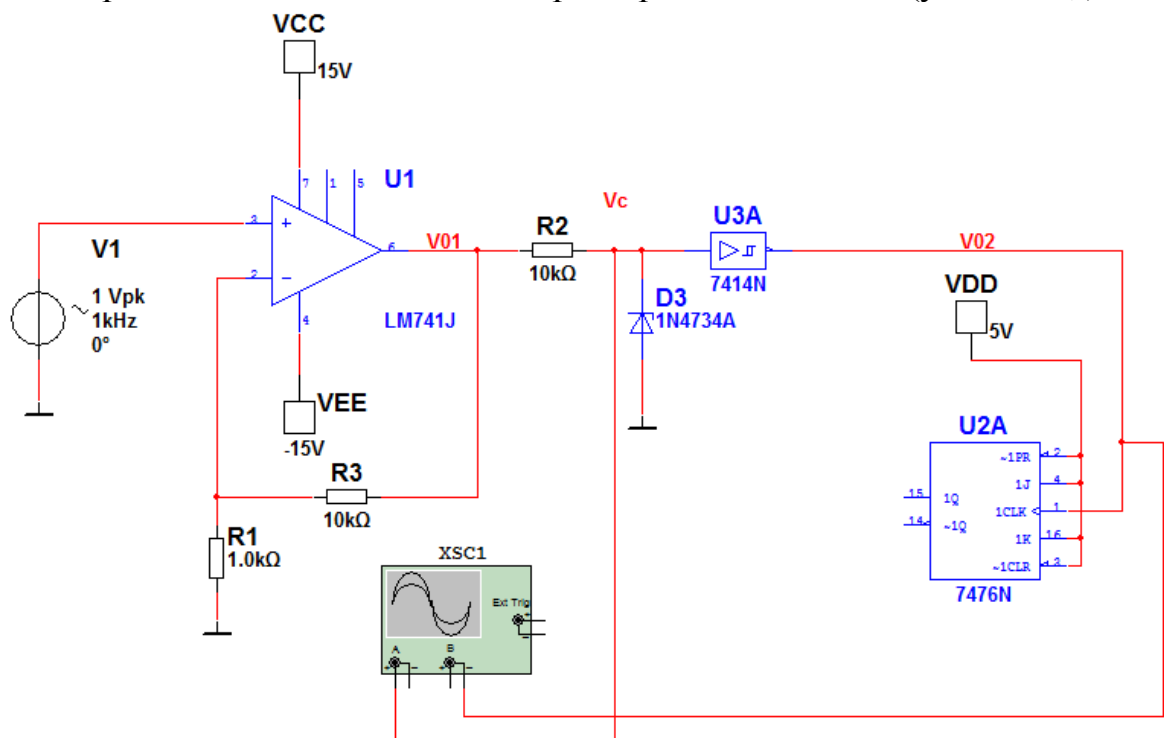


Повторим моделирование и рассмотрим осциллограммы:

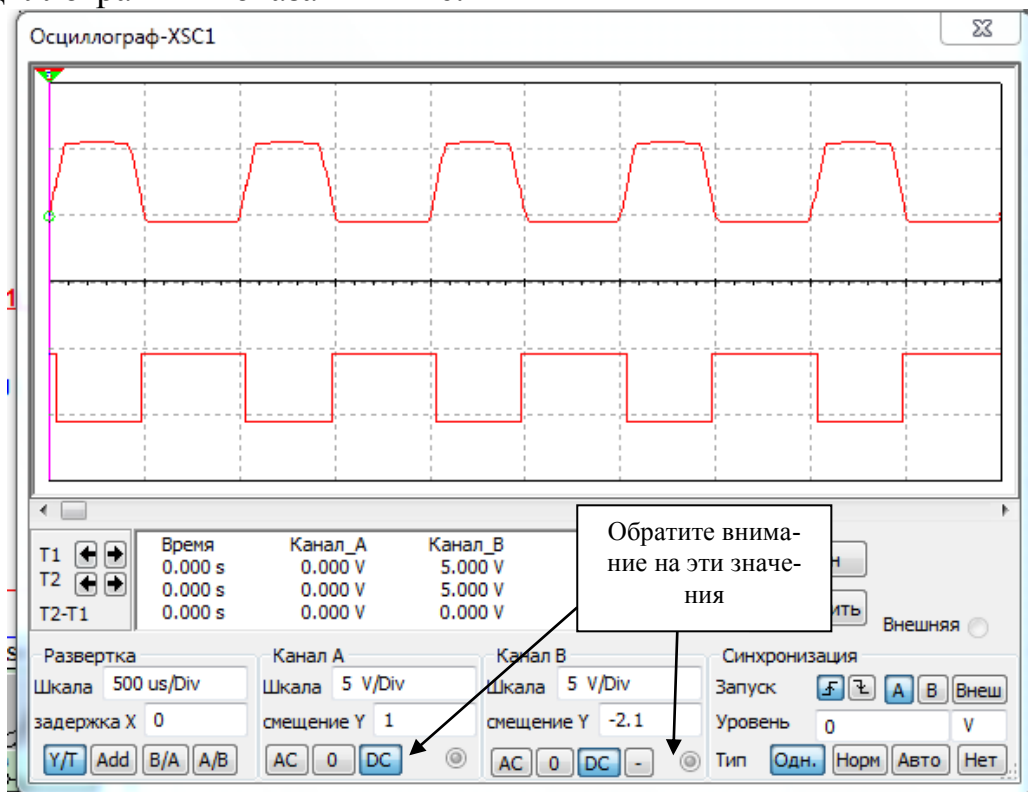


Для обоих каналов используем масштаб 5 В/дел. Видно, что стабилитрон ограничивает напряжение диапазоном от 5 до  $-0,7$  В, как и ожидалось.

Переключим вход **Вна** выход триггера Шмитта 7414 (узел **Vo2**), как

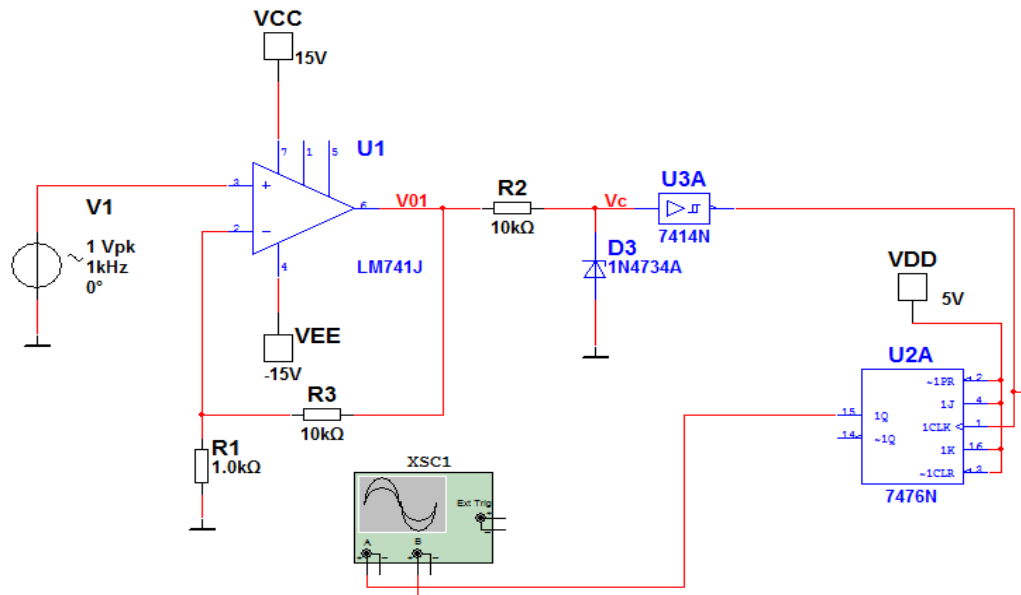


Осциллограммы показаны ниже:

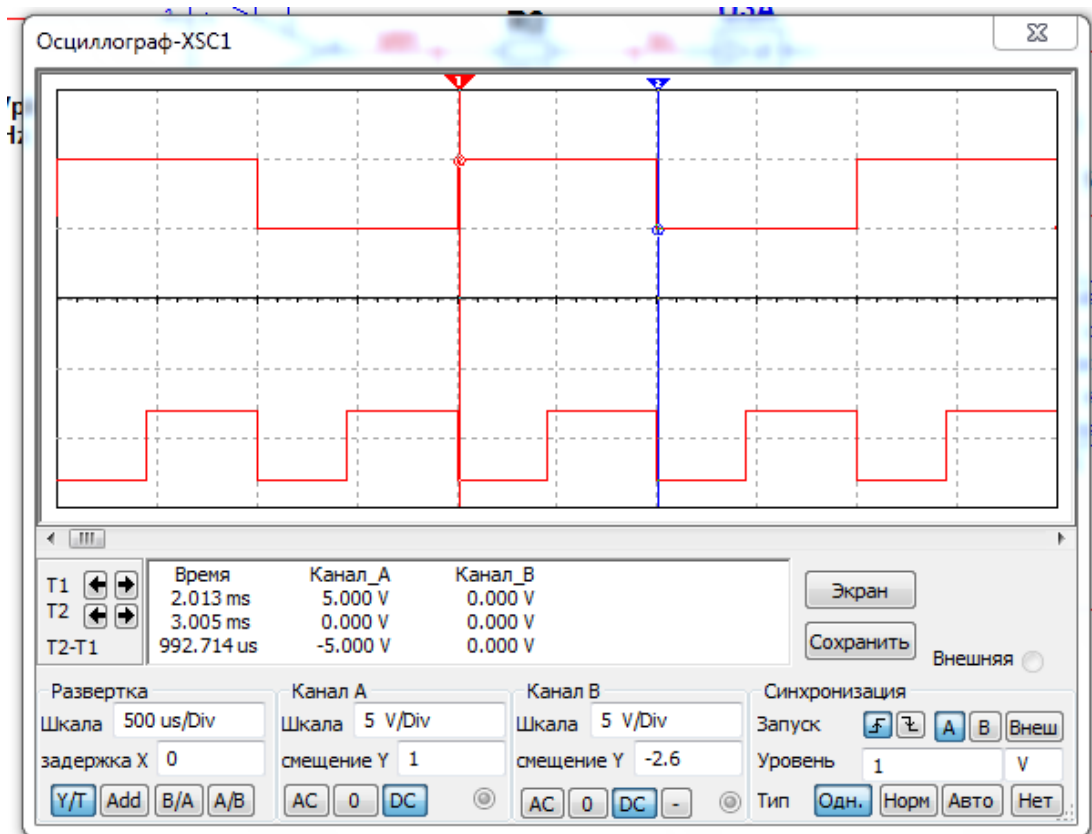


Обратите внимание: были изменены значения Y position инструмента **Oscilloscope**, чтобы разнести две кривые по вертикальной оси. Видно, что триггер Шмитта преобразует входное напряжение, имеющее плавное нарастание и спад, в импульс с очень крутыми фронтами. Именно для этого в схему введен триггер Шмитта. Теперь его выходной сигнал можно использовать в цифровых схемах, например, в качестве сигнала синхронизации триггера.

Рассмотрим выходной сигнал JK-триггера. Триггер реализует функцию деления на два, поэтому выходной сигнал Q представляет собой кривую с частотой, которая в два раза меньше частоты сигнала синхронизации. Изменим подключение осциллографа и получим осциллограммы:



Осциллограммы показаны ниже:



Если запуск осциллографа настроен на нормальный режим, необходимо установить уровень запуска в диапазоне от 0 до 4 В. Если этого не сделать, осциллограф не будет запускаться, потому что ни одно из входных напряжений не имеет отрицательного значения (настройка запуска по умолчанию). Запуск осциллографа был переведен в автоматический режим, чтобы упростить создание осциллограмм. Однако теперь видно, что осциллограммы

«бегут» по экрану. Переведем запуск осциллографа в нормальный режим и установим уровень запуска равным 1 В.

### 4.3. Моделирование схем, содержащих только цифровые компоненты

Можно использовать программу Multisim и для моделирования схем, содержащих только цифровые компоненты. Исследуем схему счетчика Джонсона:

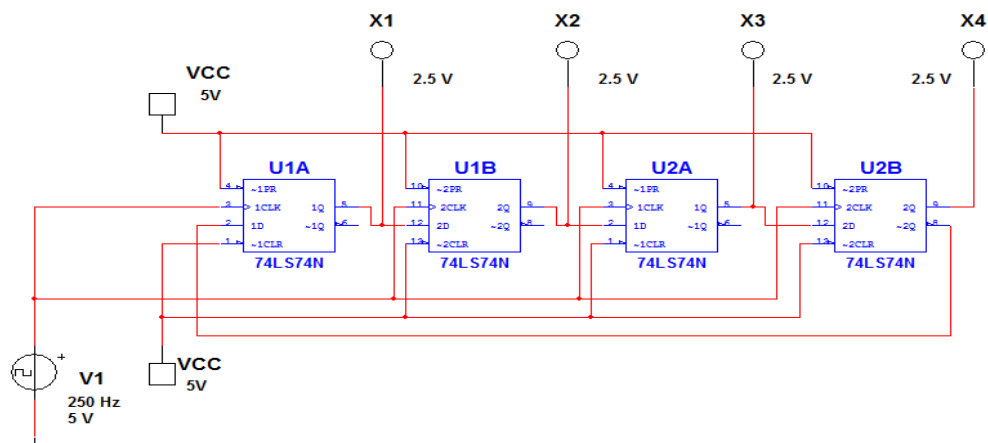
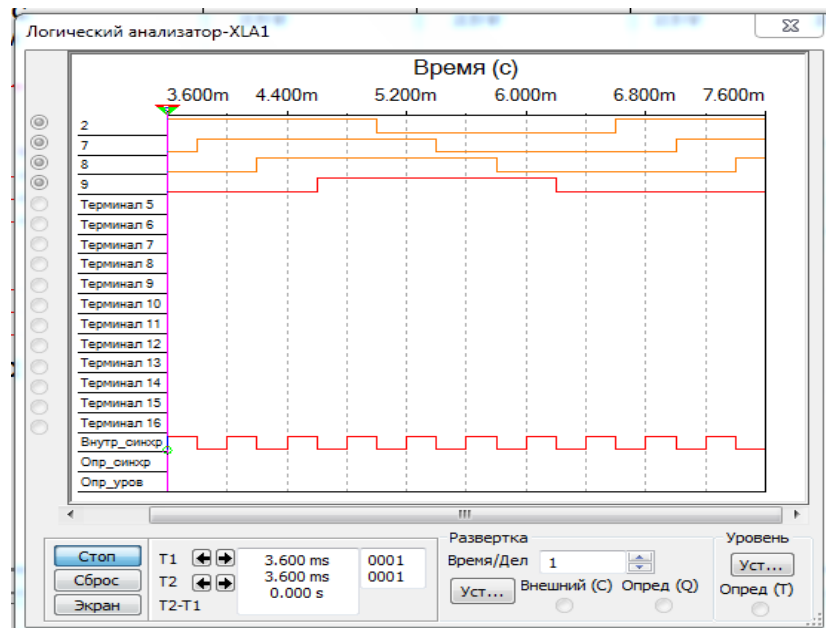


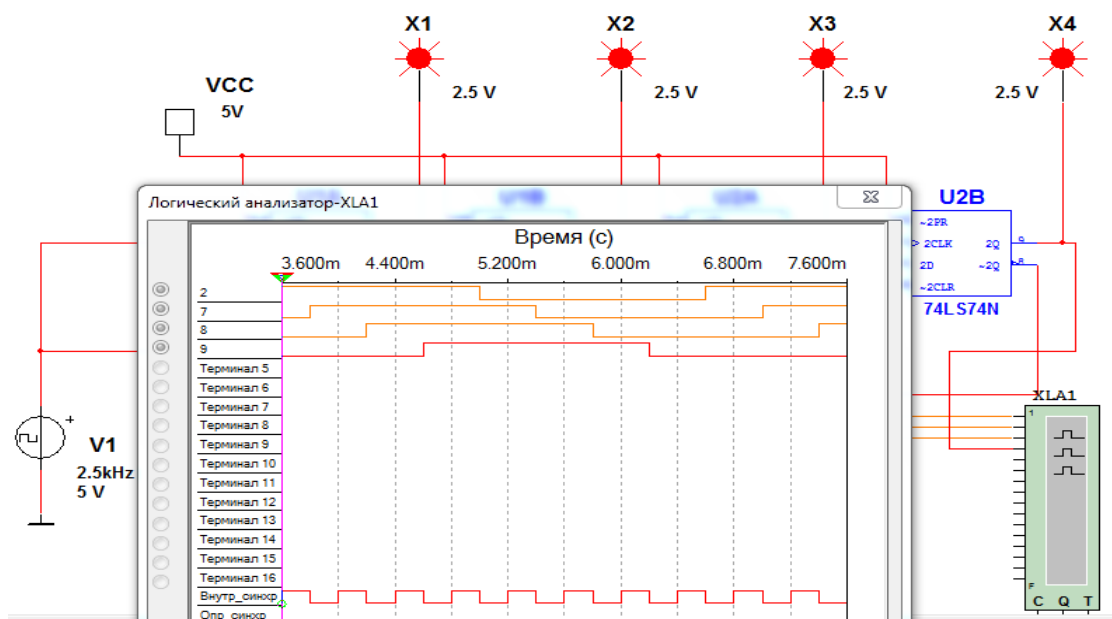
Рис.3

Отметим, что схема не содержит источников питания и заземления. Программа Multisim подключит эти компоненты автоматически. В программе два режима моделирования схем с цифровыми компонентами: идеальный и стандартный. Идеальный режим работает быстрее, т. к. не нужно задавать параметры источников питания и заземления, но при этом не учитываются колебания напряжения источника питания, допуски устройств, время нарастания и спада. В идеальном режиме необходимо задавать время задержки. Реальный режим обеспечивает более точное моделирование, но требует наличия цифрового заземления. По умолчанию моделирование выполняется в идеальном режиме. Для переключения в реальный режим следует выбрать соответствующую опцию; здесь не будем говорить об этом. Различие между режимами будет описано в следующем разделе.

Для моделирования нажмем кнопку Run и проверим правильность работы схемы с помощью пробников. Чтобы продемонстрировать функционирование схемы подключим инструмент **LogicAnalyzer** и исследуем диаграммы:



Данной диаграмме соответствует код 1111, что видно по состоянию пробников:



## 5. Порядок выполнения работы:

5.1 Собрать схемы, изображенные на рис.1 , рис.2, рис.3 в программе Multisim

5.2 Выполнить примеры по измерению параметров электрических сигналов в цепях виртуальных электронных устройств содержащих цифровые компоненты

## 6. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с решениями задач

## 7. Литература и средства обучения



7.1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

7.2 Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360

1 Multisim . Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2018. – 488 с; ил.

2 Методические указания для выполнения практического занятия

### **Практическое занятие № 39**

#### **Создание и редактирование схем в программе Delta Design**

##### **1. Цель занятия:**

Получить практические навыки создания и редактирования электрических и электронных схем с помощью программы **Delta Design**

##### **2. Время выполнения работы – 2 часа**

##### **3. Оборудование и программное обеспечение**

1 Персональный компьютер

2 Программа **Delta Design**

##### **4. Краткие теоретические сведения**

В Delta Design проектирование электронных устройств основывается на

Радиоэлектронных компонентах. Вся необходимая информация о компонентах храниться в базе данных. Разработчик выбирает нужные данные (компоненты) из базы, используя их для проектирования электрической схемы и печатной платы.

Общая база данных радиоэлектронных компонентов разделяется на отдельные библиотеки. Библиотеки предназначены для работы с отдельными группами компонентов, хранящихся в общей базе.

Каждая библиотека является функционально завершенным хранилищем данных о компонентах, иными словами, если компонент занесен в библиотеку, то в библиотеке должны содержаться все данные, необходимые для использования данного компонента

Разработка электрических схем выполняется с использованием библиотек УГО электронных компонентов, форматов и штампов чертежных документов, шрифтов и пр., подготовленных и аттестованных на соответствие требованиям ГОСТ

Средства разработки электрических схем обеспечивают:

Соответствие требованиям ГОСТ, предъявляемым к оформлению документов электрических схем,

а именно:

соблюдение минимальных расстояний на чертежах ЭЗ между условными графическими обозначениями электронных компонентов и линиями электрической связи, требований по вычерчиванию линий электрической связи,

установки обозначений соединителей и т.д.

Принципы построения электрических схем

В среде Delta Design принципиальная схема или принципиальная электрическая схема (ЭЗ) – это графическое изображение (модель), служащее для передачи с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений (пиктограмм) состава элементов электрического устройства и связей между ними. Электрическая схема является важным звеном проекта печатной платы, т.к. работа над проектом во многом определяется разработкой электрической схемы.

Принципиальная схема, в отличие от разводки печатной платы, не показывает взаимного (физического) расположения элементов, а лишь указывает на то, какие выводы реальных элементов (например, микросхем) с какими соединяются. При разработке электрической схемы составляется перечень радиодеталей, входящих в плату и последовательность соединения радиодеталей цепями (список соединений).

Процесс создания электрической схемы в среде Delta Design совмещен с подготовкой документации. Схемы сразу строятся на отдельных листах, с

заданным размером и выбранным штампом. Большие схемы могут быть

созданы с использованием нескольких листов. Каждый лист схемы может иметь свой формат и штамп.

Выбор готового штампа листа

В функциональной панели «Стандарты» содержатся унифицированные штампы, созданные в соответствии со следующими стандартами:

- ГОСТ (ГОСТ 2.701-84);
- ANSI;
- Параметры оформления, заданные проектировщиком.

При создании проекта, лист схемы по умолчанию оформляется по стандарту ГОСТ 2.701-84 (формат А3). Если для электрической схемы создается новый лист, то в момент создания проектировщик задает настройки оформления листа. Настройки оформления листа могут быть изменены в процессе проектирования.

Смена штампа листа электрической схемы осуществляются в окне «Формат и штамп», см. Рис. 1. Данное окно отображается при создании нового листа схемы

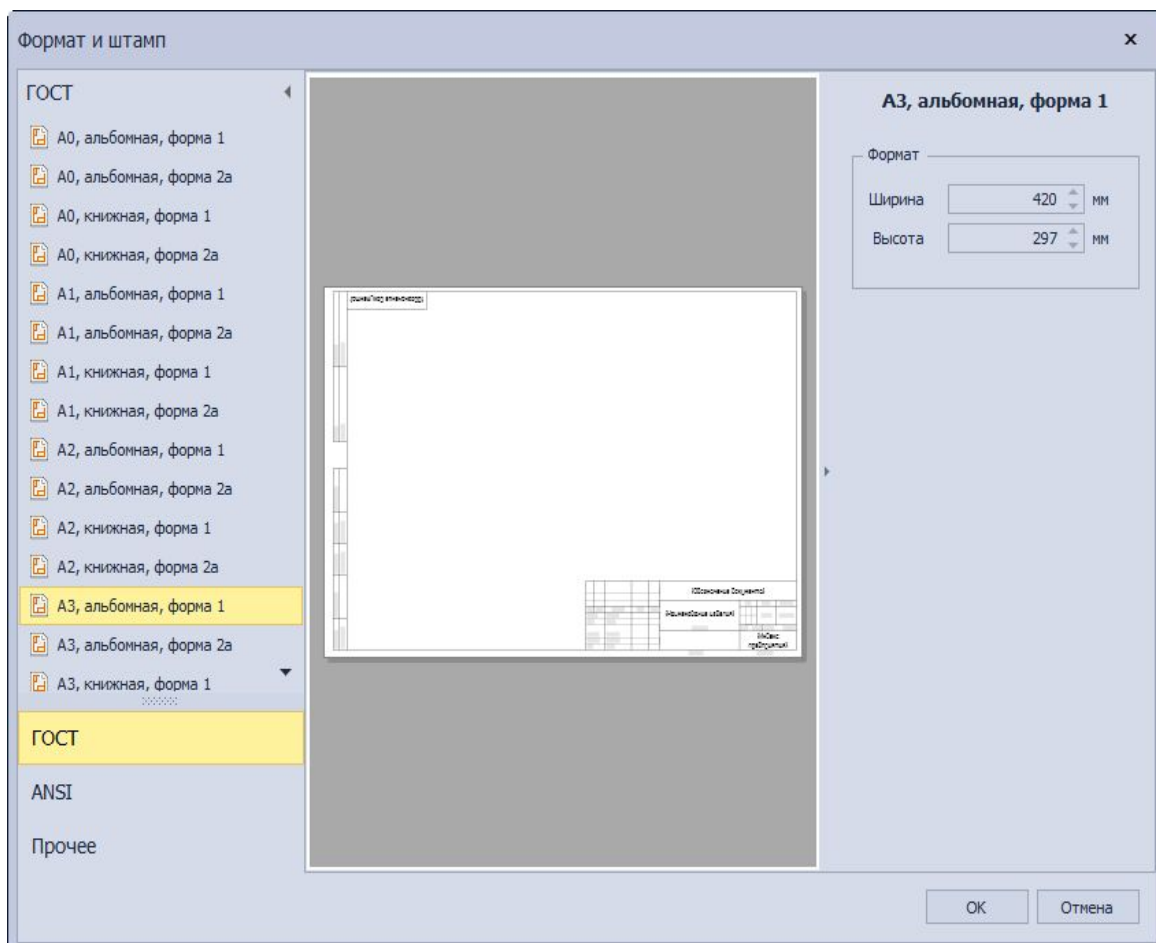


Рис. 1 Выбор формата для листа в окне «Формат и штамп»

В левой части окна список разделен на соответствующие группы. В группах расположен перечень форматов и штампов согласно ГОСТ, а так же ANSI

В Delta Design на схеме основными объектами являются радиодетали, а не компоненты в целом. Радиодеталь – это конкретная физическая реализация компонента, которая обладает заданными характеристиками (посадочным местом (корпусом), рабочим напряжением, номиналом и т.п.

Радиодетали на схеме представлены в виде УГО

Радиодетали размещаются на схеме по одной, возможность располагать на схеме несколько радиодеталей одновременно отсутствует.

Радиодетали могут быть размещены на схеме из библиотеки и функциональной панели «Менеджер проекта».

Размещение радиодеталей с помощью контекстного меню работает следующим образом:

1. Выбрать нужный элемент в библиотеке и вызвать контекстное меню.
2. В отобразившемся контекстном меню необходимо выбрать пункт «Разместить на схеме».

3. Переместить курсор на рабочее пространство схемы и выбрать место для размещения радиодетали. При этом на схеме будет отображаться предполагаемый вид УГО радиодетали.

4. Нажать кнопку мыши для размещения радиодетали.

Схематический механизм размещения с помощью контекстного меню показан на Рис.2

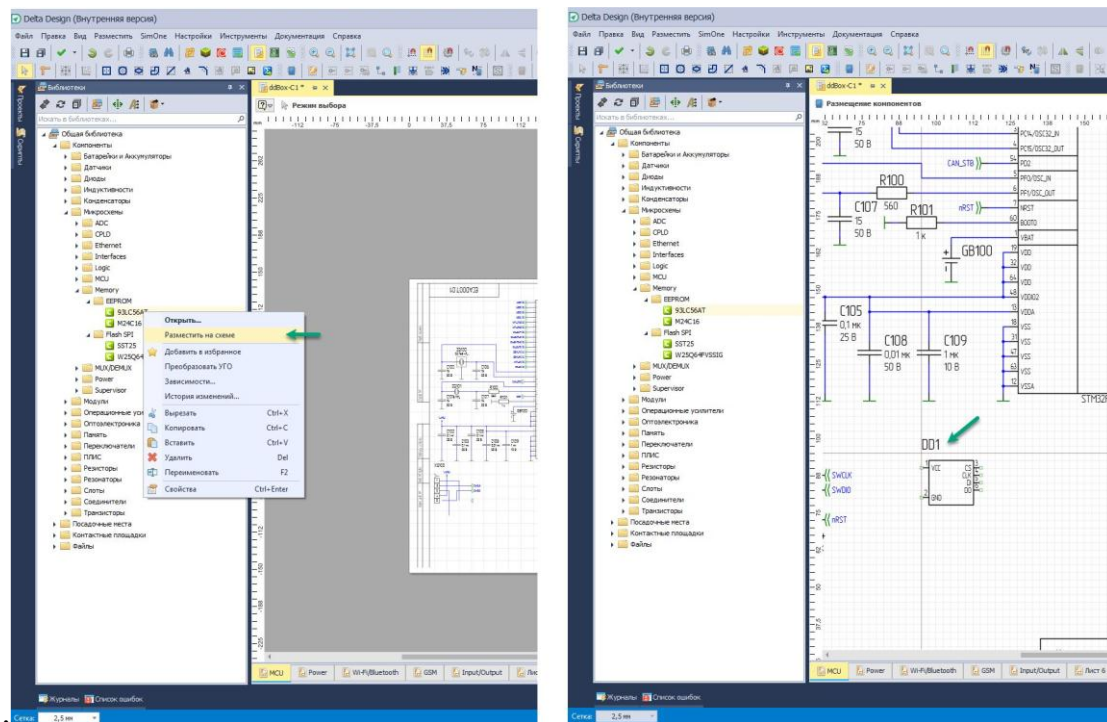


Рис. 2 Размещение радиодеталей на схеме

При размещении радиодетали на схеме в функциональной панели «Свойства» отображаются значения атрибутов радиодетали и сведения о компоненте, в состав которого входит размещаемая радиодеталь.

В программе Delta Design, цепи - это имеющие одинаковое имя проводники, ограниченные выводами и точками соединений, объединяющие УГО радио-деталей на схеме. Принадлежность проводника к той или иной цепи определяется именем, которое ему задается.

Размещение цепей на схеме осуществляется с помощью инструмента «Разместить проводник», который обозначается кнопкой . Инструмент доступен на панели инструментов «Схема» и в контекстном меню рабочей области листа. После того, как инструмент «Разместить проводник» выбран, курсор в рабочей области изменит свой вид, см. Рис. 3. Текущее положение курсора дополнительно отмечается вертикальной и горизонтальной линиями, образующими крест. Текущие координаты курсора указываются в правом нижнем углу окна программы.

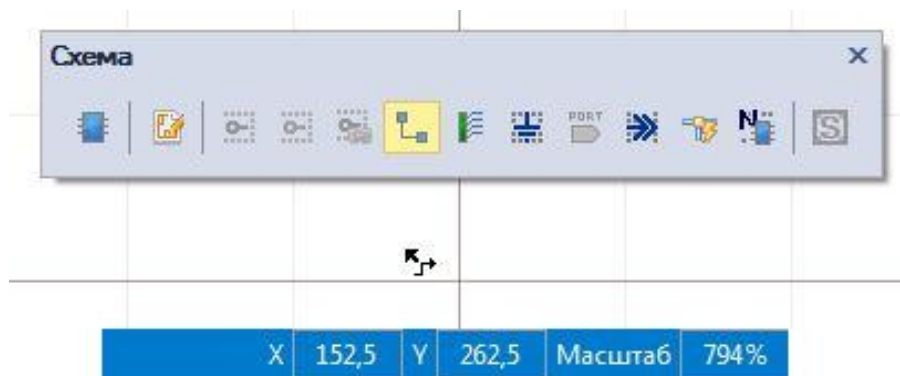


Рис. 3 Вид курсора при использовании инструмента «Разместить проводник»

Цепи в правильно построенной электрической схеме, должны быть подключены к выводам УГО радиодеталей, поэтому в программе Delta Design, для первичного размещения цепи доступны только выводы радиодеталей или уже размещенные цепи (или шины).

В Delta Design, на электрических схемах доступен специальный объект – шина.

Размещение шин на схеме осуществляется с помощью инструмента «Разместить шину», который обозначается кнопкой . Инструмент доступен на панели инструментов «Схема» и в контекстном меню рабочей области листа схемы.

Один и тот же компонент на схеме может быть представлен в нескольких вариациях. Разные вариации компонента могут быть представлены различными радиодетальями, поэтому настройка свойств на схеме привязана к конкретному УГО конкретной радиодетали.

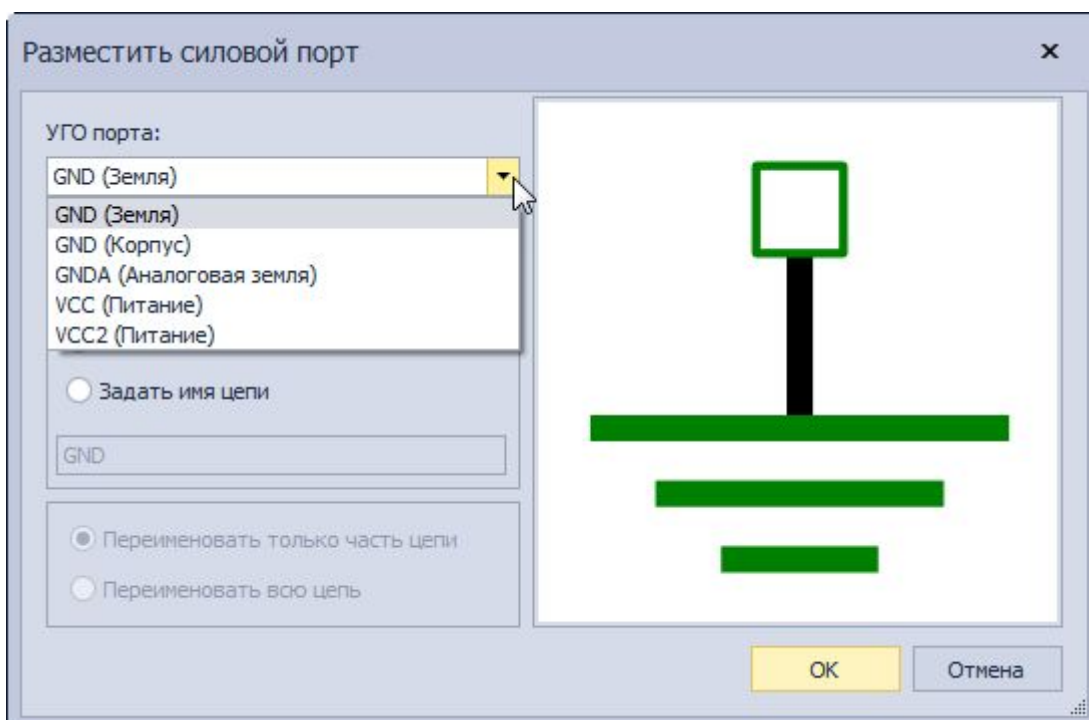
Свойства радиодетали, размещенной на схеме, отображаются и редактируются с помощью панели «Свойства». На панели отображаются свойства выбранной радиодетали.

Свойства цепи на схеме отображаются и редактируются с помощью панели «Свойства». На панели отображаются свойства выбранного проводника.

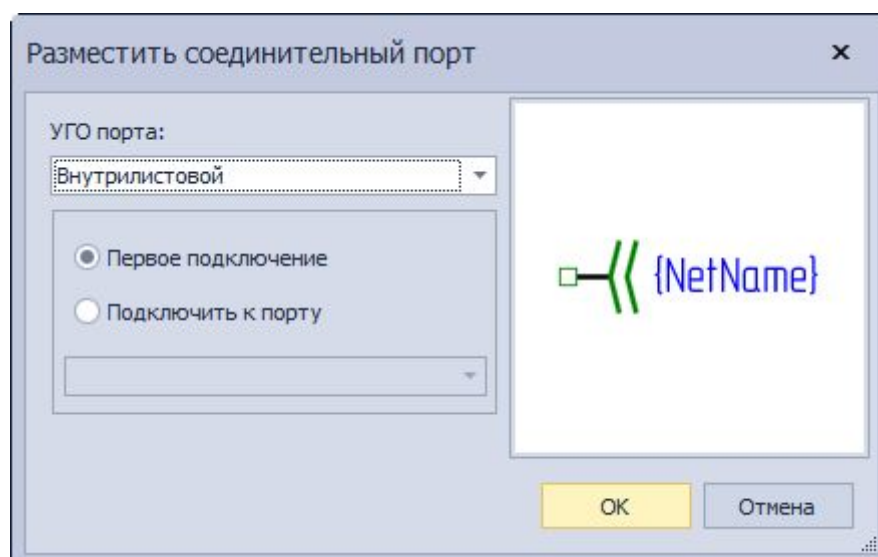
В момент размещения цепи на схеме для нее создается имя. Имена цепей задаются автоматически, по шаблону «NET000N», где «000N» номер цепи. Настроить шаблон имени цепи возможно из окна «Панель управления». Имя цепи может быть изменено. Изменение имени цепи осуществляется в окне «Переименование цепи».

Свободное окончание незавершенной цепи может заканчиваться портом. Соединительные порты используются для создания логических соединений вместо непосредственного построения соединительных линий. Такие порты используются в тех случаях, когда проведение соединительных линий либо принципиально невозможно (в случаях соединений между компонентами, расположенными на разных листах ЭЗ), либо перегружает чертеж электрической схемы.

Силовые порты используются для подключения выводов компонентов схемы к цепям земли и питания. При выборе размещения порта питания из контекстного меню цепи схемы на экран будет выведено окно «Разместить силовой порт»



При выборе размещения соединительного порта из контекстного меню цепи, на экран будет выведено окно «Разместить соединительный порт»



Задание:

Ознакомиться с интерфейсом программы **Delta Design** создать электрические и электронные схемы по заданным образцам.

## **5. Порядок выполнения работы:**

- 5.1. Включите компьютер, убедитесь в наличии на рабочем столе программы Delta Design.
- 5.2. Запустите программу Delta Design.
- 5.3. Ознакомьтесь с интерфейсом программы Delta Design.
- 5.4. Выберите компоненты для схемы на рис. 1 (Приложение А)
- 5.5. Разместите компоненты схемы в удобном порядке
- 5.6. После размещения компонентов соедините их между собой
- 5.7. Произведите разметку узлов схемы
- 5.8. Повторите все действия п.п. 5.4 -5.7 для схем, представленных на рис. 2-9 (Приложение А).
- 5.9. Сохранить на диске папки с созданными схемами
- 5.10. Подготовить ответы на контрольные вопросы

## **6. Контрольные вопросы**

- 6.1. Что подразумевается под компонентами в программе Delta Design?
- 6.2. Что подразумевается под радиодеталью в программе Delta Design ?
- 6.3. Чем могут отличаться независимые источники переменного напряжения?
- 6.4. Каким образом на схеме отображаются названия узлов?
- 6.5. Как поменять название узла?
- 6.6. Каким образом на схеме можно отличить друг от друга реальные и виртуальные компоненты?
- 6.7. Каким образом осуществляется перемещение компонентов?
- 6.8. Каким образом осуществляется подключение компонентов?
- 6.9. Для чего необходимо обязательно заземлять схемы?
- 6.12. Для чего применяются трехмерные компоненты?

## **7. Содержание отчета:**

- 7.1. Сохранить на диске папку с созданными схемами

## **8 Литература и средства обучения:**

### **Основные источники:**

1. Овечкин Г.В., Овечкин В.П. Компьютерное моделирование  
ОИЦ «Академия» 2020
2. Компьютерное моделирование: Учебник для вузов / В.М. Градов,  
Г.В. Овечкин и др.- М. ЭБС Знаниум 2023
3. Методические указания для выполнения практического занятия

### **Дополнительные источники**

Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2016. – 488 с; ил.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

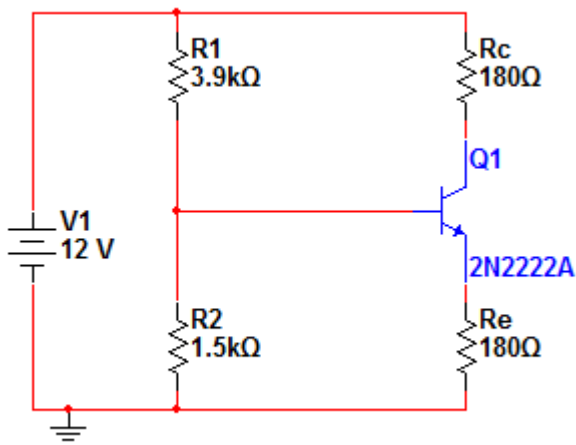


Рис .1

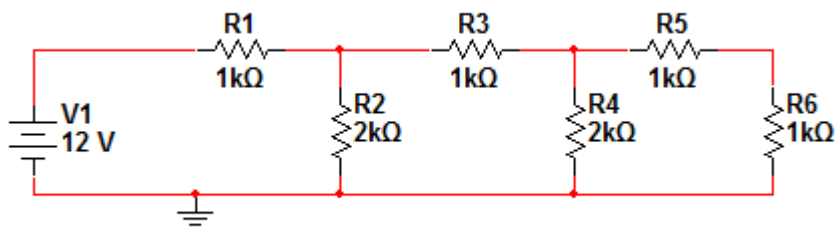


Рис .2

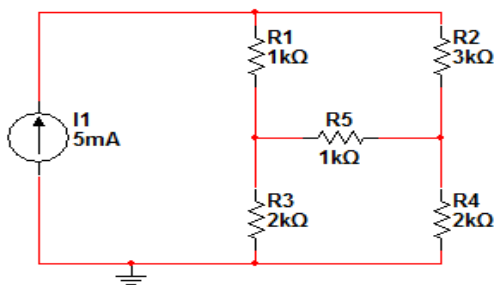


Рис .3



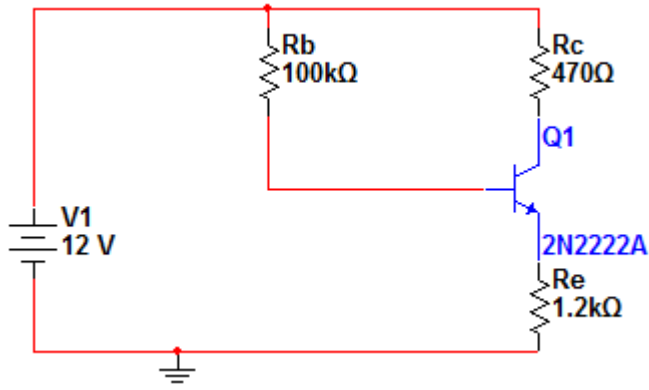


Рис .4

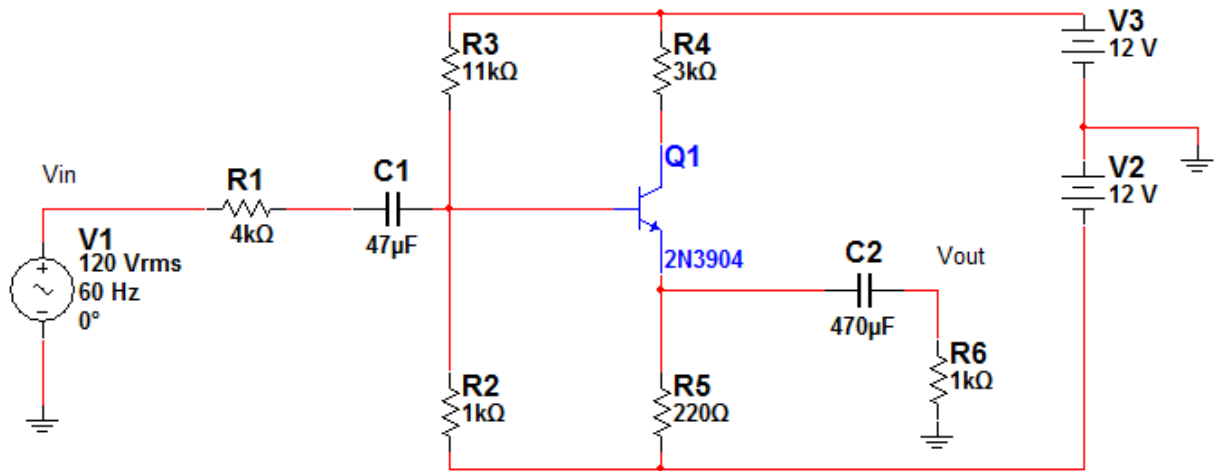


Рис .5

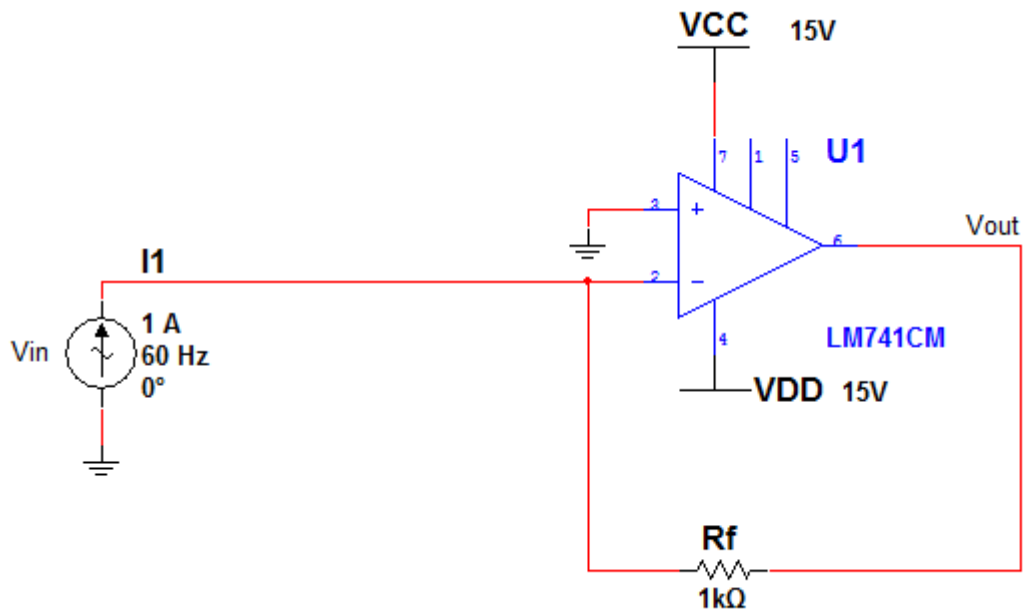


Рис .6

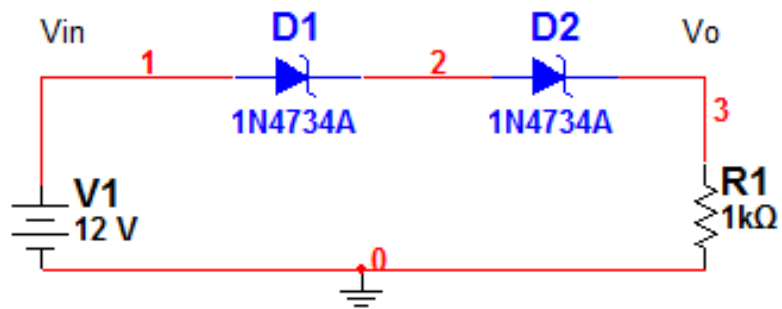


Рис .7

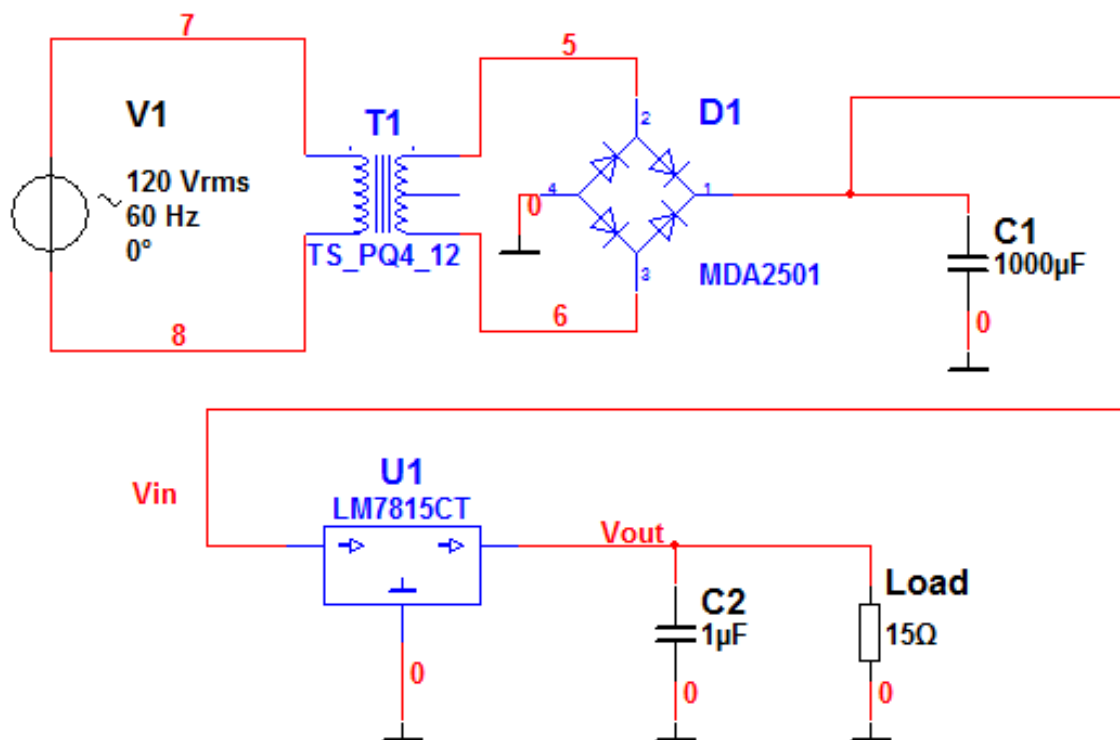


Рис .8

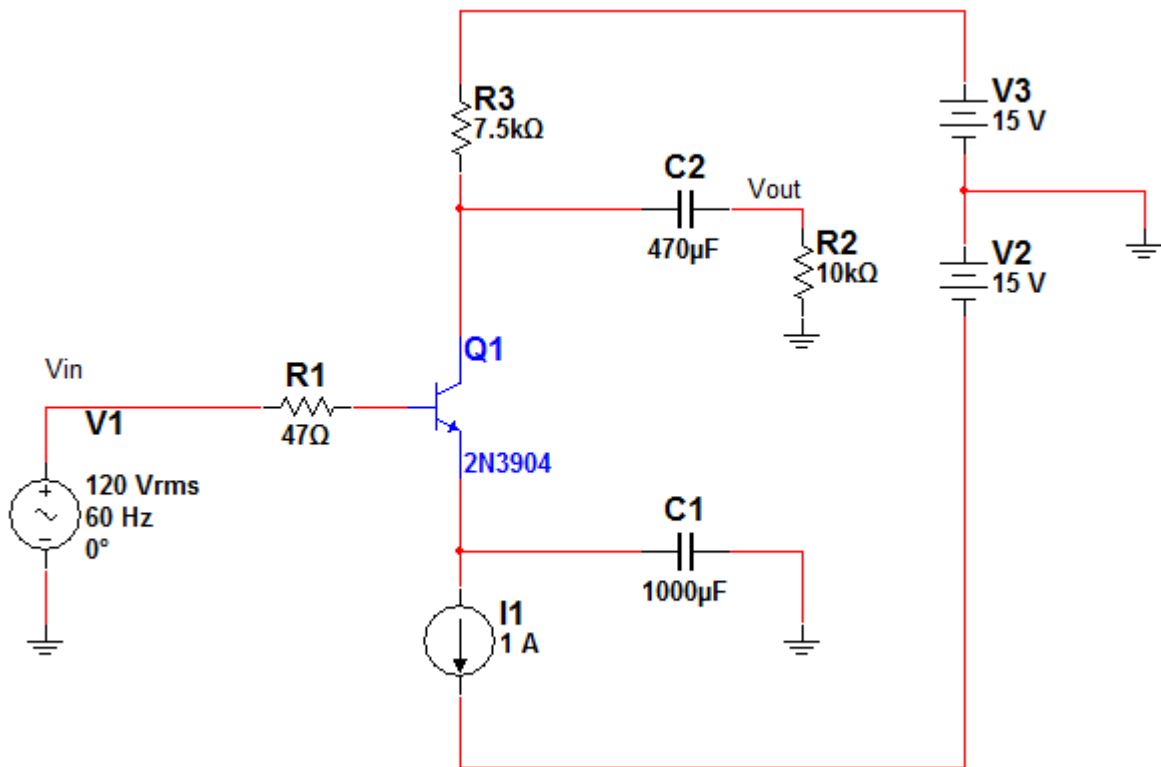


Рис .9

## Практическое занятие № 40

### Создание условного графического обозначения транзисторов, резисторов, диодов, катушек индуктивности в программе Delta Design

#### 1 Цель работы:

Научиться создавать УГО элементов в среде **Delta Design** и формировать собственную элементную базу

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа **Delta Design**

#### 4. Краткие теоретические сведения

4.1. Условное графическое обозначение (УГО) - это представление компонента на электрической схеме. По внешнему виду УГО происходит идентификация компонента на схеме.

Условное графическое обозначение (УГО) состоит из следующих частей, которые отмечены цифрами на Рис. 179:

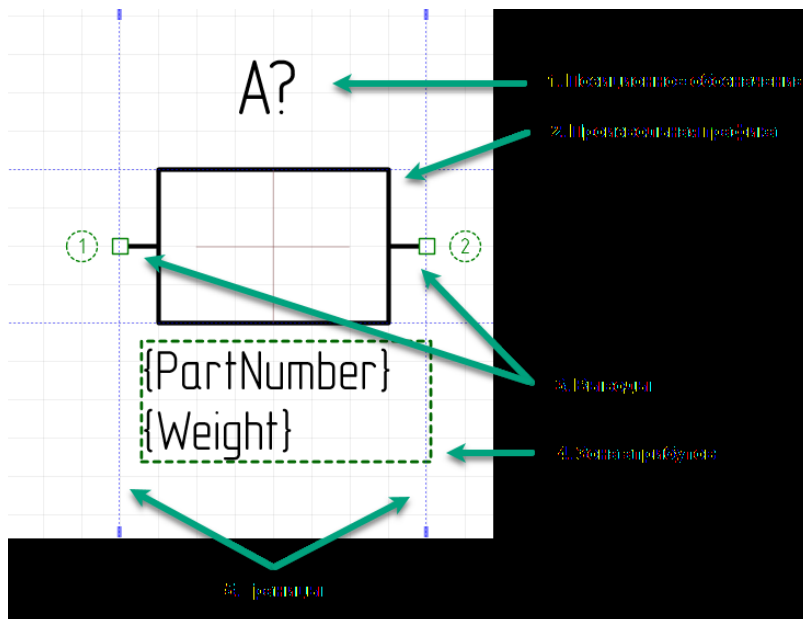


Рис. 1 Структурные элементы УГО

1. Позиционное обозначение
2. Произвольная графика
3. Выводы
4. Зона атрибутов
5. Границы

#### 4.2. Запуск создания УГО

УГО создаются в отдельном редакторе, который запускается с помощью контекстного меню на узле УГО в Стандартах системы, см. Рис. 2

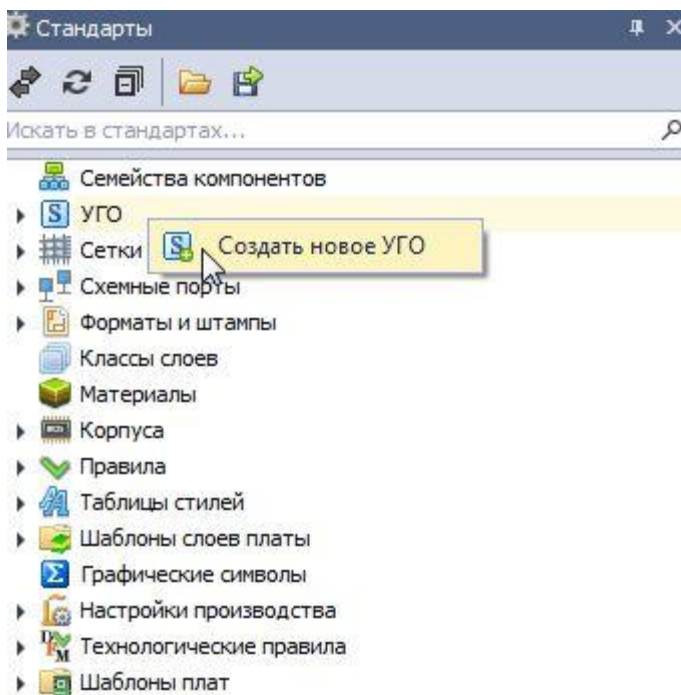


Рис. 2 Запуск редактора УГО

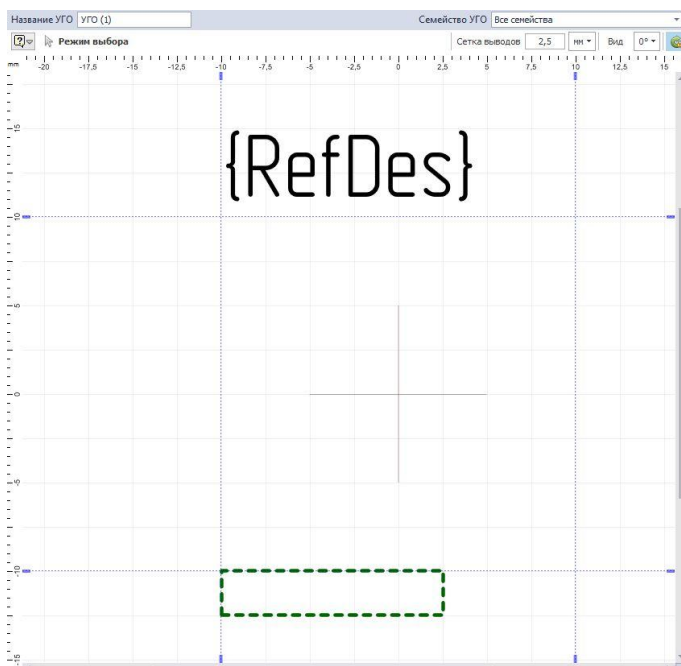


Рис. 3 Общий вид редактора УГО семейств

### 4.3. Этапы создания УГО

#### 4.3.1. Создание произвольной графики

Создание произвольной графики осуществляется с помощью графического редактора.

#### 4.3.2. Размещение выводов

Выводы УГО должны располагаться в узлах базовой сетки. Размещение выводов осуществляется с помощью инструмента «Разместить вывод», кото-

рый активируется с помощью кнопки , расположенной на панели инструментов «Схема», или из раздела Инструменты» контекстного меню см. Рис.4.

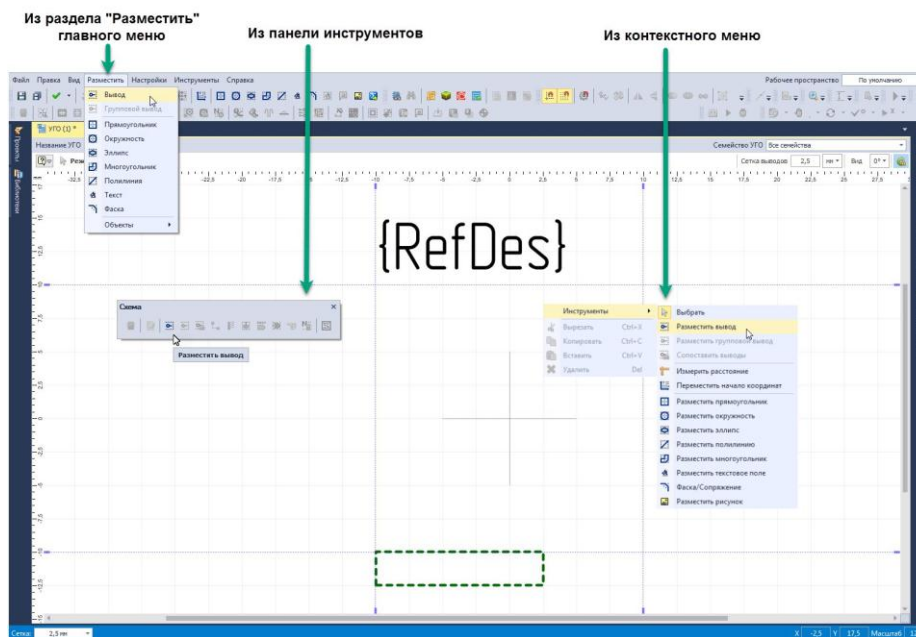



Рис. 4 Вызов инструмента «Разместить вывод»

Для того, чтобы разместить вывод на отдельное УГО:

1. Выберите инструмент «Разместить вывод». На Рис. 5 показан курсор  , которым отображается инструмент «Разместить вывод»

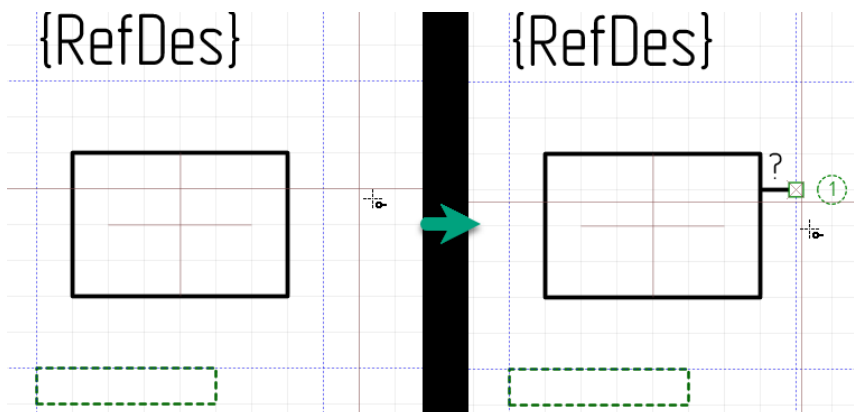


Рис. 5 Курсор, при использовании инструмента «Разместить вывод»

2. Установите вывод в нужную позицию на границе, нажав левую кнопку мыши. После установки одного вывода инструмент «Разместить вывод» продолжает быть активным - он готов для размещения новых выводов.
3. Разместите на УГО необходимое число выводов. После этого завершить работу с инструментом - нажмите клавишу «Отмена»

### 4.3.3. Настройка границ

Положение линии границы можно изменить, поместив курсор на линию (его вид должен измениться) и нажав левую кнопку мышки см. Рис. 6. После этого граница может быть перемещена в другое место.

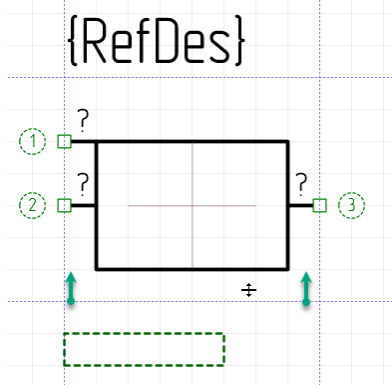


Рис. 6 Перемещение линии границы

### 4.3.4.. Настройка позиционного обозначения

Позиционное обозначение это текстовое поле с текстом «{RefDes}». Этот текст заменяется буквенным обозначением семейства, когда УГО добавляется в описание компонента в библиотеке, Настройка позиционного обозначения осуществляется с помощью панели «Свойства», см. Рис. 7

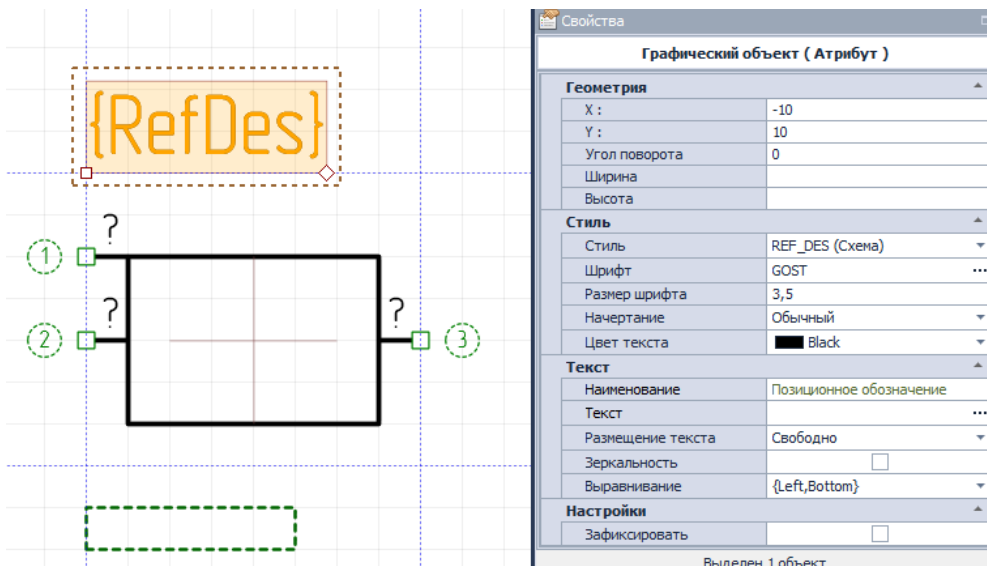


Рис. 7 Настройка позиционного обозначения

### 4.3.4. Настройка атрибутов

Настройка атрибутов (дополнительных данных), отображаемых на УГО осуществляется следующим образом:

1. Выбирается место для атрибутов (зона, обозначенная с помощью прямоугольника, изображенного пунктиром), и открывается панель «Свойства», см. Рис. 8.

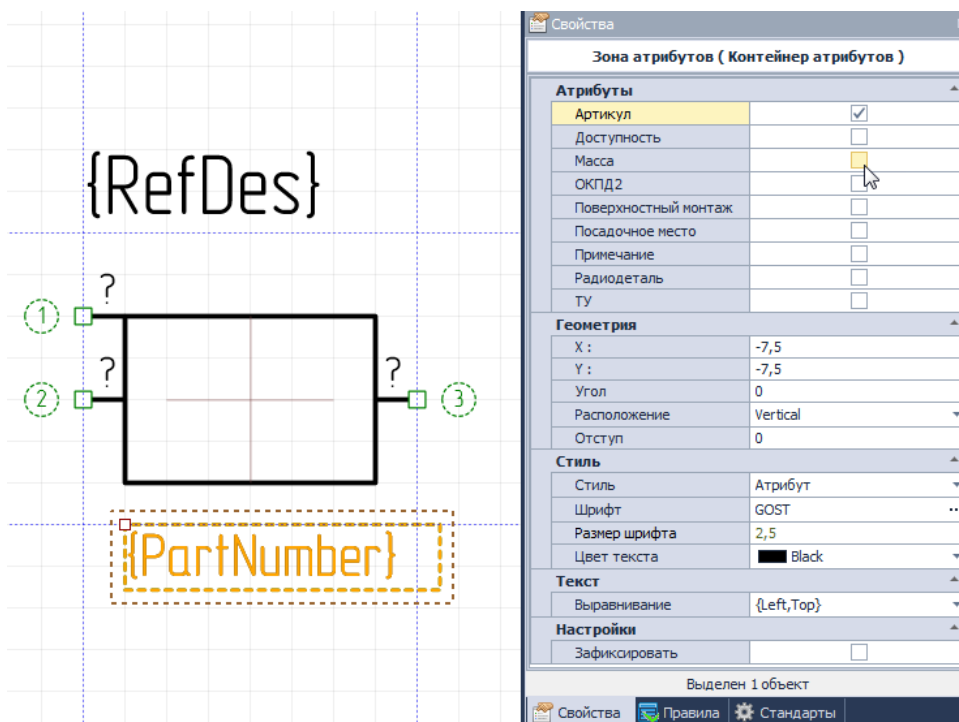


Рис. 8 Настройка зоны атрибутов УГО

2. Отмечаются флажком те атрибуты, которые должны быть отображены.

Создайте графику УГО, разместите выводы, заполните всю необходимую информацию по атрибутам и стилю их отображения и нажмите «Сохранить» на панели инструментов «Общие», Рис. 9



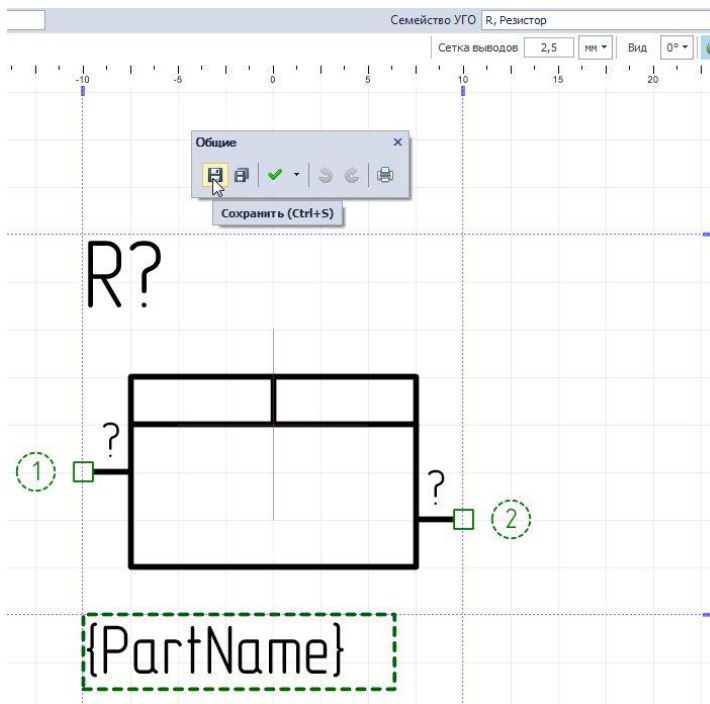


Рис. 9 Создание и сохранение УГО для базового типа представления

### 5. Задание:

1. Создать УГО транзистора, резистора, диода, катушки индуктивности в программе Delta Design.

2. Создать УГО микросхемы по заданию преподавателя

### 6. Порядок выполнения работы:

6.1. Открыть программу **Delta Design**.

6.2. Вызвать редактор из панели инструментов Создатель УГО

6.3. Создать УГО компонентов.

### 7. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

### 8. Литература и средства обучения:

8.1. Овечкин Г.В., Овечкин В.П. Компьютерное моделирование 2020  
ОИЦ «Академия»

8.2. Компьютерное моделирование: Учебник для вузов / В.М. Градов, Г.В. Овечкин и др. - М.: ЭБС Знаниум 2023

8.33. Методические указания для выполнения практического занятия

#### Дополнительные источники

Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2016. – 488 с; ил.

## Практическое занятие № 41

### Моделирование схем в программе Delta Design

#### 1 Цель работы:

научиться моделировать электрические схемы и приобрести практические навыки в измерении параметров электрических сигналов в цепях виртуальных электронных устройств

#### 2.Время выполнения работы –2 часа

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

1 Персональный компьютер

2 Программа Delta Design

#### 4. Краткие теоретические сведения

4.1. В системе Delta Design имеется возможность с помощью функционала аналогового моделирования SimOne построить и промоделировать схему. Моделирование схем в программе Delta Design осуществляется в модуле SimOne. SimOne представляет собой встроенный модуль Delta Design. Благодаря высокоэффективному пакету схемотехнического редактора SimOne возможно проводить полнофункциональное SPICE-моделирование, а также исследование устойчивости схемы при изменении различных входных параметров. SimOne является встроенным модулем системы Delta Design. Все операции доступные для SimOne могут быть вызваны из главного и контекстного меню системы.

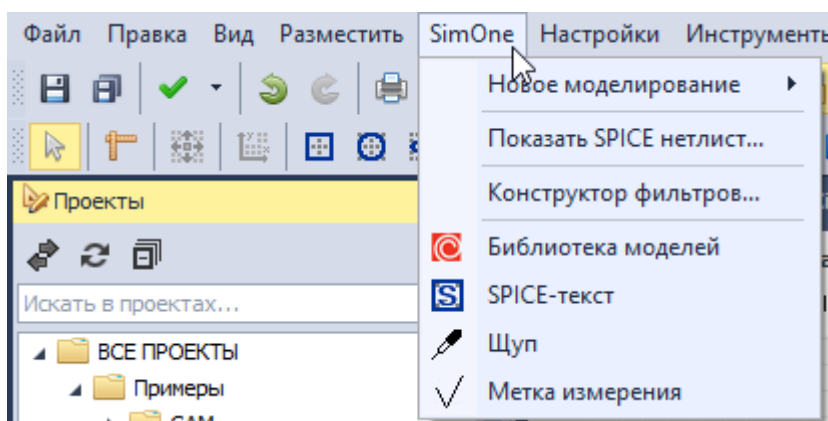


Рис. 1 Переход в меню команд SimOne

В создании проекта моделирования можно использовать как библиотечные компоненты SimOne, так и задействовать компоненты библиотеки

Delta Design. Для корректного использования библиотечных компонентов Delta Design внутри компонента необходимо "привязать" SPICE-модель.

При создании проекта моделирования SimOne для работы со схемой доступны те же панели инструментов, что и при работе со схемой проекта платы Delta Design. Также доступными становятся панели SimOne, инструменты которых направлены на работу с моделированием- панель инструментов «SimOne» и панель инструментов «SimOne Graphics».

Выбор моделирования вызывается из главного меню -> раздел «SimOne» -> «Новое моделирование», см. Рис. 2.

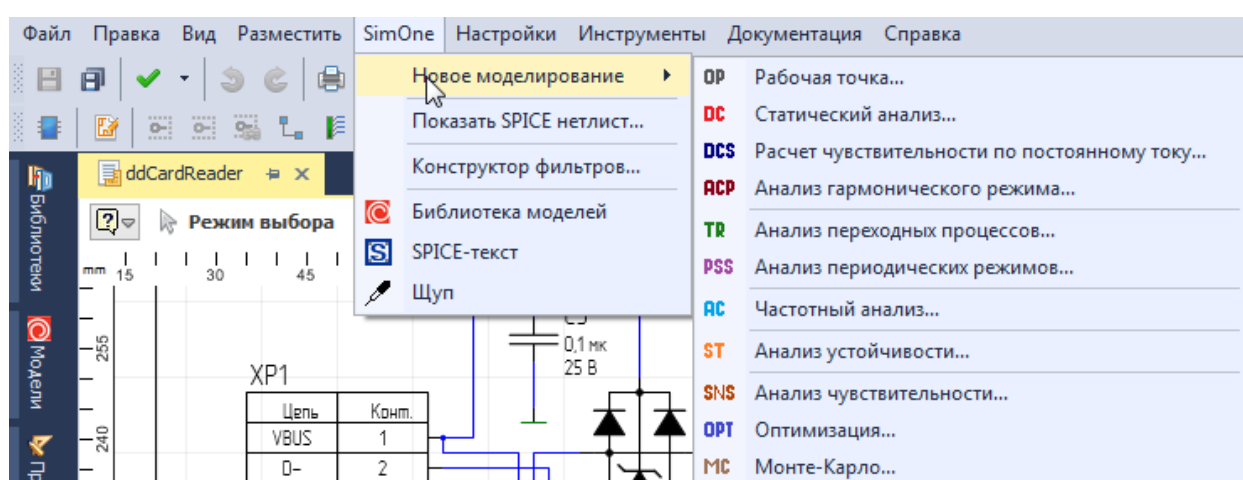


Рис. 2 Вызов списка доступных симуляций из главного меню

#### 4.2. Сигналы

Сигналы – это функции временного аргумента, с помощью которых подаются входные воздействия на схему. Сигналы используются в схеме двумя компонентами – независимым источником напряжения и независимым источником тока. Сигналы могут быть созданы следующими способами:

- Для установленного на схему источника вызвать контекстное меню и выбрать пункт «Задать сигнал...», что вызовет диалоговое окно управления сигналами; Для установленного на схему источника в панели «Свойства» выбрать SPICE-параметр SIGNAL, см. Рис.3

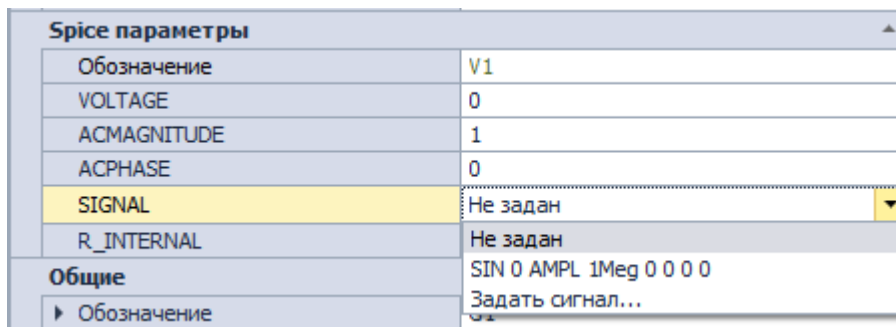


Рис. 3 Создание сигнала через панель «Свойства»

4.3.В модуле SimOne представлены различные виды анализа электронных схем.

#### 4.3.1.Расчёт рабочей точки схемы

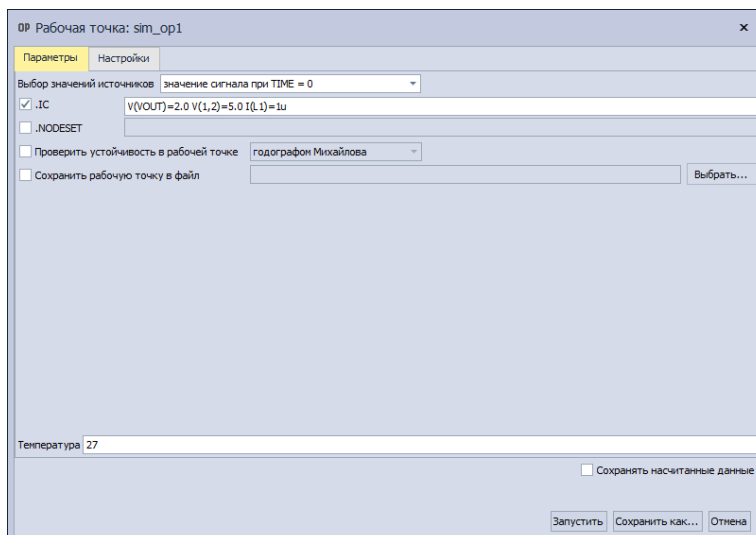


Рис. 4 Окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

#### 4.3.2. Анализ гармонического режима схемы

Анализ гармонического режима схемы включает в себя расчёт мало-сигнальных параметров моделей компонентов, значений токов, напряжений, мощностей схемы.

На Рис. 4 приведено окно задания параметров анализа гармонического режима схемы

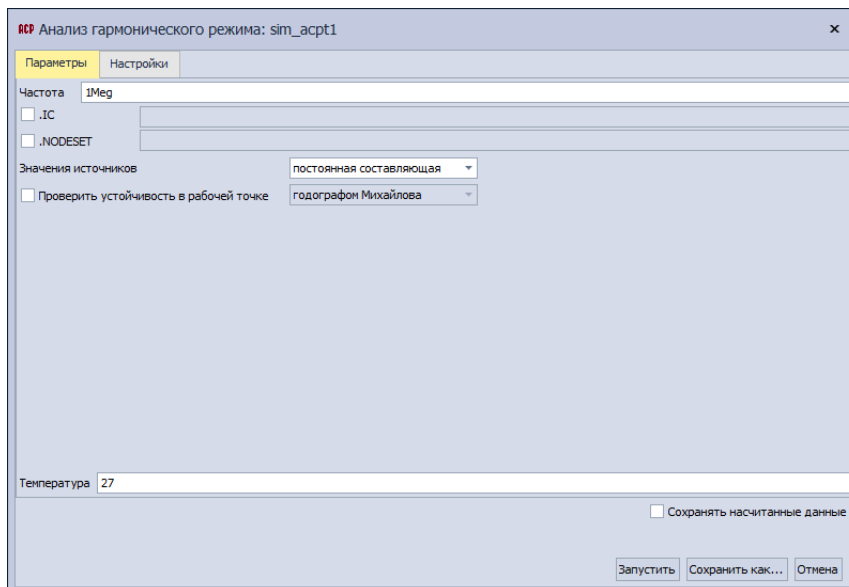


Рис.5 Окно задания параметров анализа гармонического режима  
схемы

При отображении результатов расчёта в таблице пользователь может выбрать варианты отображения:

- потенциалы узлов (только внешние узлы схемы);
- токи ветвей (только внешние ветви схемы);
- потенциалы всех узлов схемы
- отображать токи всех ветвей схемы
- амплитуда-Фаза;

#### 4.3.3. Частотный анализ

Частотный анализ позволяет исследовать частотные свойства схемы с помощью следующих характеристик:

- амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);
- логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ);
- фазо-частотной характеристики (ФЧХ);
- логарифмической фазо-частотной характеристики (ЛФЧХ);
- амплитудно-фазовой характеристики (АФХ).

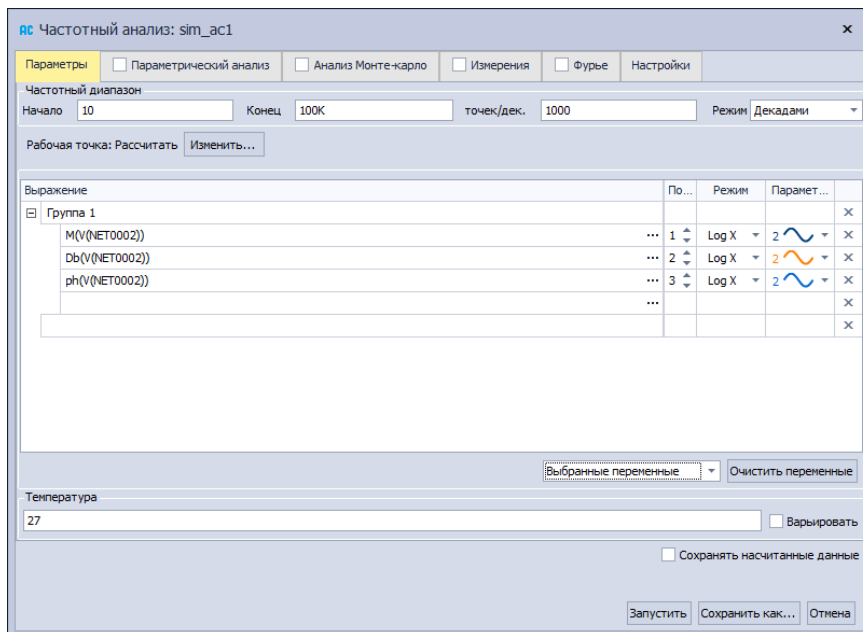


Рис. 6 Окно задания параметров симуляции расчёта частотных характеристик

### Анализ переходных процессов

4.3.4. Анализ переходных процессов позволяет исследовать поведение схемы во временной области при подаче на неё воздействий с помощью источников сигналов. В качестве выходных переменных схемы могут быть использованы, например, потенциалы узлов, падения напряжений на элементах, токи через них, потребляемая мощность и т.п. и любые выражения от них.

Результаты анализа представляются в виде временных диаграмм

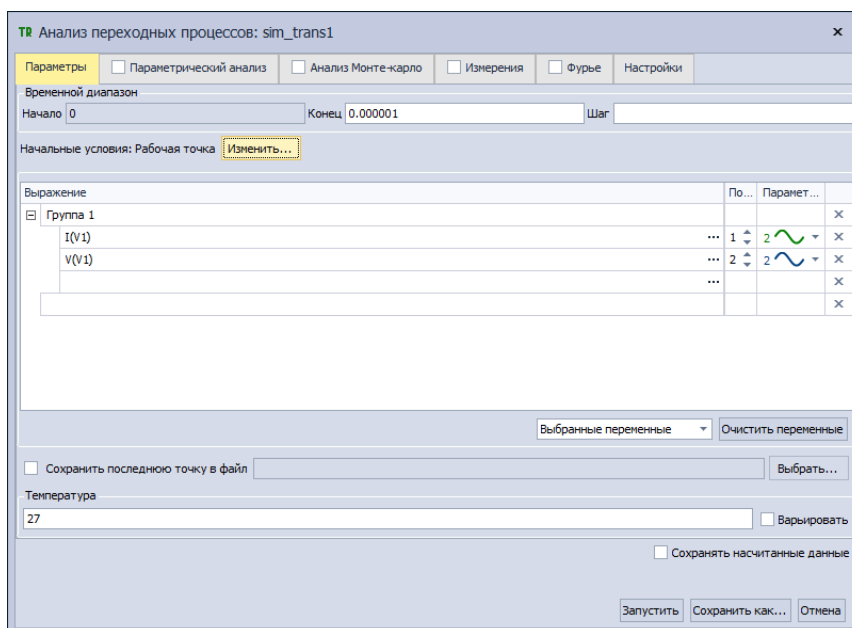


Рис. 7 Окно задания параметров симуляции расчёта переходного процесса схемы

#### 4.3.5. Анализ периодических режимов

Анализ периодических процессов позволяет исследовать поведение схемы в установившемся периодическом режиме.

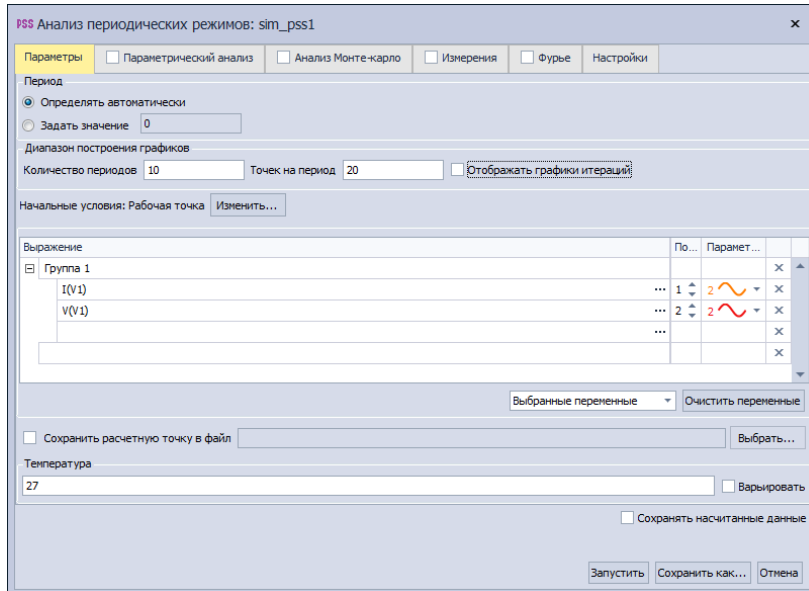


Рис. 8 Окно задания параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы

### 5. Порядок выполнения работы:

5.1 Собрать схемы, из приложения 1

5.2. Выполнить моделирование схем по п.п.4.3.1-4.35

### 6. Содержание отчета:

6.1 Папка на рабочем столе ПК с решениями задач

### 7. Литература и средства обучения

#### Основные источники:

1. Овечкин Г.В., Овечкин В.П. Компьютерное моделирование 2020 ОИЦ «Академия»
2. Компьютерное моделирование: Учебник для вузов / В.М. Градов, Г.В. Овечкин и др. - М.: ЭБС Знаниум 2023
3. Методические указания для выполнения практического занятия

#### Дополнительные источники

1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

### Практическое занятие № 42

**Оформление чертежа схемы электрической принципиальной и составление перечня элементов в соответствии с ЕСКД в программе Delta Design**

### **1 Цель работы:**

научиться оформлять чертеж схемы электрической принципиальной цифрового устройства и составлять перечень элементов

### **1. Время выполнения работы -2 часа**

### **3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа **Delta Design**
- 3 Справочники по радиокомпонентам.
4. ГОСТы ЕСКД.

## **4. Краткие теоретические сведения**

3.1 ЕСКД (единая система конструкторской документации) — комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, изготовлении, эксплуатации, ремонте и др.).

Основное назначение стандартов ЕСКД состоит в установлении единых оптимальных правил выполнения, оформления и обращения конструкторской документации, которые обеспечивают:

- 1) применение современных методов и средств при проектировании изделий;
- 2) возможность взаимообмена конструкторской документацией без ее переоформления;
- 3) оптимальную комплектность конструкторской документации;
- 4) механизацию и автоматизацию обработки конструкторских документов и содержащейся в них информации;
- 5) высокое качество изделий;
- 6) наличие в конструкторской документации требований, обеспечивающих безопасность использования изделий для жизни и здоровья потребителей, окружающей среды, а также предотвращение причинения вреда имуществу;
- 7) возможность расширения унификации и стандартизации при проектировании изделий;
- 8) возможность проведения сертификации изделий;
- 9) сокращение сроков и снижение трудоемкости подготовки производства;
- 10) правильную эксплуатацию изделий;
- 11) оперативную подготовку документации для быстрой переналадки действующего производства;
- 12) упрощение форм конструкторских документов и графических изображений;



13) возможность создания единой информационной базы автоматизированных систем (САПР, АСУП и др.);

14) гармонизацию с соответствующими международными стандартами.

### 3.2 Виды конструкторской документации.

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые содержат данные, необходимые для разработки или изготовления, контроля, эксплуатации и ремонта изделий.

Конструкторские документы разделяют на проектные и рабочие. Проектные документы содержат данные, необходимые для разработки изделия (техническое предложение, эскизный и технический проекты).

В состав рабочей документации могут входить следующие виды конструкторских документов, которым присвоены соответствующие шифры (указаны в скобках): а) чертеж детали (шифра не имеет); б) сборочный чертеж (СБ); в) габаритный чертеж (ГЧ); г) монтажный чертеж (МЧ); д) схемы (шифр зависит от вида и типа схемы); е) спецификация (шифра не имеет); ж) ведомость спецификаций (ВС); з) ведомость покупных изделий (ВП); и) технические условия (ТУ); к) эксплуатационные документы (шифр зависит от вида документа); л) ремонтные документы; м) ряд других документов.

### 3.3 Виды и типы схем.

Схема - это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Виды схем в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), и их коды представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вид схемы	Определение	Код вида
Схема электрическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи	Э
Схема гидравлическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие жидкость, и их взаимосвязи	Г
Схема пневматическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие воздух, и их взаимосвязи	П
Схема газовая (кроме пневматической)	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие с использованием газа, и их взаимо-	Х

схемы)	связи	
Схема кинематическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений механические составные части и их взаимосвязи	К
Схема вакуумная	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи вакуума либо создающие вакуум, и их взаимосвязи	В
Схема оптическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений оптические составные части изделия по ходу светового луча	Л

Продолжение таблицы 1

Схема энергетическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части энергетических установок и их взаимосвязи	Р
Схема деления	Документ, содержащий в виде условных обозначений состав изделия, входимость составных частей, их назначение и взаимосвязи	Е
Схема комбинированная	Документ, содержащий элементы и взаимосвязи различных видов схем одного типа	С

Виды схем в зависимости от основного назначения подразделяются на типы. Типы схем и их коды представлены в таблице 2

Таблица 2

Тип схемы	Определение	Код типа
Схема структурная	Документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи	1
Схема функциональная	Документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом	2
Схема принципиальная (полная)	Документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представления принципах работы изделия (установки)	3
Схема соединений (монтажная)	Документ, показывающий соединения составных частей изделия (установки) и определяющий провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.)	4
Схема подключения	Документ, показывающий внешние подключения изделия	5
Схема общая	Документ, определяющий составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации	6
Схема расположения	Документ, определяющий относительное расположение составных частей изделия (установки), а при необходимости, также жгутов (проводов, кабелей), трубопроводов, световодов и т.п.	7

Схема объединенная	Документ, содержащий элементы различных типов схем одного вида	0
Примечание - Наименования типов схем, указанные в скобках, устанавливаются для электрических схем энергетических сооружений.		

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы (см. таблицу 1), и цифровой части, определяющей тип схемы (см. таблицу 2): например, схема электрическая принципиальная - Э3; схема гидравлическая соединений - Г4; схема деления структурная - Е1; схема электрогидравлическая принципиальная - С3; схема электрогидропневмокинематическая принципиальная - С3; схема электрическая соединений и подключения - Э0; схема гидравлическая структурная, принципиальная и соединений - ГО.

### 3.4 Перечень элементов

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Для электронных документов перечень элементов выполняют только в виде самостоятельного документа. В случае разработки электронной структуры изделия по ГОСТ 2.053 перечень элементов рекомендуется получать из нее в виде отчета, оформленного в соответствии с требованиями настоящего стандарта. Перечень элементов оформляют в виде таблицы (см. рисунок 1), заполняемой сверху вниз.

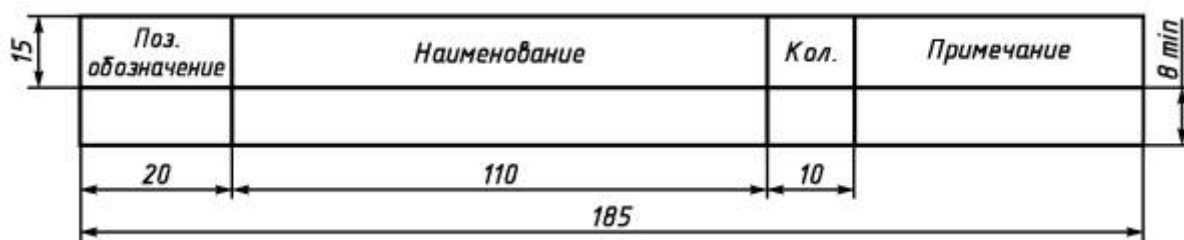


Рисунок 1 - Перечень элементов

В графах таблицы указывают следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» - позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп;
- в графе «Наименование» - для элемента (устройства) - наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, межгосударственный стандарт, стандарт Российской Федерации, стандарт организации, технические условия); - для функциональной группы - наименование;
- в графе «Примечание» - рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

При выпуске перечня элементов в виде самостоятельного документа его код должен состоять из буквы «П» и кода схемы, к которой выпускают перечень, например код перечня элементов к электрической принципиальной схеме - ПЭ3. При этом в основной надписи (графа 1) указывают наименова-

ние изделия, а также наименование документа «Перечень элементов».

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на формате А4.

### **5. Задание:**

5.1. Оформить чертеж схемы электрической принципиальной цифрового устройства и составить перечень элементов в программе . Схемы должны быть выполнены в Российском ЕСКД .

## **6 Порядок выполнения работы**

6.1 Изучить электрическую принципиальную схему устройства в соответствии с вариантом задания преподавателя (приложение А).

4.2 Оформить электрическую принципиальную схему устройства в соответствии с требованиями ЕСКД в программе **Delta Design**

6.2 Составить перечень элементов к электрической принципиальной схеме устройства в соответствии с требованиями ЕСКД в программе **Delta Design**

6..3 Составить вывод.

6.4 Ответить на контрольные вопросы

## **7 Содержание отчета:**

7.1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

7.2. Распечатки схемы и перечня элементов в формате А4

7.3 Выводы.

7.4 Ответы на контрольные вопросы

## **8 Контрольные вопросы**

8.1 Найти отличия в условном графическом обозначении элементов заданной схемы от условного графического обозначения в соответствии с ЕСКД.

8.2 Что такое схема электрическая принципиальная? Правила оформления в соответствии с требованиями ЕСКД.

8.3 Что такое перечень элементов? Правила оформления в соответствии с требованиями ЕСКД.

## **9. Литература и средства обучения:**

9.1.Компьютерное моделирование: Учебник для вузов / В.М. Градов, Г.В. Овечкин и др.- М.: ЭБС Знаниум 2023

9.2. ГОСТ 2.721—74

9.3. ГОСТ 2.702—75

9.4 ГОСТ 2.001-93 ЕСКД. Общие положения.

9.5 ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

9.6. ГОСТ 2.708—81 Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.

Приложение 1.

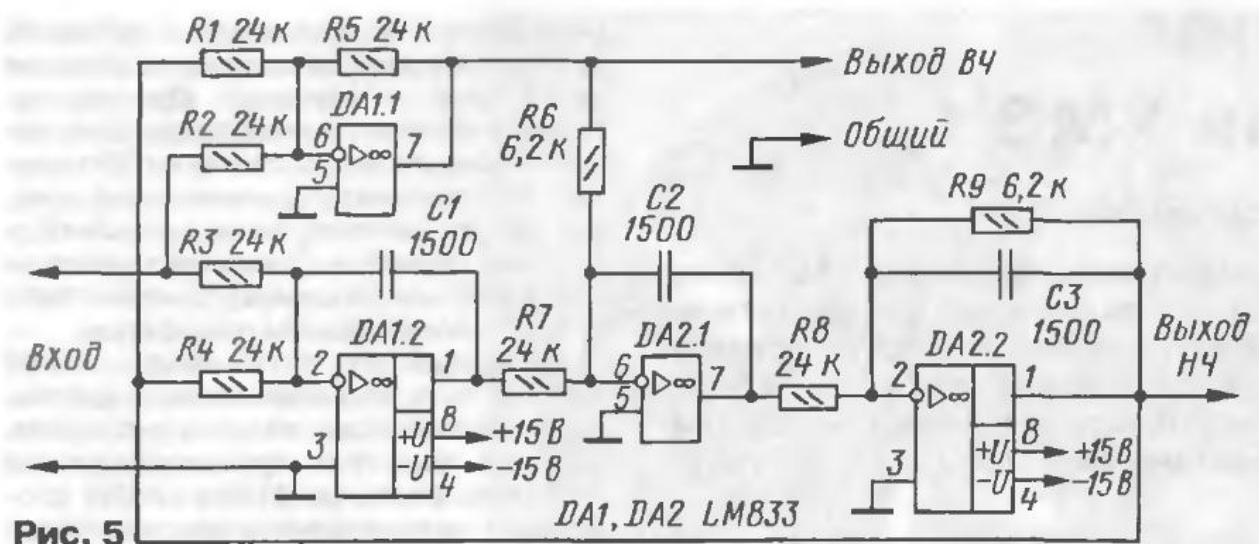
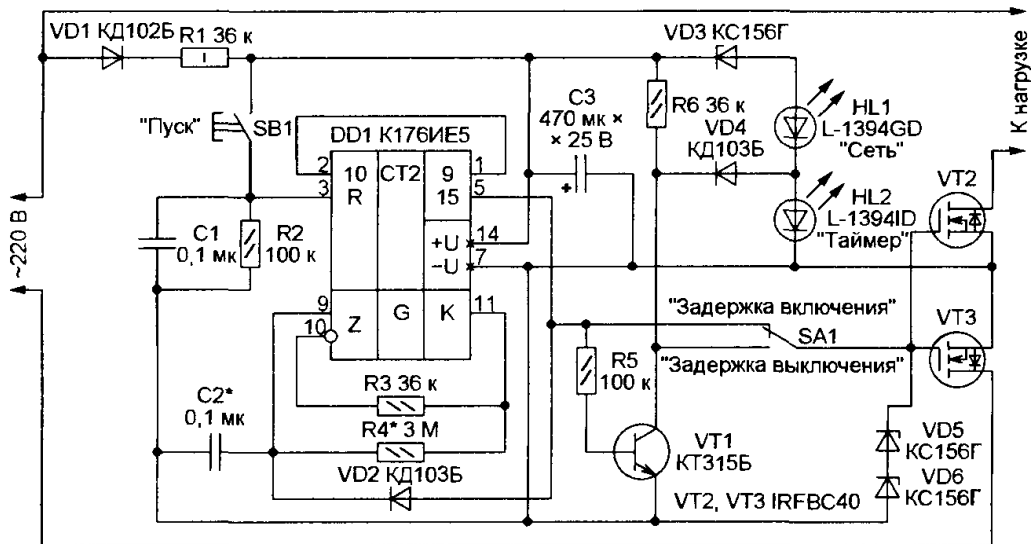
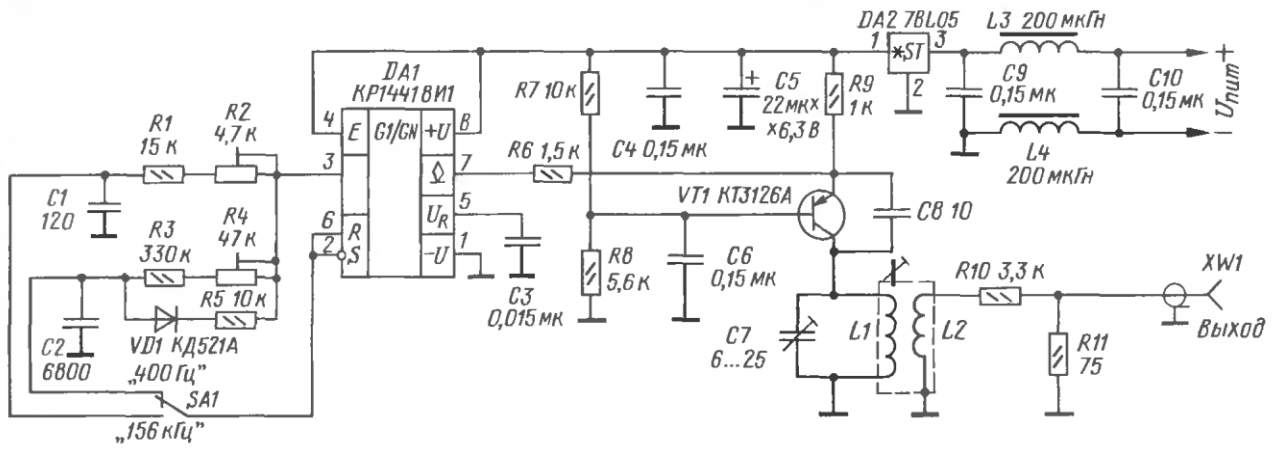
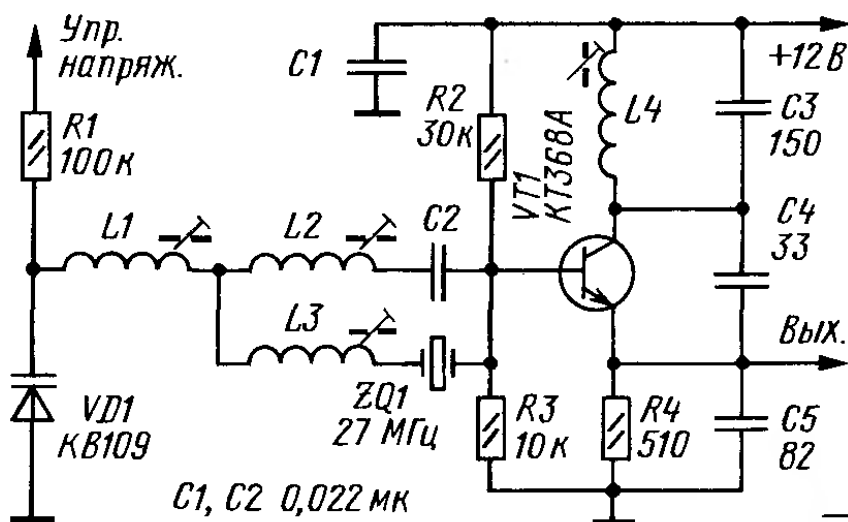
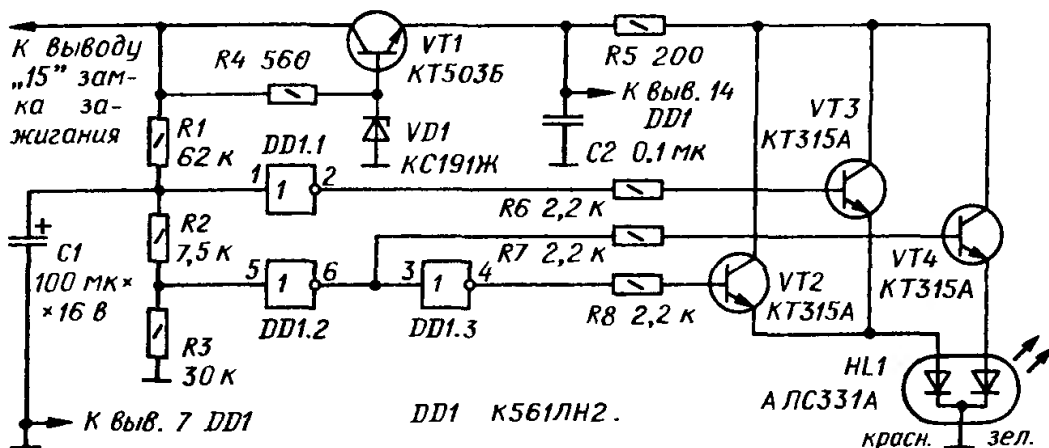


Рис. 5









## Практическое занятие № 43

### Создание корпуса резистора в среде NI Utiboard

#### 1 Цель работы:

Научиться создавать корпуса элементов в среде NI Utiboard и формировать собственную элементную базу

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

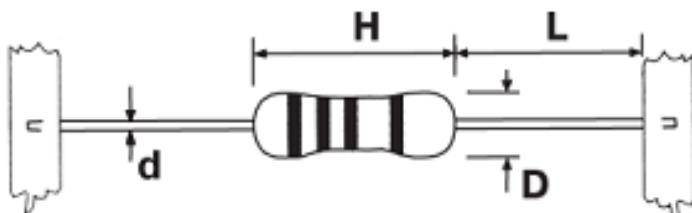
#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа Utiboard 11
3. Программа Multisim 11

#### 4. Краткие теоретические сведения

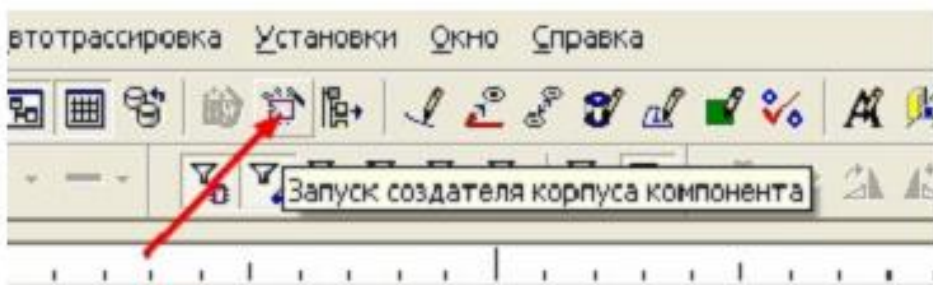
4.1. Создание корпусов компонентов печатных плат выполняется в программе Utiboard11.

Например, для того чтобы создать корпус резистора, берем документ с его описанием (Технические условия). Для примера рассмотрим создание корпуса резистора мощностью 0,25 Вт.



C1-4-0,25 Вт	6,0	2,3	28	0,60	250
--------------	-----	-----	----	------	-----

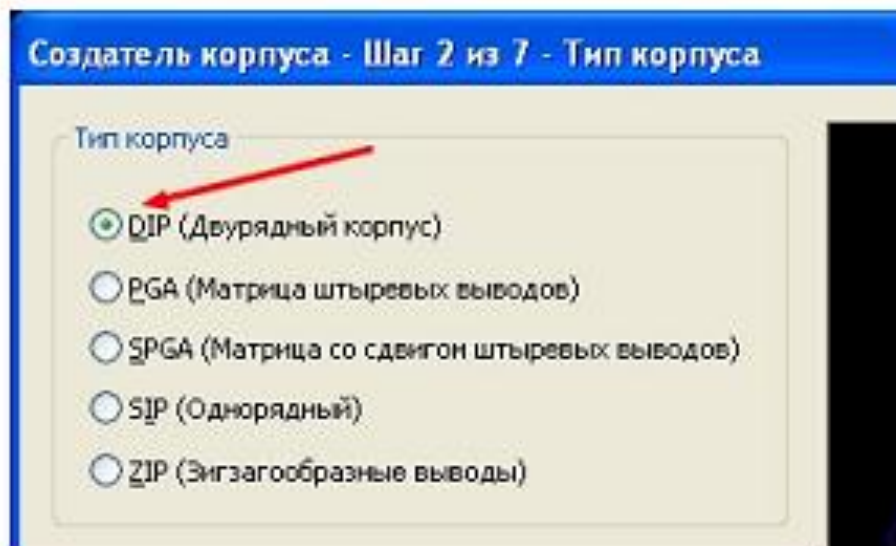
Вызываем из панели инструментов Создатель корпуса компонента



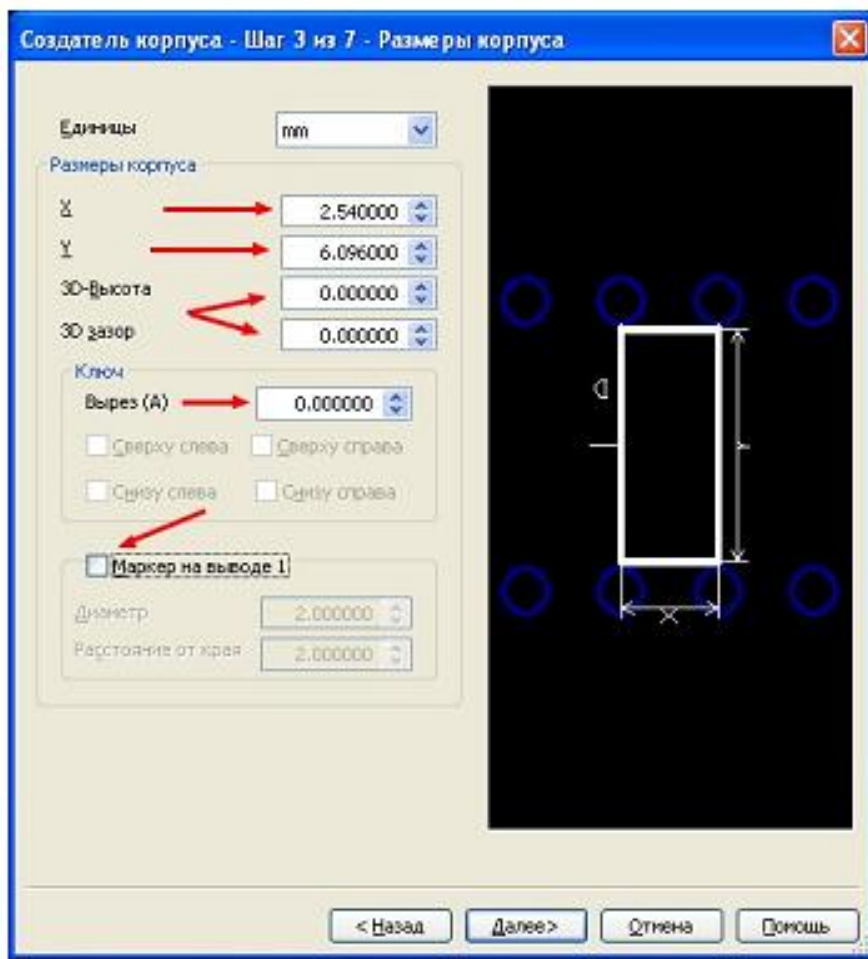
В первом шаге выбираем технологию сквозного монтажа (ТНТ)



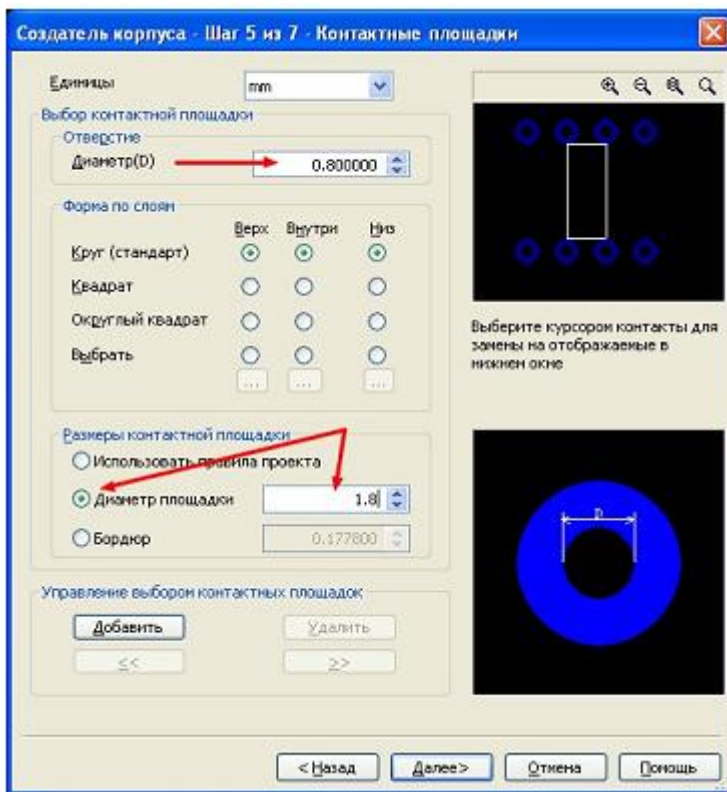
Далее выбираем корпус DIP . Выбор этого типа корпуса обусловлен тем, что его выводы будут направлены навстречу друг другу и их не придется разворачивать.



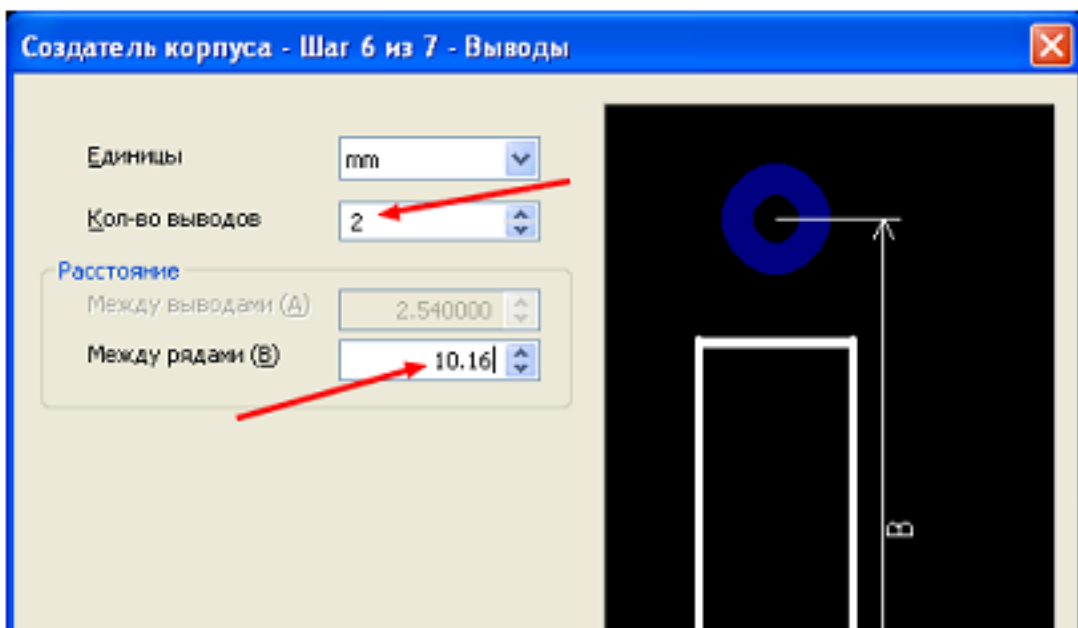
В следующем шаге вводим геометрические размеры корпуса. Его диаметр составляет 2,3 мм. Для резистора можно было бы оставить и так, но лучше взять за правило подгон размеров под сетку – это обязательно пригодится при создании более сложных корпусов. Для симметричных относительно центральной оси элементов при шаге курсора 0,127 мм лучше брать сетку 0,254 мм. Округляем диаметр в большую сторону (это гарантирует на плате промежутки между компонентами). Аналогично поступаем с длиной резистора. Высоту и зазор для резистора можно ввести сразу – при этом не придется устанавливать в дальнейшем высоту выводов (они автоматически установятся на половине высоты компонента). Кому как удобнее. Удаляем вырез и снимаем разрешение на установку маркера на 1 выводе.



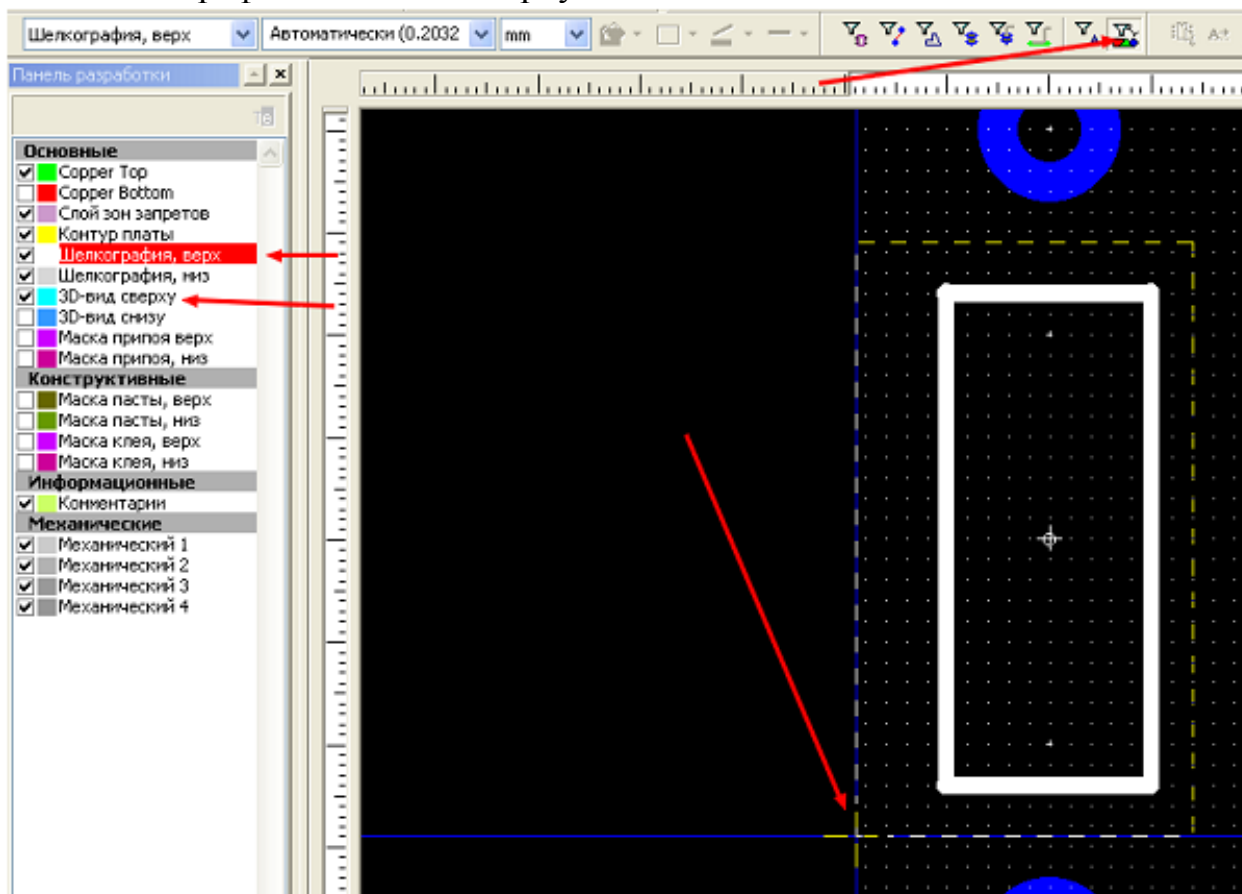
Следующий шаг можно пропустить и перейти к пятому, т.к. 4 шаг предназначен для фоновых подсветок и реально не является существенным. В пятом шаге устанавливаем параметры контактных площадок. Учитывая, что диаметр выводов резистора составляет 0,6 мм, можно было бы выбрать диаметр отверстия чуть больше. Однако при производстве двухсторонних плат диаметр уменьшится на толщину металлизации. Следовательно, следует установить с запасом. Диаметр самой площадки можно выбрать либо по ширине токопроводящего кольца вокруг отверстия (Бордюр), либо по внешнему диаметру.



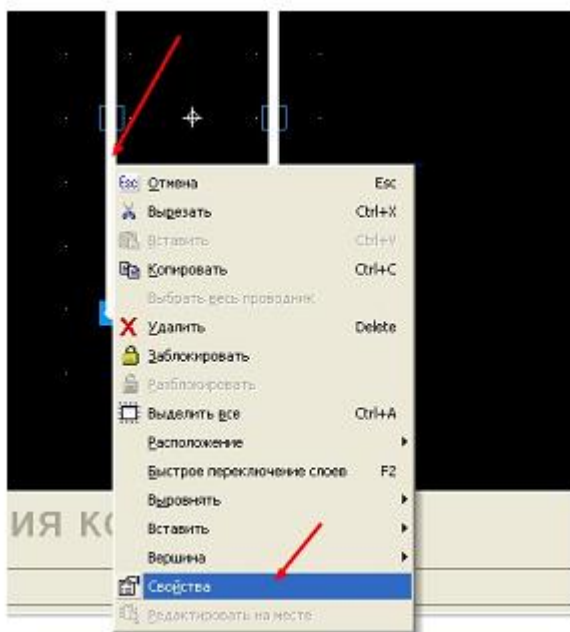
Теперь выставляем количество выводов и расстояние между ними. Расстояние между выводами следует выбирать такое, чтобы центры отверстий совпадали с сеткой или шагом курсора. В некоторых случаях этим приходится пренебречь, т.к. существуют компоненты с большим числом выводов, шаг которых не совпадает с остальными компонентами на плате. В последнем случае придется манипулировать изменением шага курсора или сдвигом проводника.



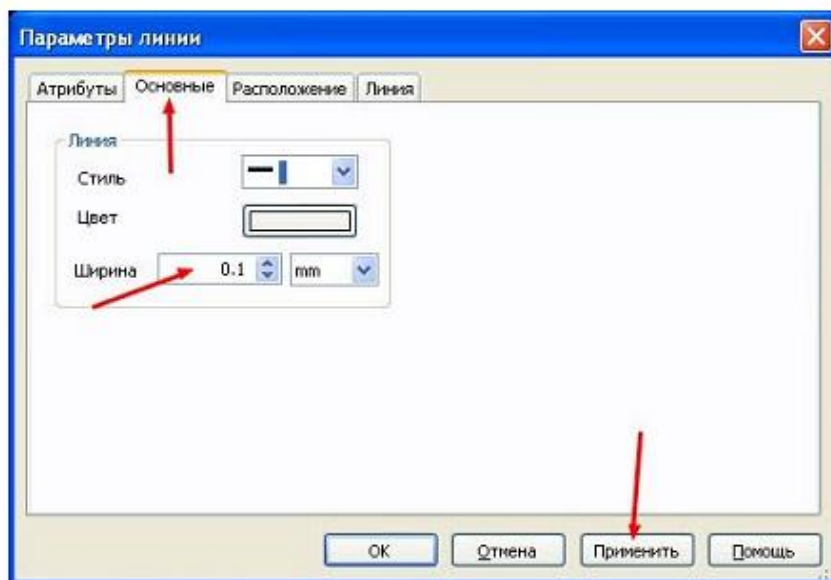
В последнем шаге соглашаемся с нумерацией выводов и переходим к редактированию компонента. Для начала изменим толщину линий (по умолчанию – 0,2...), чтобы они не загромождали рисунок на плате. Для этого оставляем из фильтров только Выделение графики и выбираем видимость слоев Шелкографии и 3D- вид сверху. Обведем мышкой весь компонент .



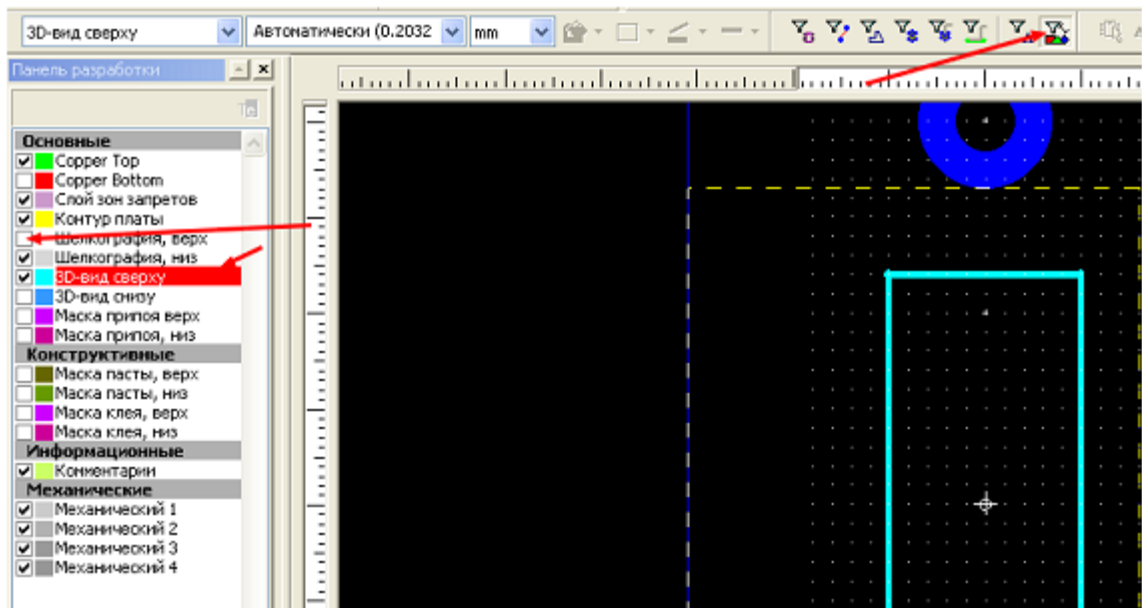
При этом произойдет выделение линий на слоях шелкографии и 3D. Наводим мышку на одну из выделенных линий и щелкаем правой кнопкой. В появившемся выпадающем меню выбираем Свойства.



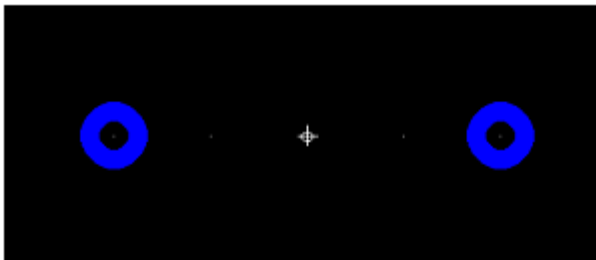
Открыв закладку Основные, Устанавливаем ширину линии 0,1 мм (из практики – это оптимальная величина). Нажимаем Применить и затем ОК.



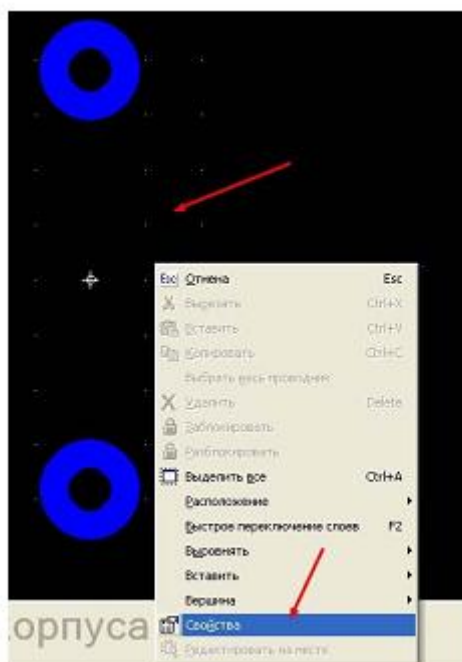
Полностью гасим слой шелкографии и делаем активным слой 3D вид сверху. Выделяем весь компонент



и нажимаем на клавиатуре Delete. В данном случае изображение корпуса в 3D слое не нужно – оно не используется. При этом изображение принимает вид (повернуто).

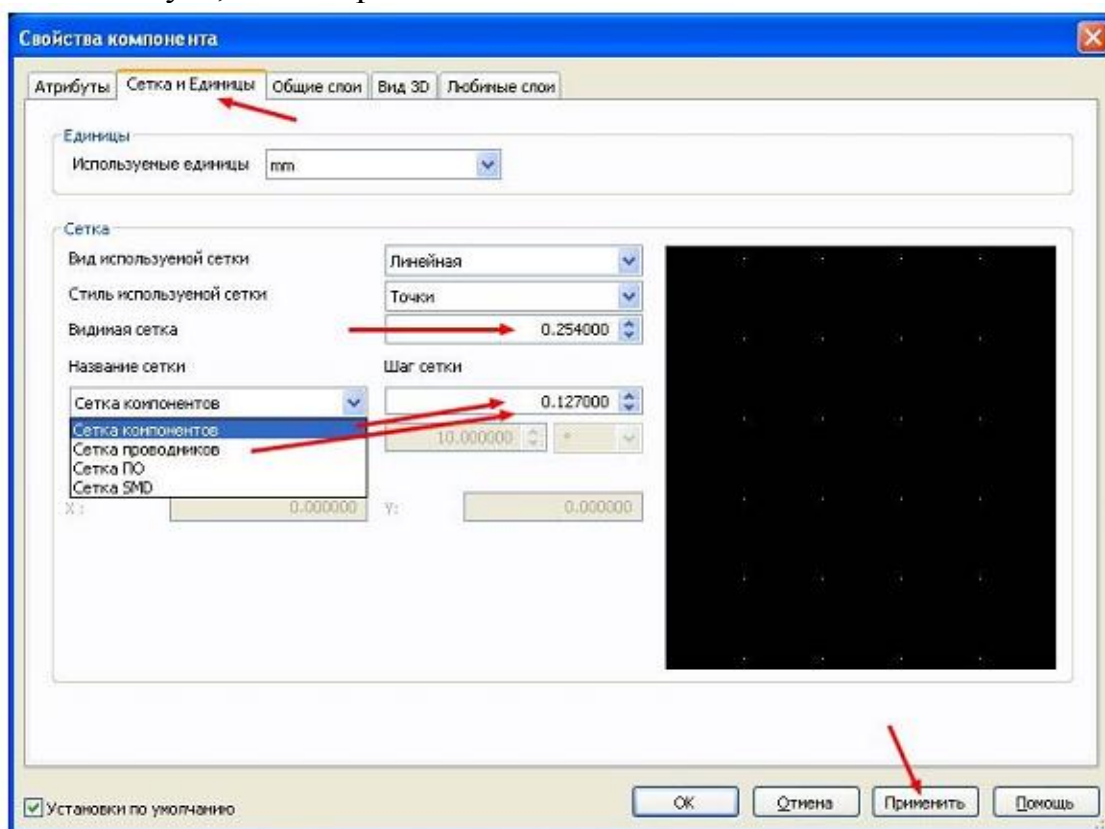


Выбрав свободное место на рабочем поле, щелкаем правой кнопкой мышки и выбираем Свойства.

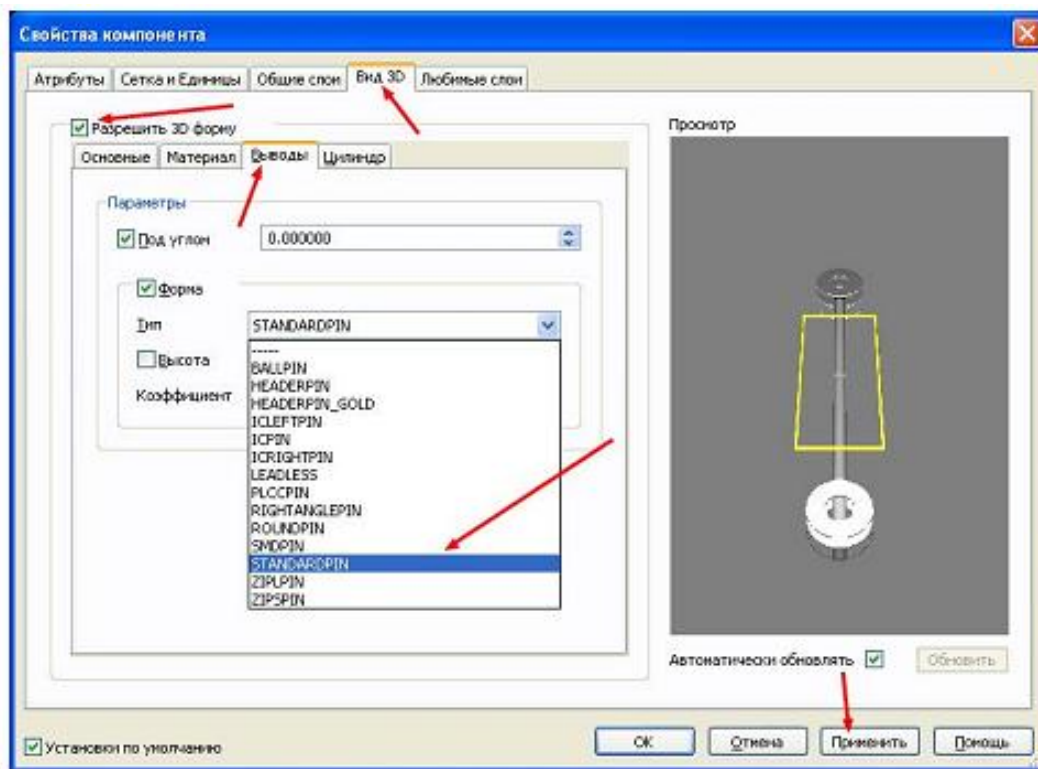




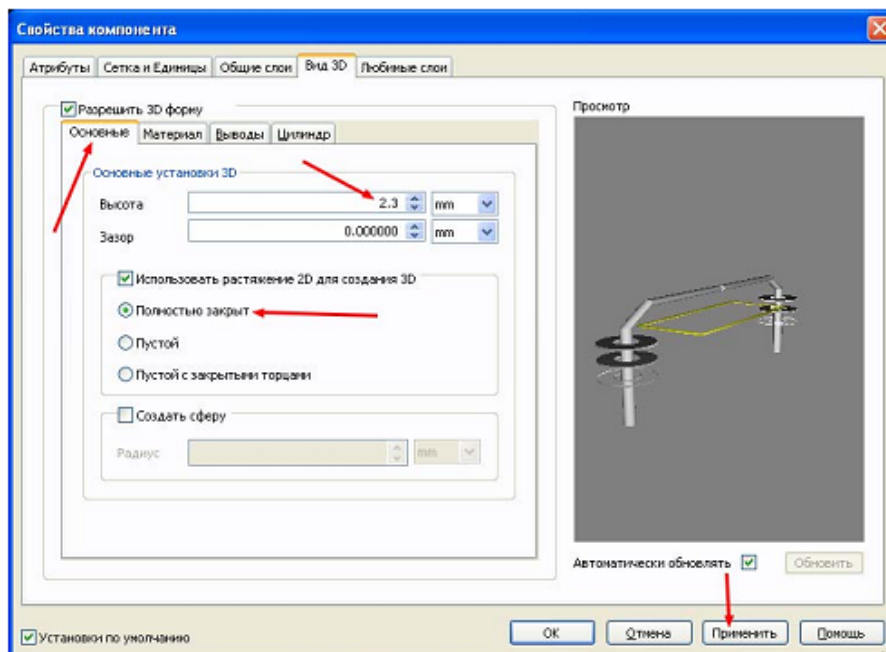
Можно просто сделать двойной щелчок по свободному месту рабочего поля. И в том и в другом случае откроется диалоговое окно Свойства компонента, в котором сначала открываем закладку Сетка и единицы и устанавливаем требуемые. После этого нажимаем кнопку Применить. Нажимать ОК пока не следует, иначе придется вновь вызывать это окно.



Проверяем наличие разрешения 3D формы. Теперь, открыв закладку Выводы, выбираем STANDARTPIN – это круглые изогнутые выводы, которые предназначены для отображения выводов сквозного монтажа горизонтально расположенных компонентов. Вновь нажимаем Применить.

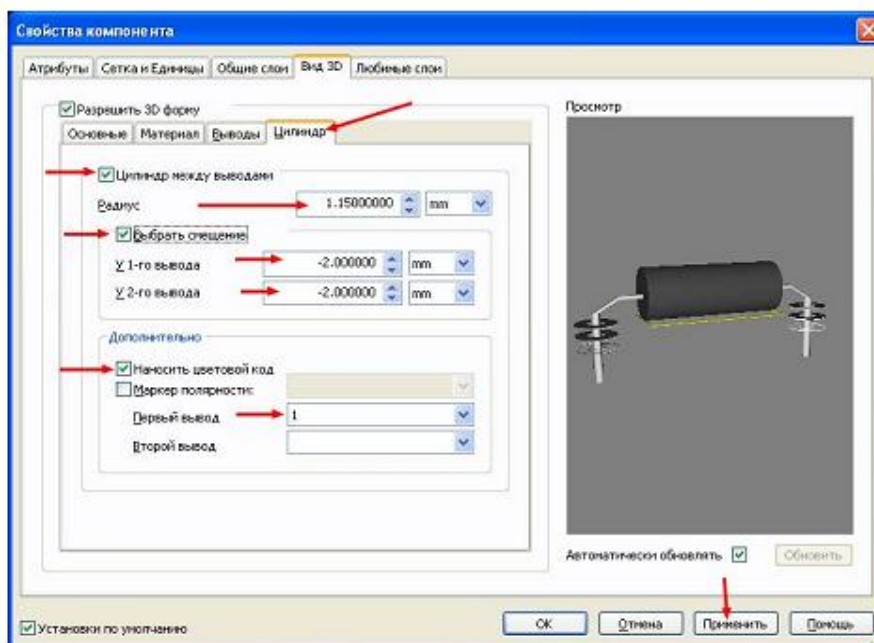


Переходим в закладку Основные и устанавливаем высоту компонента, равную диаметру резистора. Зазор можно выбрать, если при сборке платы предполагается специальная формовка выводов для подъема резистора над платой. Следует заметить, что все эти параметры можно потом редактировать прямо на плате. Поэтому в библиотеке лучше сохранять наиболее часто используемый вариант корпуса.

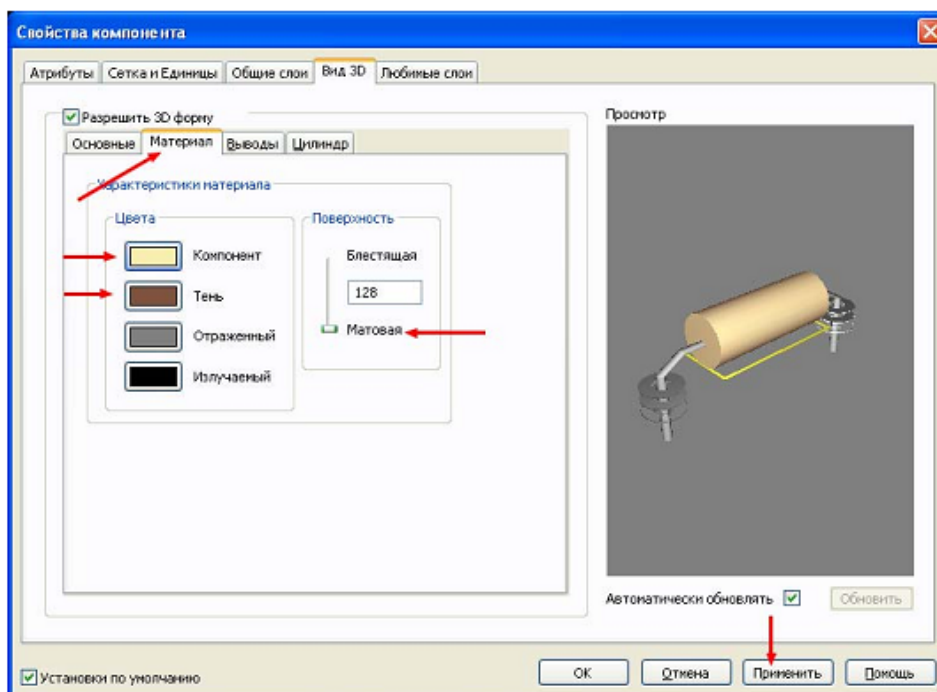


В закладке Цилиндр формируем цилиндрический корпус резистора. Устанавливаем радиус и сдвиг цилиндра относительно выводов. Так как у нас корпус имеет длину 6 мм, а расстояние между выводами составляет 10

мм ( это так, примерно...), то сдвиг должен составлять  $(10-6)/2=2$  мм. Сдвиг идет внутрь корпуса, поэтому вводим отрицательные значения . В поле Дополнительно выбираем пункт нанесения цветового кода и первый вывод в качестве начала отсчета этого кода . Нажимаем Применить.

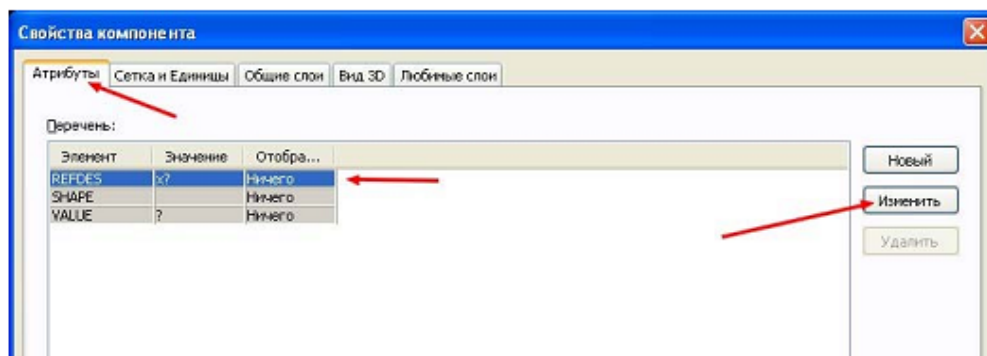


Переходим в закладку Материал и выбираем цвета для корпуса резистора. В случае резистора в поле Поверхность лучше переместить движок в сторону Матовая.

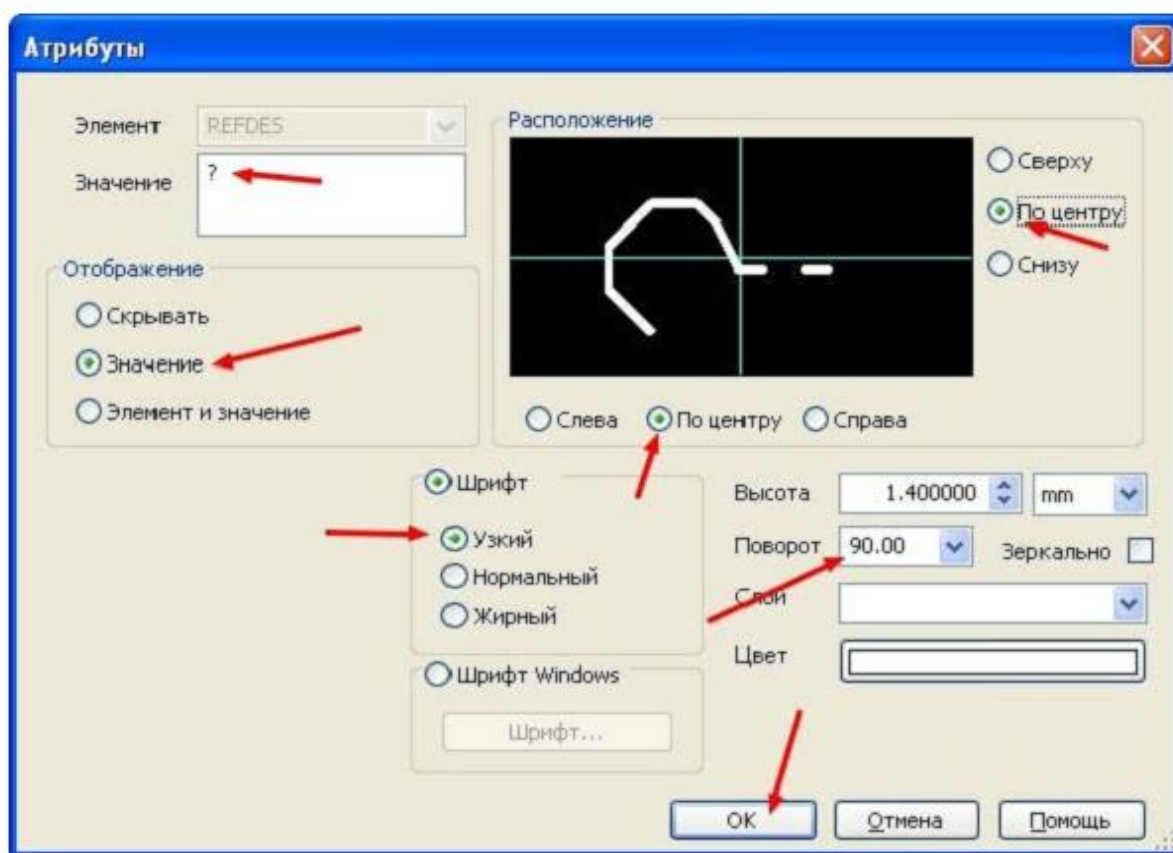


Теперь открываем в диалоговом окне закладку Атрибуты, выделяем строку схемного обозначения ( REFDES ) и нажимаем кнопку Изменить. Это делается для того, чтобы на плате при разработке (а также на реальной плате

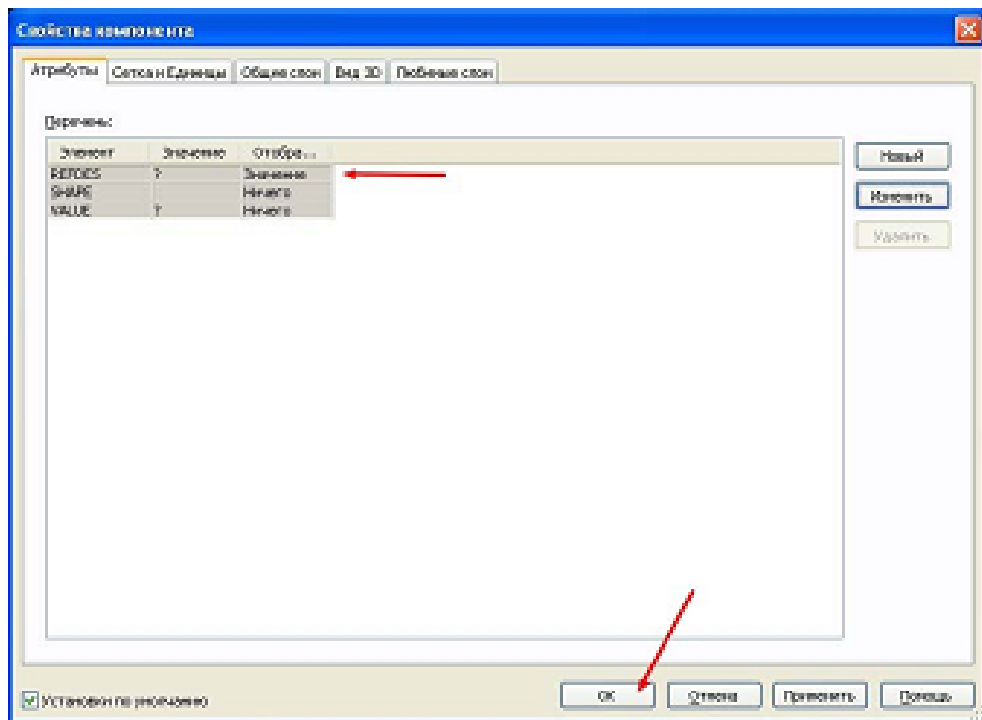
промышленного изготовления для ручной сборки ) в слое шелкографии отображалось схемное обозначение.



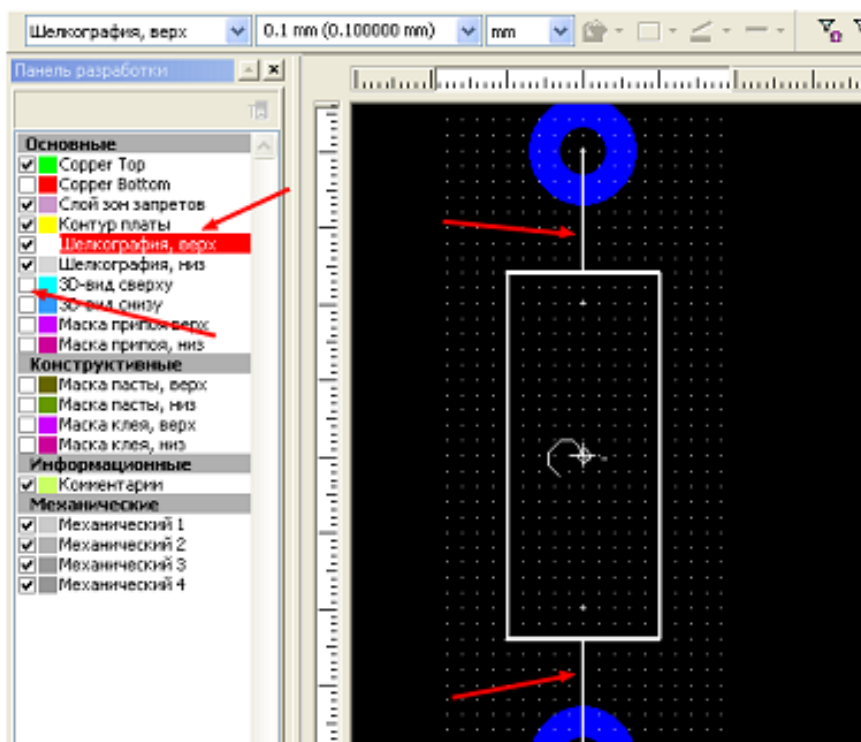
В открывшемся окне удаляем знак «x», оставив только вопросительный знак. Знак «x» нужен для конкретизации корпуса определенных компонентов – в данном случае не используется. Вместо вопросительного знака при трансляции схемы из Multisim на плату будут отображаться схемные обозначения – R1, R22, например. В поле Отображение выбираем пункт Значение (т.е. тот самый эквивалент знака вопроса – R1, R22). Шрифт следует выбирать узкий. Отображение – по центру (при необходимости на плате можно будет перенести в любое место). Так как элемент нарисован вертикально, устанавливаем поворот 90 градусов – чтобы текст схемного обозначения шел по длине резистора, а не поперек. Нажимаем ОК.



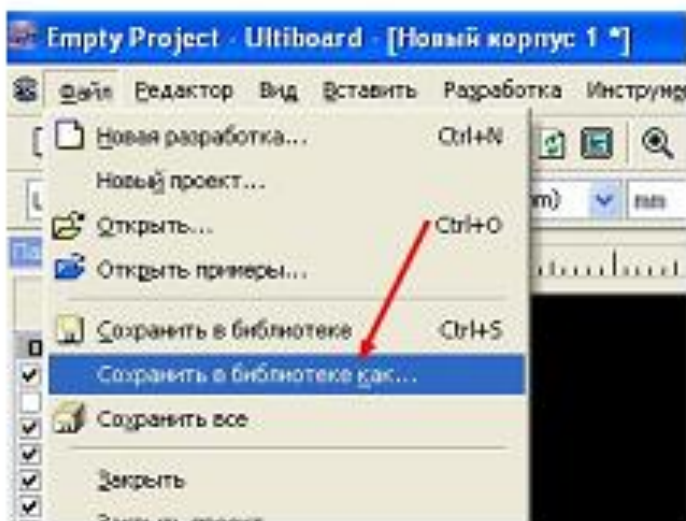
Теперь в закладке атрибутов строка REFDES изменится. Нажимаем в основном диалоговом окне ОК.



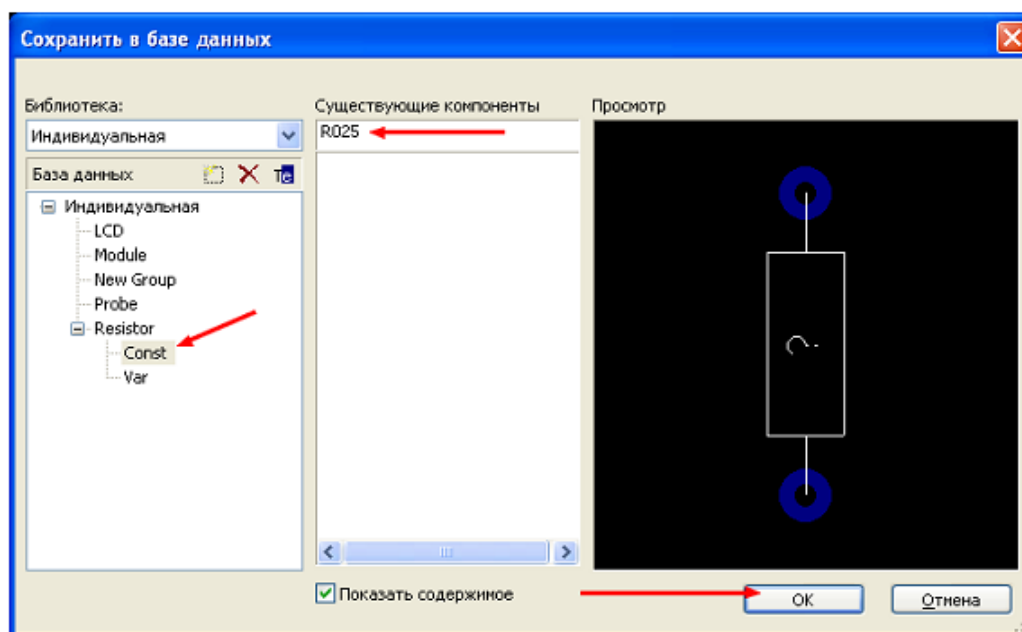
Выключаем слой 3D. В слое шелкографии инструментом Линия обозначаем выводы. Внешний вид резистора в слое шелкографии (на рабочей плате) будет выглядеть следующим образом



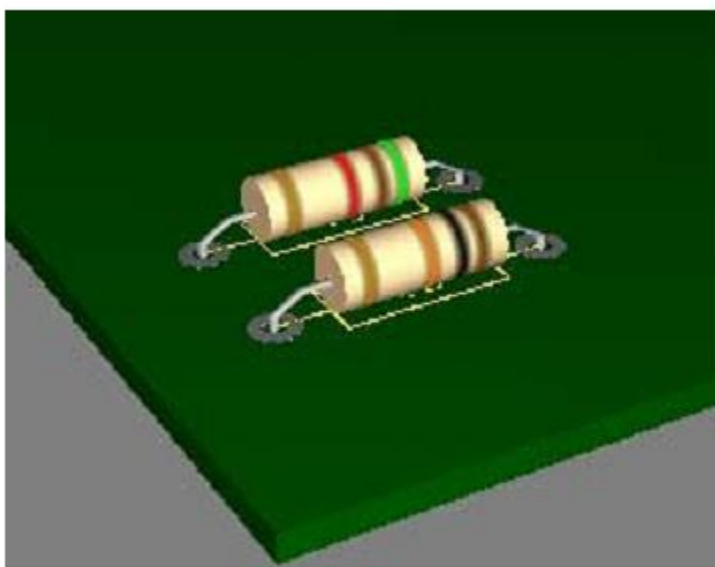
Сохраняем корпус в библиотеке . Для этого выбираем Файл>>Сохранить в библиотеке как



Откроется диалоговое окно сохранения в базе данных, в которую занесем новый корпус с названием R025 (т.е . резистор мощностью 0,25 Вт). Нажимаем ОК.



Этот корпус автоматически занесется в перечень корпусов для выбора в приложении Multisim. При установке на плату резисторы с номиналами, например, 5,1к и 10к будут выглядеть следующим образом



### 5. Задание:

1. Создать корпуса резисторов с различной мощностью в соответствии с номером варианта по заданию преподавателя

Тип	Размеры, (мм)				мах. рабочее напряжение
	H	D	L	d	
C1-4-0,062 Вт	3,2	1,5	28	0,48	200
C1-4-0,125 Вт mini	3,2	1,5	28	0,48	250
C1-4-0,125 Вт	6,0	2,3	28	0,60	250
C1-4-0,25 Вт mini	3,2	1,5	28	0,48	250
C1-4-0,25 Вт	6,0	2,3	28	0,60	250
C1-4-0,5 Вт	9,0	3,2	28	0,60	350
C1-4-1 Вт	11,0	4,5	35	0,80	500
C1-4-2 Вт	15,0	5,0	35	0,80	500

1. Создать корпус микросхемы по заданию преподавателя из приложения 1

### 6. Порядок выполнения работы:

- 6.1. Открыть программу Utiboard11.
- 6.2. Вызвать из панели инструментов Создатель корпуса компонента.
- 6.3. Создать корпус компонента в соответствии с примером, показанным в п. 3.
- 6.4. Создать корпус микросхемы по выбору преподавателя.

### 7. Содержание отчета:

- 1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

## **8. Литература и средства обучения:**

8.1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

8.2 Методические указания для выполнения практического занятия

8.3. Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2022. — 256 с.

## **Практическое занятие № 44**

### **Проектирование и трассировка печатной платы в среде NI Ultiboard**

#### **1 Цель работы:**

Научиться производить разводку печатной платы цифрового устройства в среде NI Ultiboard.

#### **2.Время выполнения работы – 2 часа**

#### **3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

1 Персональный компьютер

2 Программа Ultiboard

3. Программа Multisim 11

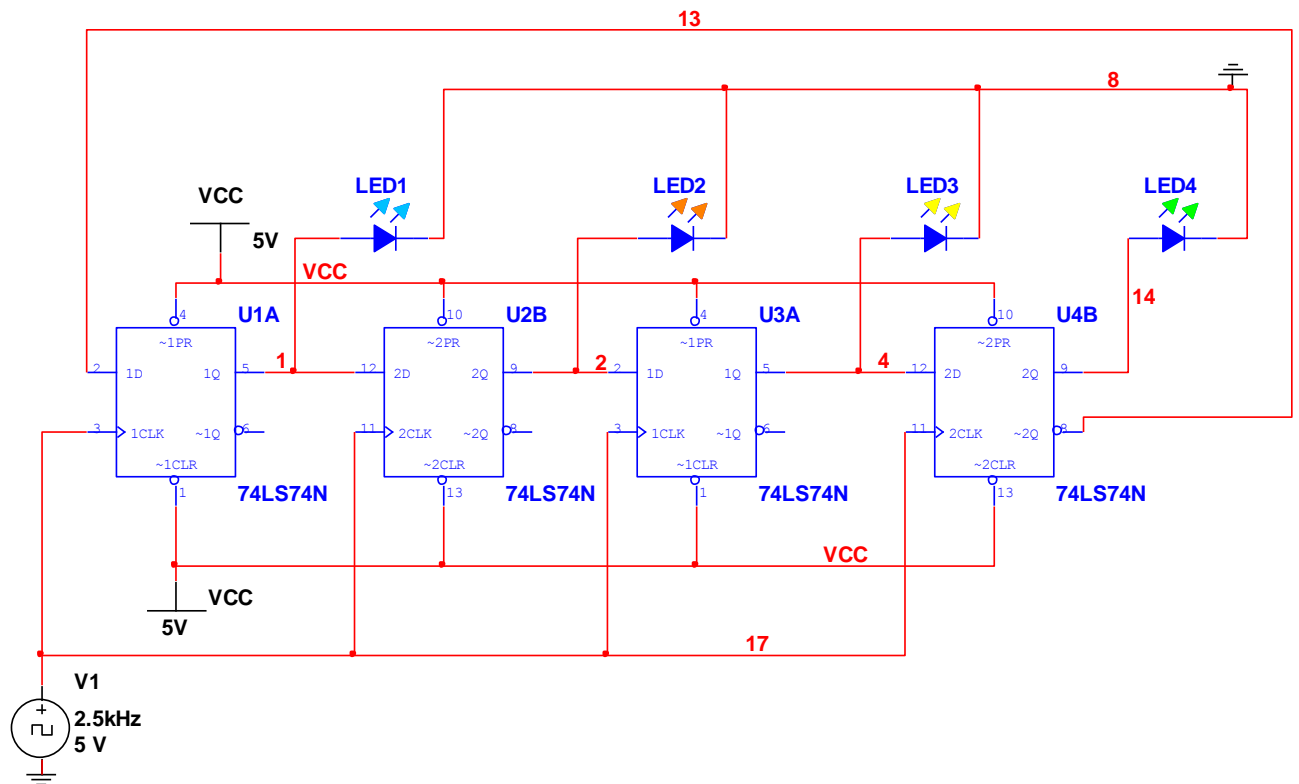
#### **4. Краткие теоретические сведения**

Рассмотрим методику разводки печатной платы на примере трассировки схемы счётчика Джонсона

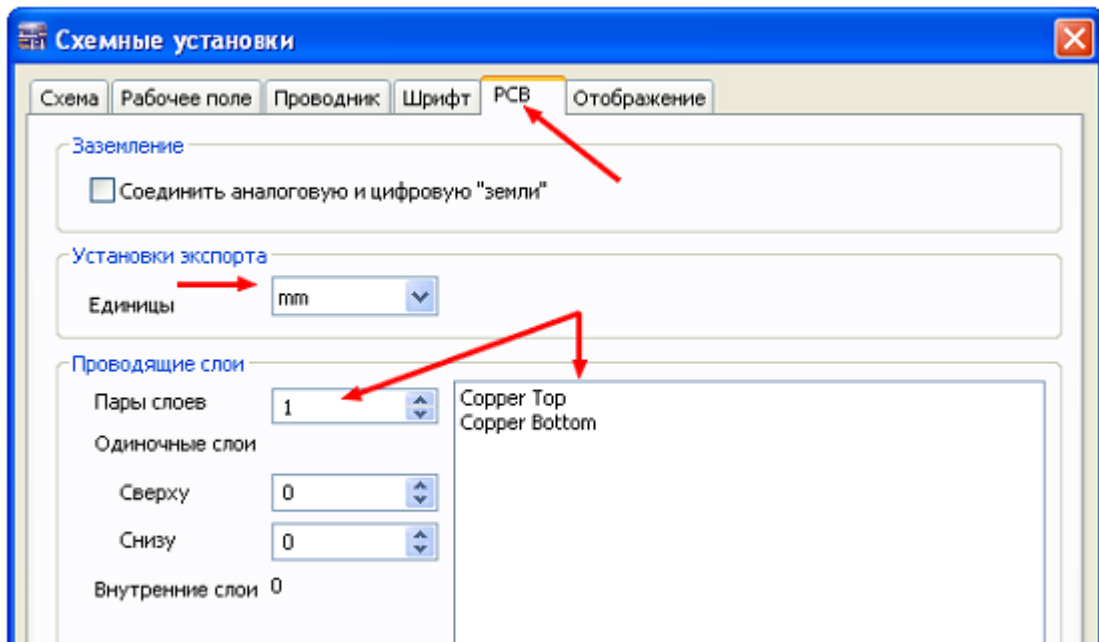
4.1. Создание топологии схемы и настройка проекта.

Схема, созданная в приложении Multisim, выглядит следующим образом

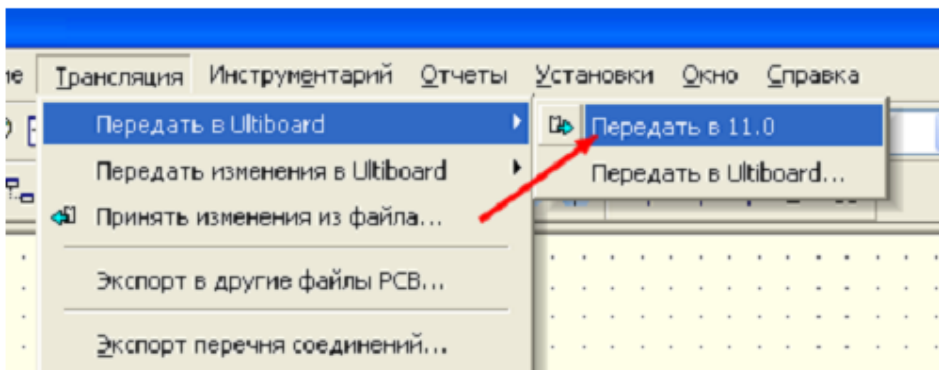




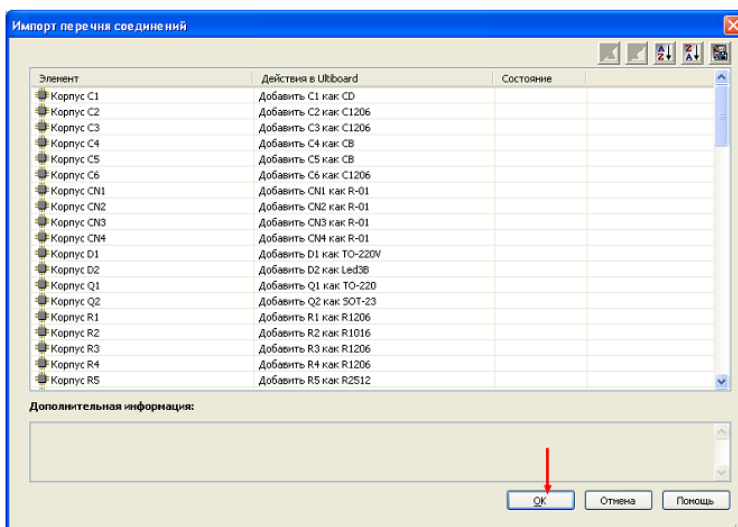
Перед передачей файла для трассировки платы, в закладке PCB диалогового окна **Схемные установки** выбираем двухстороннюю плату и метрическую систему измерений. В качестве основных единиц выбираем



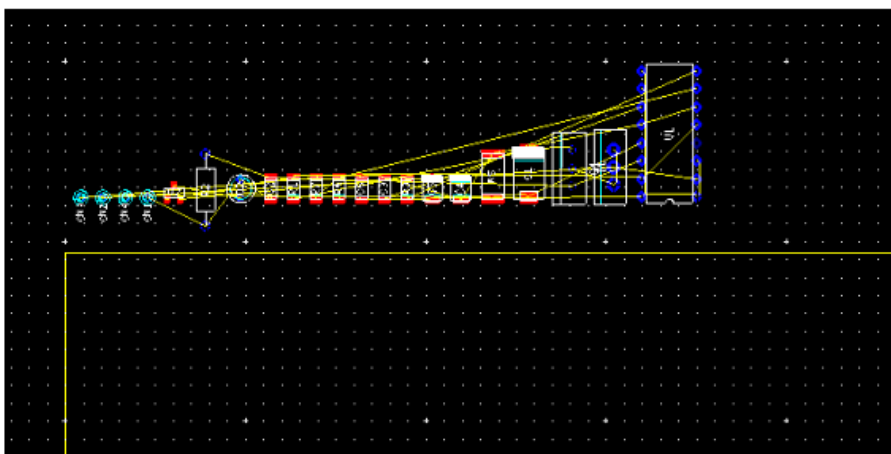
В меню Трансляция>>Передать в Ultiboard выбираем команду Передать в 11.0



При этом на экране появится диалоговое окно перечня соединений и будет создан файл с расширением ewnet, который автоматически сохранится в директории проекта.

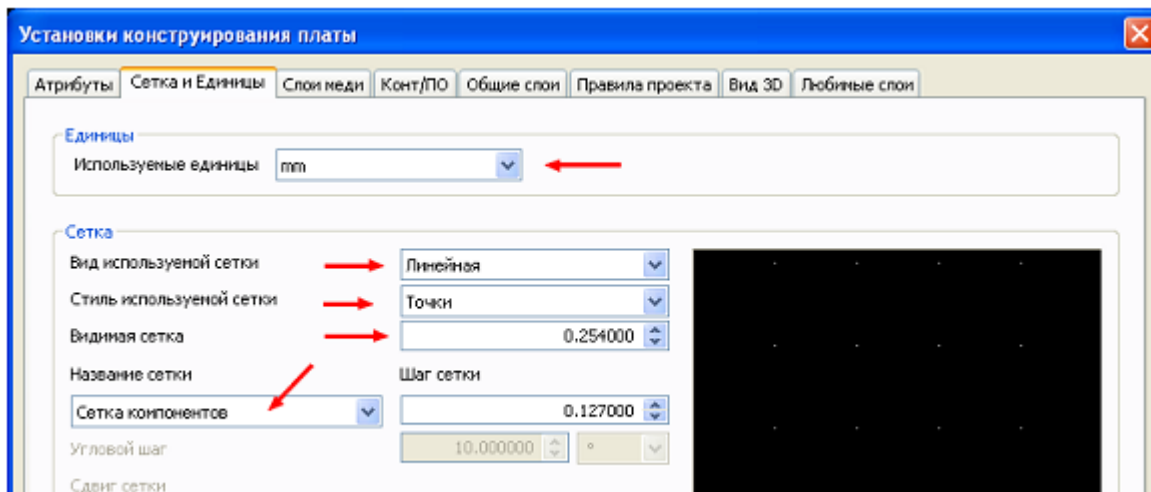


Итак, рабочее поле после передачи файла перечня соединений будет иметь вид

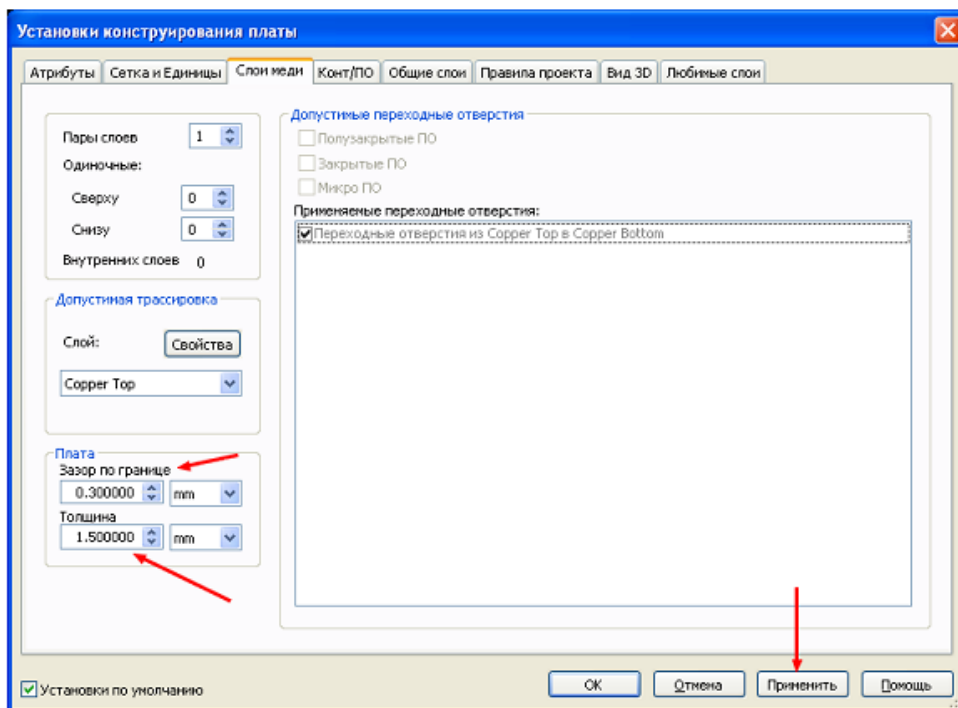


Цвета контактных площадок smd компонентов будут окрашены в цвет верхнего слоя платы ( в данном случае он выбран красным ). Все элементы схемы изначально находятся на верхнем слое ( т.е . в том слое , в котором они созданы и хранятся в базе данных).

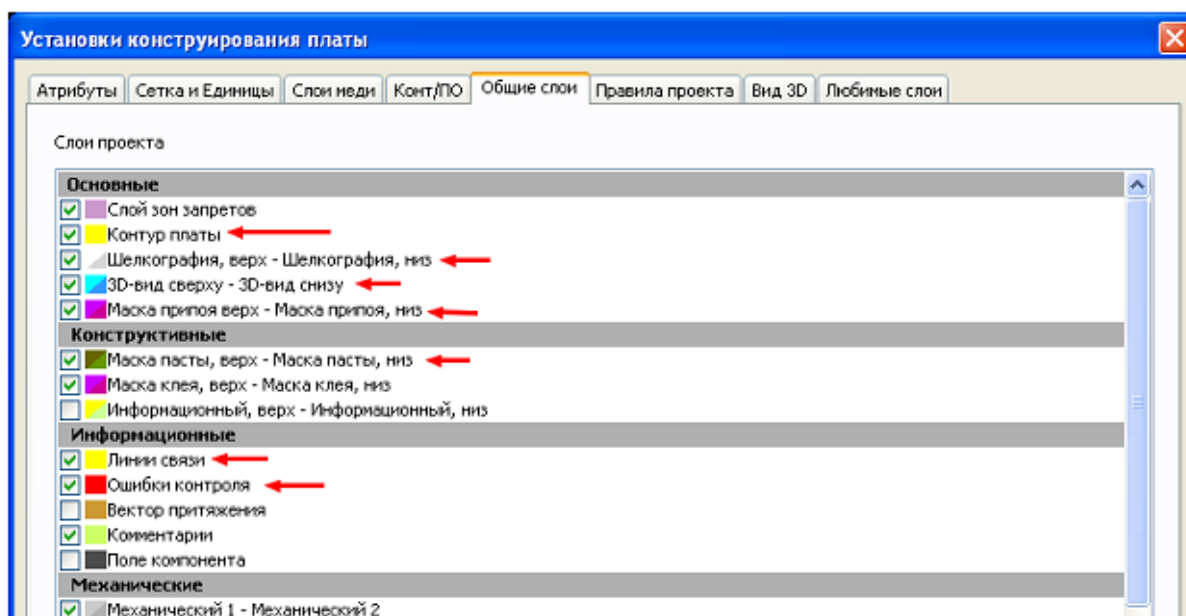
Приступаем к настройке параметров проекта. Настроенные параметры сохранятся для этого проекта и после выхода из программы. Выбираем в меню Установки >>Установки РСВ и открываем закладку Сетка и единицы. Вносим требуемые изменения и перед переходом к следующей закладке нажимаем кнопку Применить.



В закладке Слои меди проверяем соответствие количества слоев выбранному в Multisim. Для данной разработки была выбрана двухсторонняя плата, однако, мы попробуем произвести трассировку только на одной стороне - односторонняя печать значительно дешевле при промышленном производстве, а при самостоятельном изготовлении не требует совмещения отверстий на обеих сторонах платы. Можно в этой закладке в поле Допустимая трассировка выбрать один из слоев и, нажав на кнопку Свойства, снять разрешение на прокладывание проводников. Сейчас этого делать не будем, т.к. не до конца уверены в удачной разработке односторонней платы. В тех же свойствах слоев Направление трассировки оставляем Произвольное. В поле Плата выставляем зазор по границе платы и ее толщину – в данном случае выбираем 1,5 мм как наиболее потребляемую. После проверки внесенных изменений, нажимаем кнопку Применить. Нажатие этой кнопки вообще надо взять за правило.

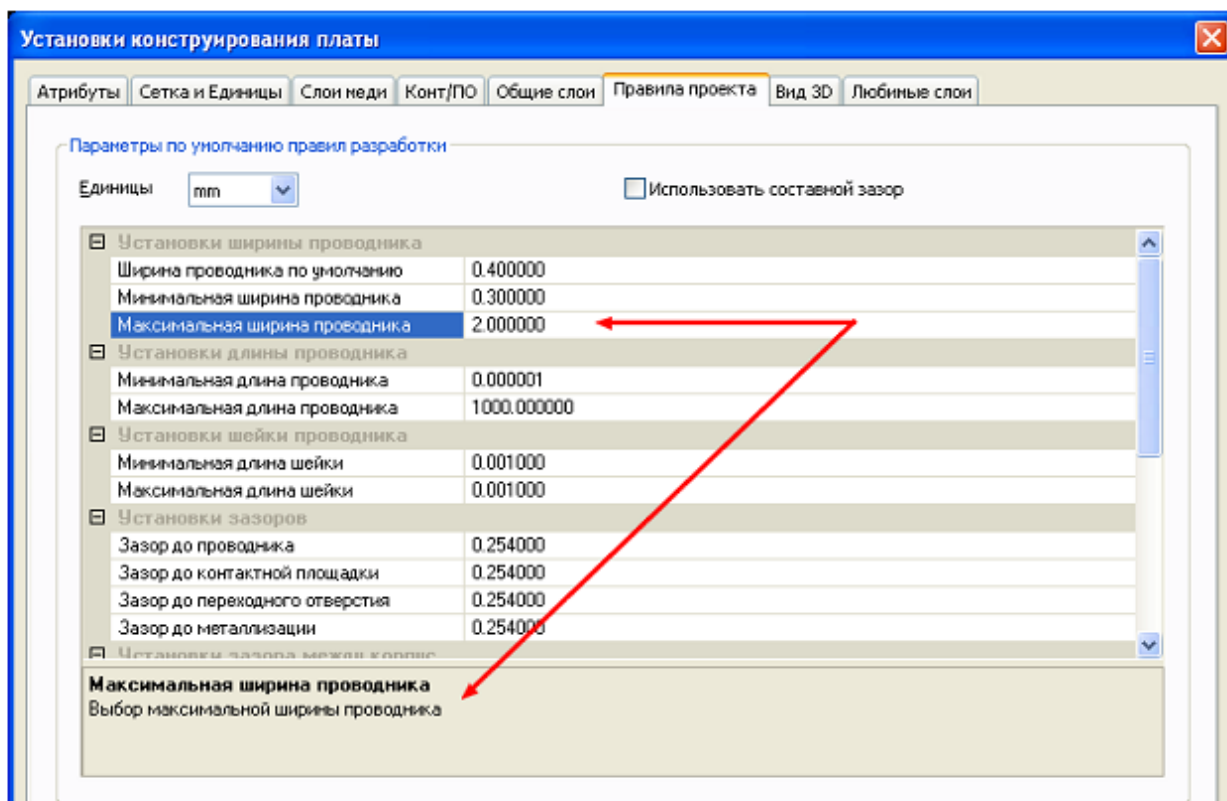


Переходим к закладке Общие слои. Здесь необходимо выбрать ряд обязательных слоев, которые потребуются как для разработки платы, так и для ее промышленного производства. Следует заметить, что лучше выбрать все слои – при необходимости, их всегда можно погасить, а вот при удалении слоя произойдет и удаление его содержимого. Слои, необходимые в данном случае, обозначены красными стрелками.



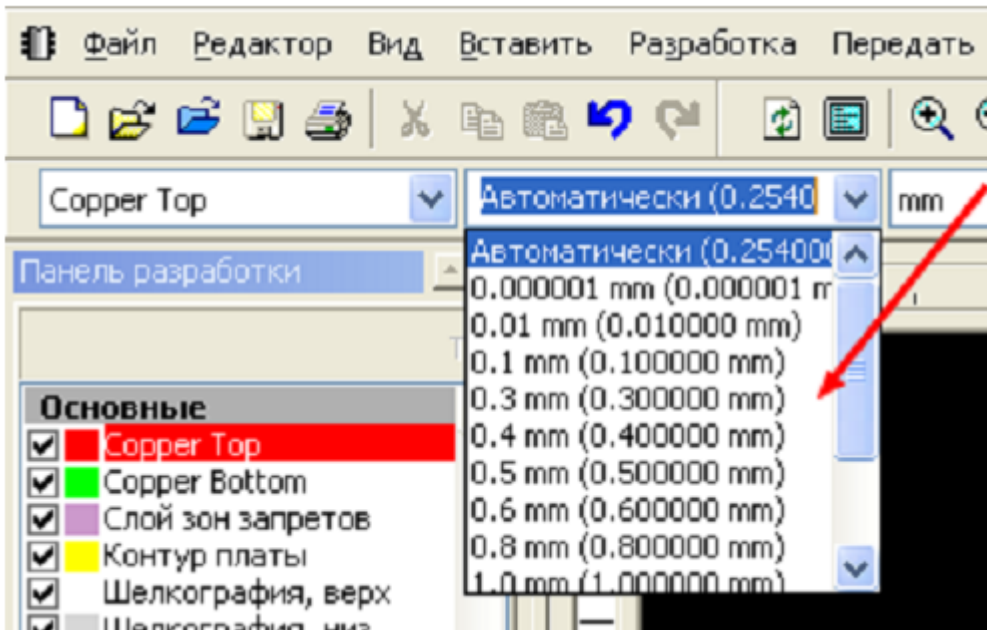
Переходим к закладке Правила проекта. В ней определяются основные требования к прокладыванию проводников на плате. При выделении левой кнопкой мышки какого-либо параметра, в нижнем окне появляется текстовое описание выбранного параметра. К выбору параметров надо подходить очень внимательно – при нарушении установленных правил, программа будет со-

общать о возникшей ошибке. Правильное определение параметров может получиться не сразу – это приходит с приобретением опыта работы. Разрешение в пункте Использовать составной зазор ставится в том случае, если предусматривается возможность использования различных зазоров для проводящих элементов. Если разрешение установлено, то в свойствах элементов появляется возможность выбирать различные зазоры до проводников, контактных площадок и т.д.

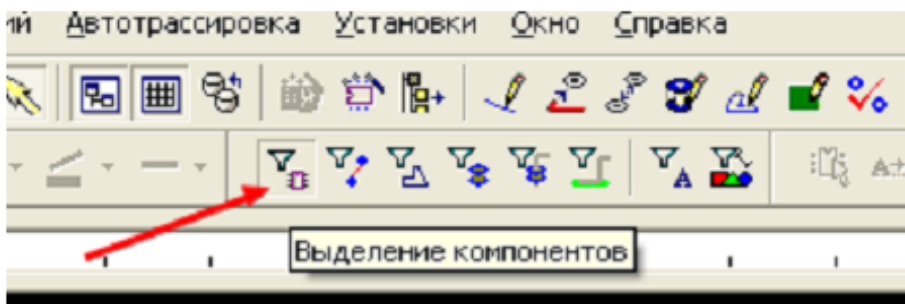


Нажимаем ОК и переходим к дальнейшей настройке.

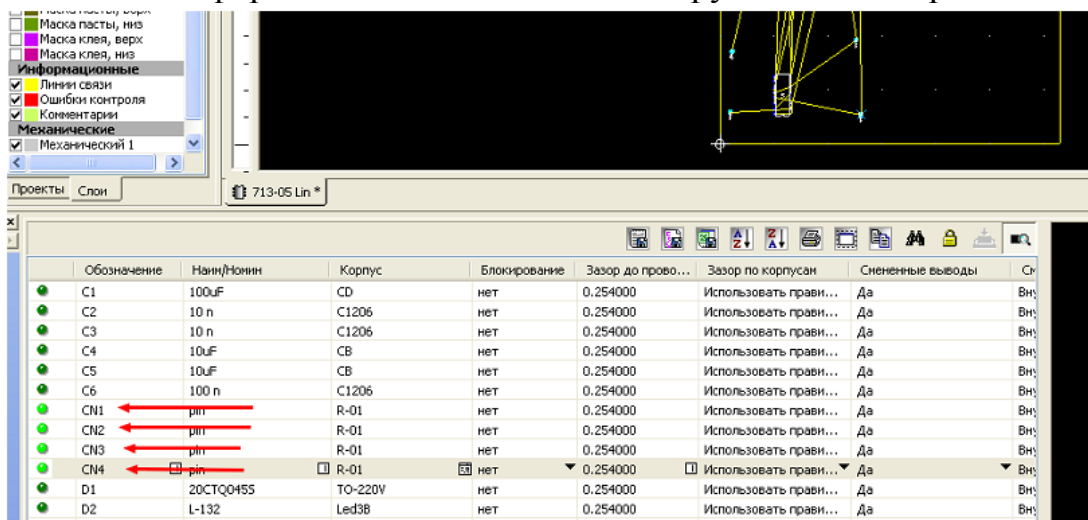
Далее следует открыть диалоговое окно Общие установки и в закладке Основные указать в поле Количество строк в кэше число, не меньше десяти – если не сейчас, то потом потребуются различная ширина линий. Сохранить изменения, и затем в панели Установки рисования последовательно ввести ряд значений ширины линий – она же ширина проводников .



На этом настройка проекта закончена и можно переходить к размещению компонентов на плате и прокладке проводников. Для переноса компонентов на плату включаем фильтр Выделение компонентов

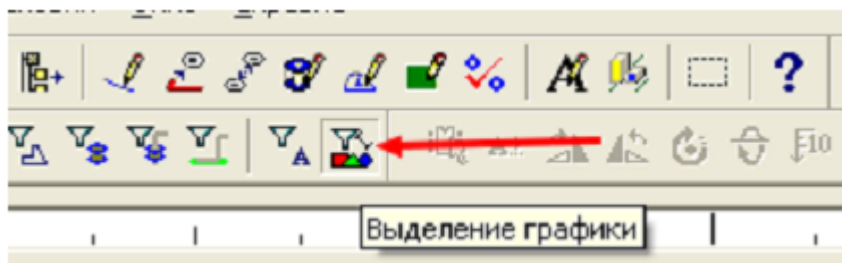


Щелкаем по компоненту левой кнопкой мышки и перетаскиваем его на плату. По мере переноса компонентов будет изменяться символ их состояния в Блоке информации – темно - зеленый кружок станет ярко - зеленым.



После перетаскивания всех компонентов на плату все кружки должны стать ярко зеленого цвета. Это следует проверять всегда .

Располагаем все компоненты в левой нижней стороне платы (ближе к началу координат). Заметим, что после их установки, на плате остается значительное место. В данном случае габариты платы заранее не оговорены поэтому мы будем их постепенно уменьшать. Для этого делаем активным слой Контур платы и включаем фильтр Выделение графики .



Наводим курсор на линию контура и щелкаем левой кнопкой мышки. При этом произойдет выделение контура платы. Переводим курсор на правый верхний угол платы в узловую точку (синий заполненный квадратик). Нажимаем левую кнопку мышки и, удерживая ее, начинаем перемещать курсор по диагонали в сторону уменьшения размеров платы.

Рисунок платы приобретает вид

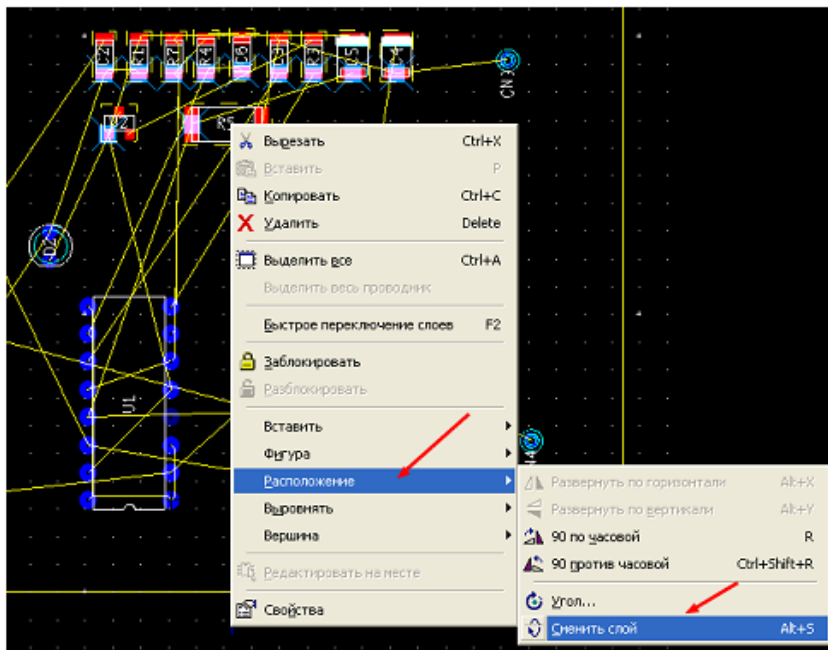


### 4.3. Трассировка платы

Для трассировки будем использовать нижнюю сторону платы , чтобы компоненты с выводами для сквозного монтажа имели места пайки только с противоположной стороны – это наиболее удобный вариант для случая возникновения потребности демонтажа неисправного элемента . Следовательно, все компоненты smd должны быть перенесены на нижнюю сторону платы .

Для удобства переноса располагаем их рядом друг с другом и, нажав и удерживая левую кнопку мышки на свободном участке рабочего поля, тянем курсор по диагонали таким образом, чтобы в образующийся штриховой прямоугольник попали только те компоненты, которые следует перенести на противоположную сторону. Закончив формирование прямоугольника, отпускаем левую

кнопку. При этом произойдет выделение этих компонентов. Наводим курсор на один из выделенных и производим щелчок правой кнопкой. В появившемся меню выбираем Расположение и в открывшемся подменю – Сменить слой.



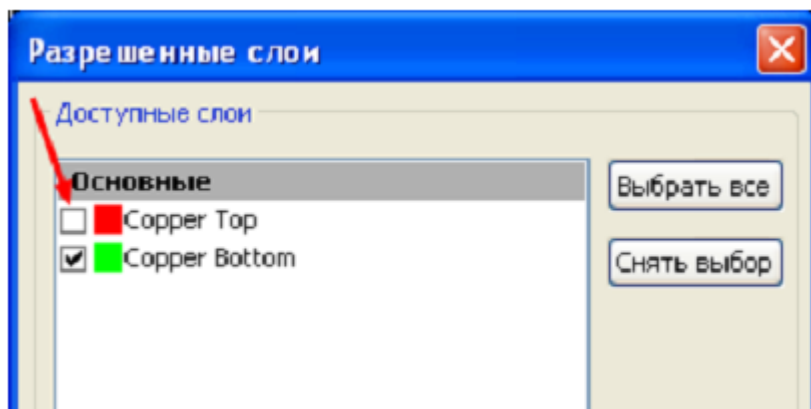
После выполнения программой этой команды, контактные площадки smd компонентов приобретут цвет нижнего слоя.

Поскольку мы пытаемся произвести трассировку платы в однослойной, необходимо установить это разрешение. Открываем в Блоке информации закладку Цепи и щелкаем левой кнопкой мышки по названию колонки Разрешенные слои. При этом произойдет выделение всех строк выбранной колонки.

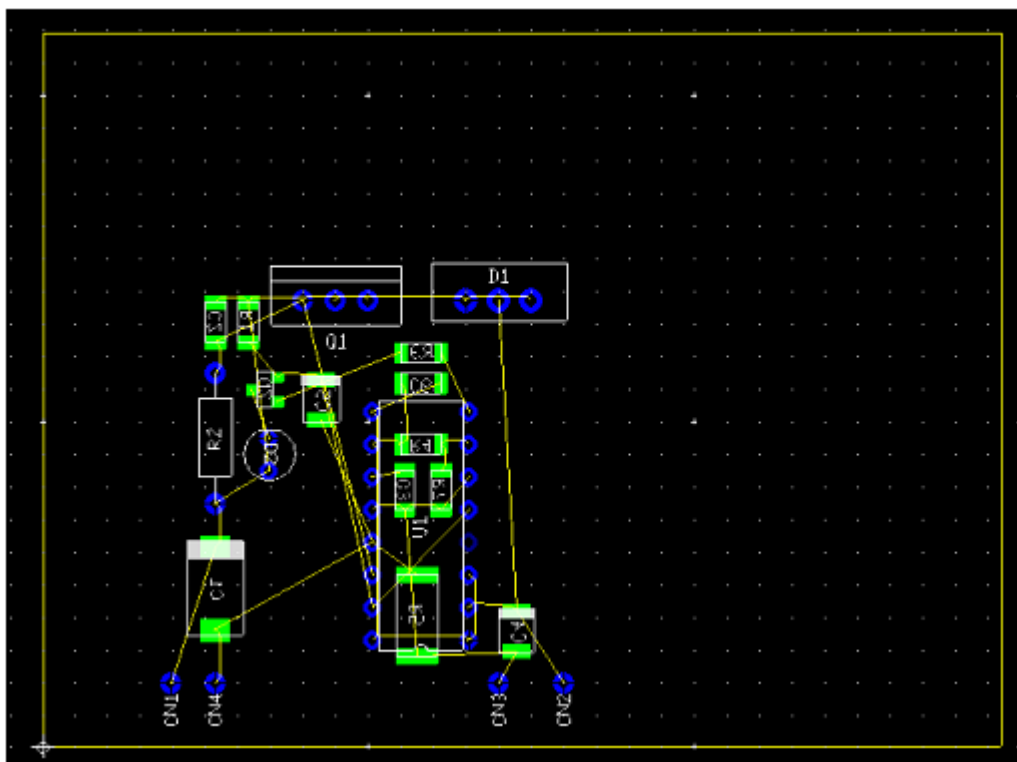
Номер	Ширина п...	Макс шир...	Мин ш...	Зазор до проводника	Разрешенные...	Группа	Шина	Показать св...	Д
0	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
1	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
2	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
3	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
4	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
5	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
6	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
7	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
8	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
9	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
10	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
11	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис
12	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	11	Без группы	Без группы	Да	Ис



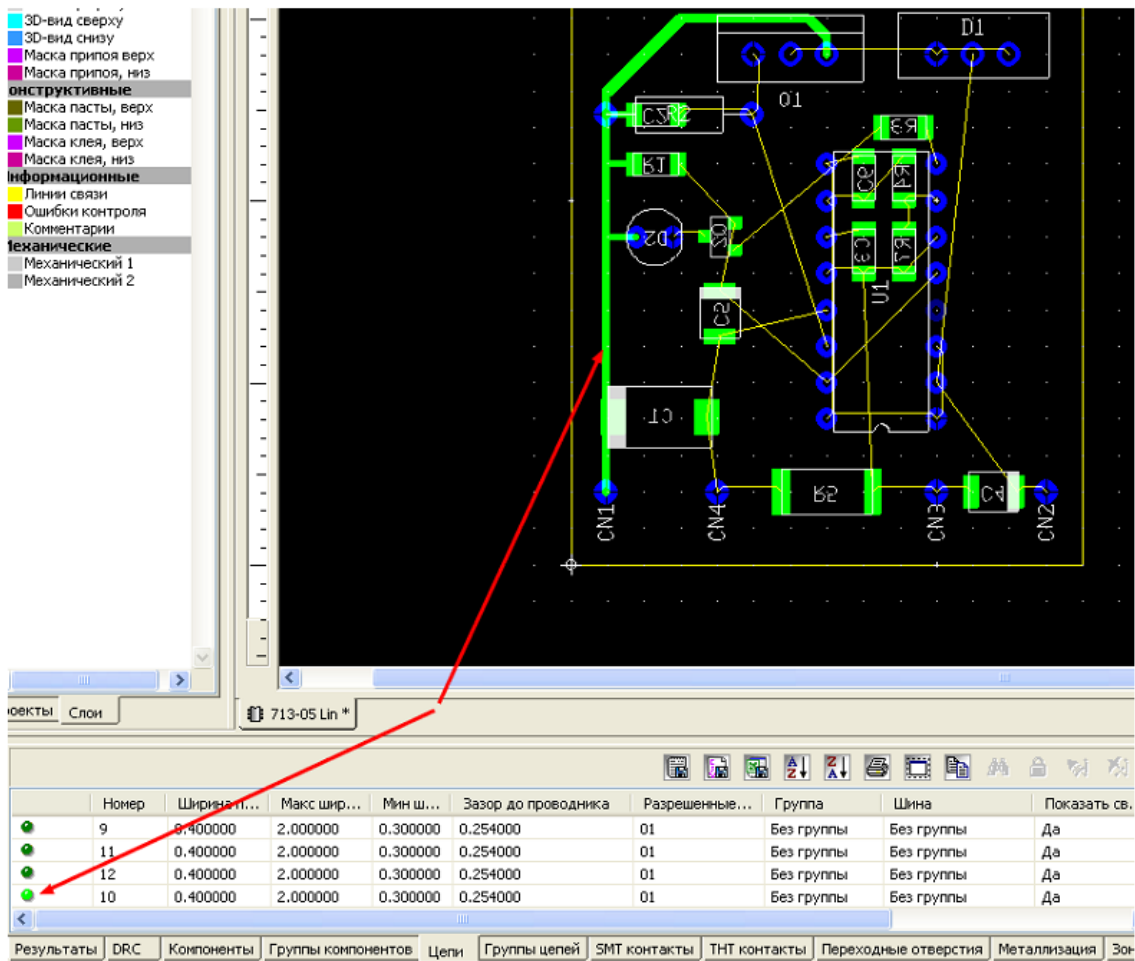
Переводим курсор на синее поле любой из строк и вновь щелкаем левой кнопкой мышки. Если щелчок произвести правой кнопкой, программа позволит внести изменения только в одну строку, а после щелчка левой кнопкой изменения внесутся во всю колонку. При щелчке появится диалоговое окно, в котором следует снять разрешение с верхнего слоя и нажать ОК.



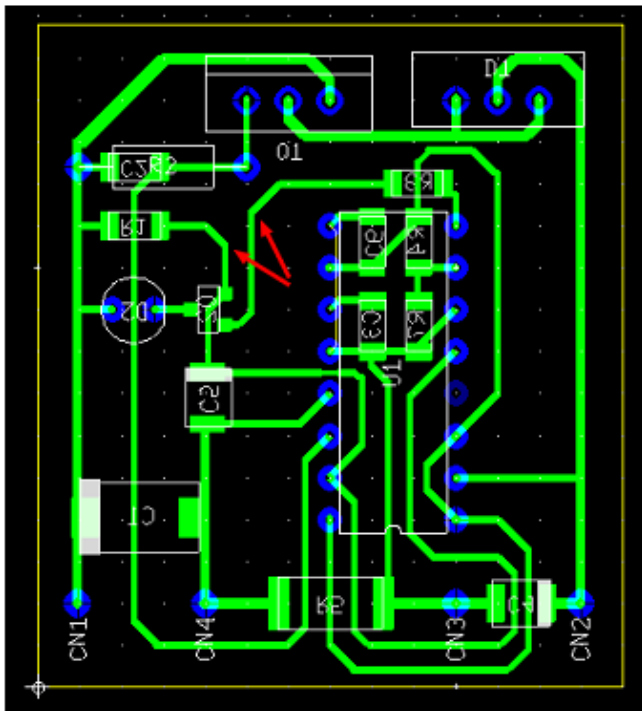
Теперь, перемещая элементы по плате, располагаем их в таком порядке, при котором получается минимальное количество перекрещивающихся линий связи. Кроме того, желательно, чтобы линии имели минимальную длину и, в основном, горизонтальную или вертикальную ориентацию. В некоторых случаях помогает включенный слой Вектор притяжения. На нем отображаются вектора направления перемещения компонентов для получения минимальных линий связи. После предварительной расстановки компонентов плата приобретает вид







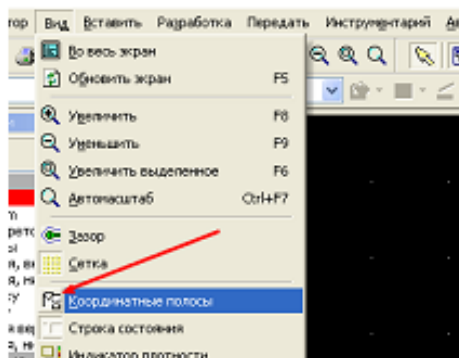
После завершения трассировки всех цепей плата будет выглядеть следующим образом



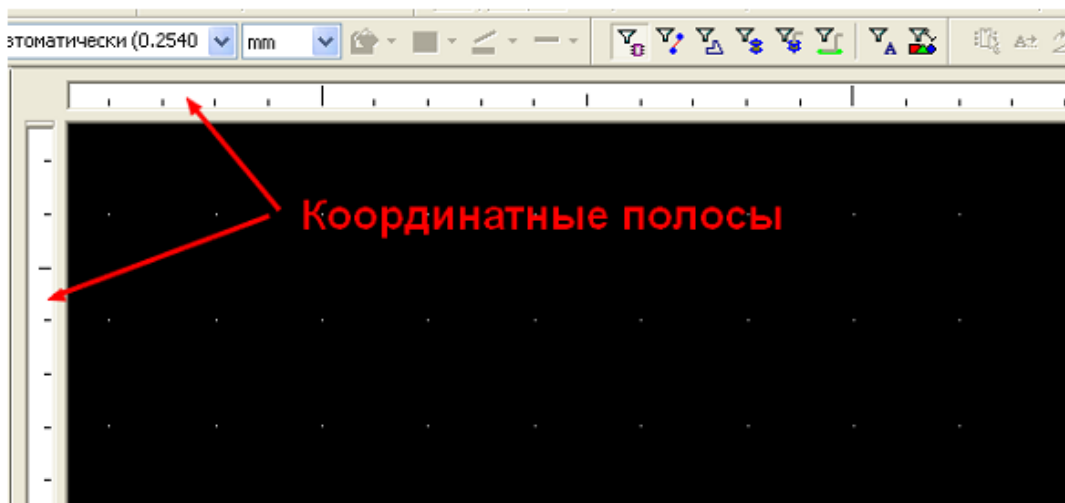
#### 4.4. Редактирование платы

После завершения трассировки следует подправить некоторые проводники для получения более эстетичного вида. Для этой цели используем фильтр Выделение проводников и линии координатных полос.

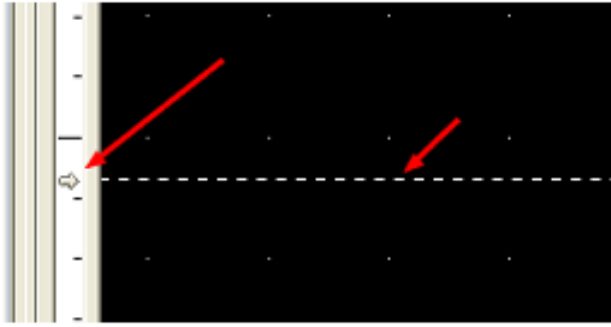
Для выравнивания или перемещения любых элементов на плате можно использовать координатные полосы. Изначально эти полосы не отображаются на рабочем поле программы. Для их вызова следует в меню Вид щелкнуть левой кнопкой мышки по их названию



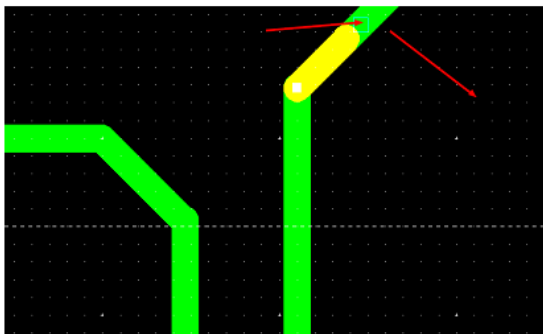
После этого действия на рабочем поле появятся полосы с координатными метками по осям X и Y



Если навести курсор на линейку координатной полосы и щелкнуть левой кнопкой мышки, на полосе появится указатель, продолжением которого на рабочем поле будет являться штриховая линия .



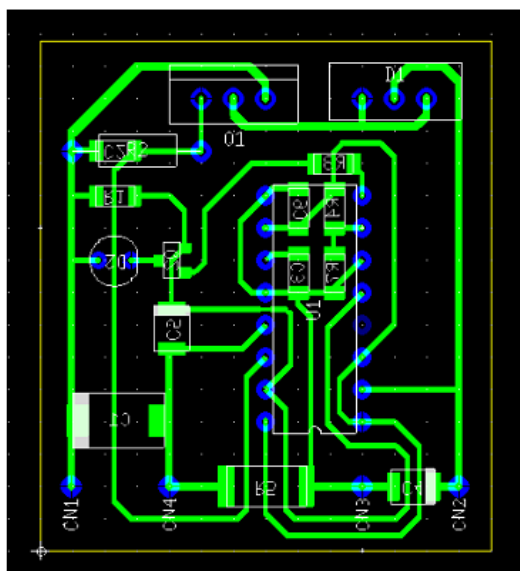
Если мы хотим выровнять по горизонтали точки излома проводников, то переводим курсор на координатную полосу, щелкаем левой кнопкой мышки в том месте, которое совпадает по горизонтали с точкой излома левой линии проводника, затем, щелкнув левой кнопкой по наклонной линии правого проводника, перемещаем курсор на середину этой линии, при совпадении с серединой курсор приобретет вид двойной стрелки. Нажав левую кнопку, перетягиваем проводник в направлении стрелки до момента совпадения точек излома. Вновь щелкаем левой кнопкой мышки.



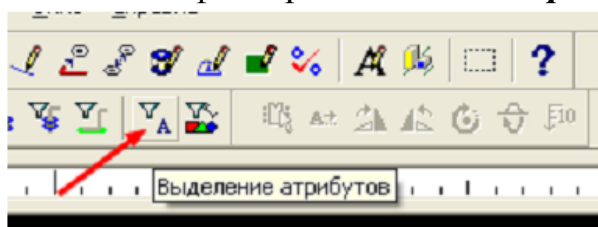
После окончания трассировки проверяем значки состояния цепей в Блоке информации. При отсутствии пропущенных соединений, все значки будут ярко-зеленого цвета.

Номер	Ширина п...	Макс шир...	Мин ш...	Зазор до проводника	Разрешенные...	Группа	Шина	Показать св...	Д
0	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
1	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
2	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
3	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
4	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
5	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
6	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
7	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
8	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
9	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
10	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
11	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис
12	0.400000	2.000000	0.300000	0.254000	01	Без группы	Без группы	Да	Ис

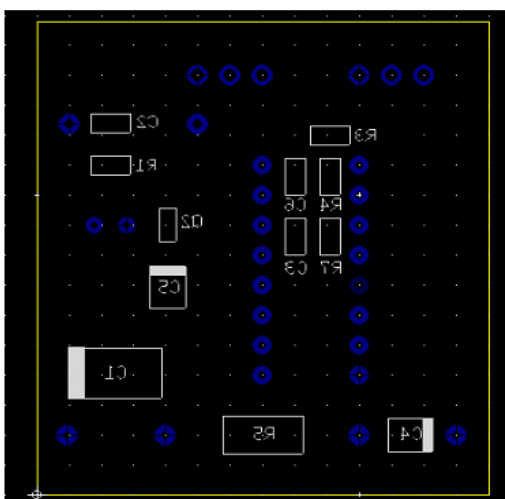
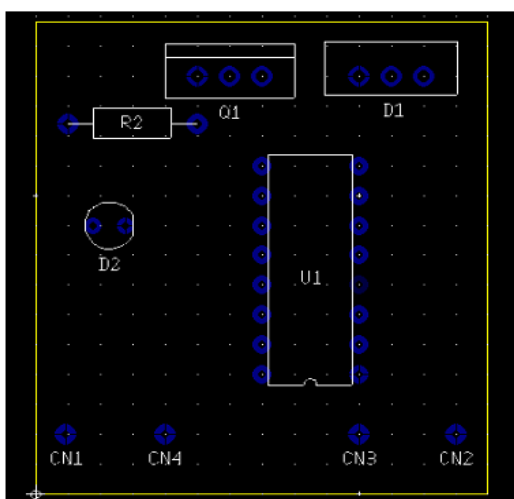
Окончательный вариант платы на рабочем поле будет выглядеть следующим образом



Выключаем все включенные фильтры разрешения выделения и включаем фильтр **Выделение атрибутов** .



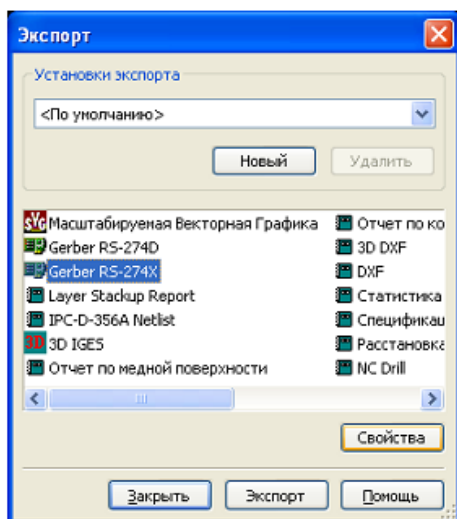
Выключаем видимость проводящего слоя и поочередно выбираем активными верхний и нижний слой шелкографии . Выделяя левой кнопкой мышки схемные обозначения на компонентах , перемещаем их таким образом, чтобы на слое шелкографии они читались естественным образом ( на нижнем слое они будут отображаться зеркально).



#### 4.5. Создание файла для передачи платы в производство

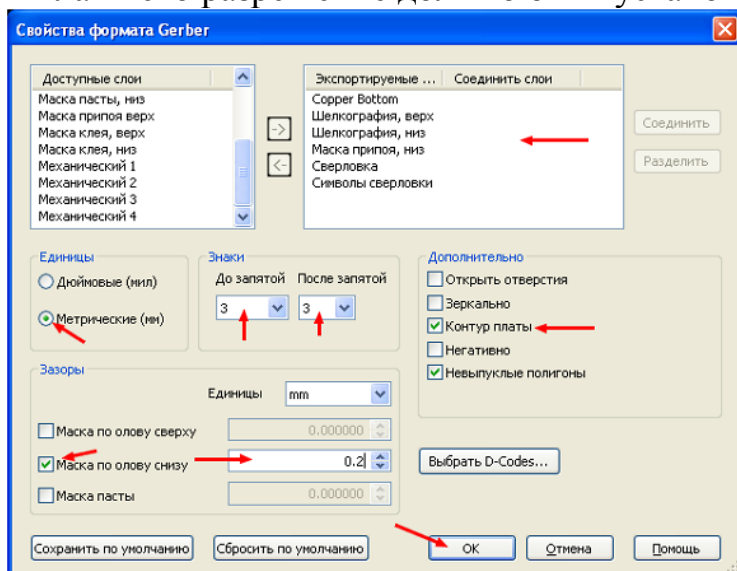
Переходим к завершающему этапу проектирования – создание экспортного файла для промышленного производства платы . Для этого в меню Файл выбираем команду **Экспорт** . При этом открывается диалоговое

окно возможных вариантов создания экспортных файлов. Большинство производителей пользуется форматом **Gerber RS-274X**. Его мы и создадим .

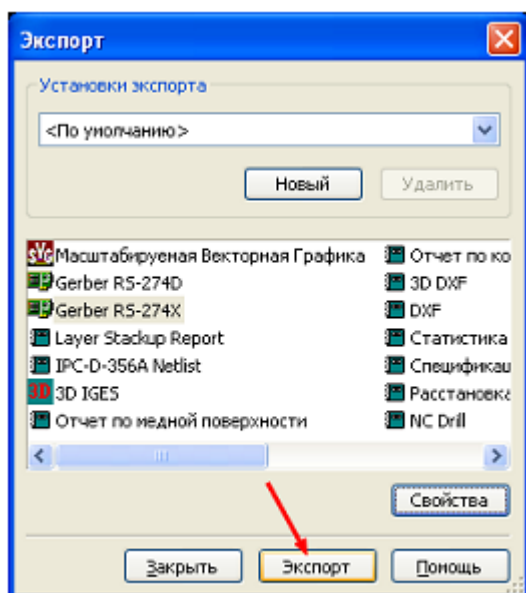


Выделяем левой кнопкой мышки этот формат и нажимаем кнопку **Свойства**. При этом открывается диалоговое окно выбора передаваемых данных. Для начала определяем слои , которые будут переданы в выходных файлах. Щелчком левой кнопки мышки выбираем требуемый слой в окне **Доступные слои**, а затем, нажав на стрелку переноса , вносим его в окно **Экспортируемые слои**. Выбираем метрическую систему и устанавливаем в поле

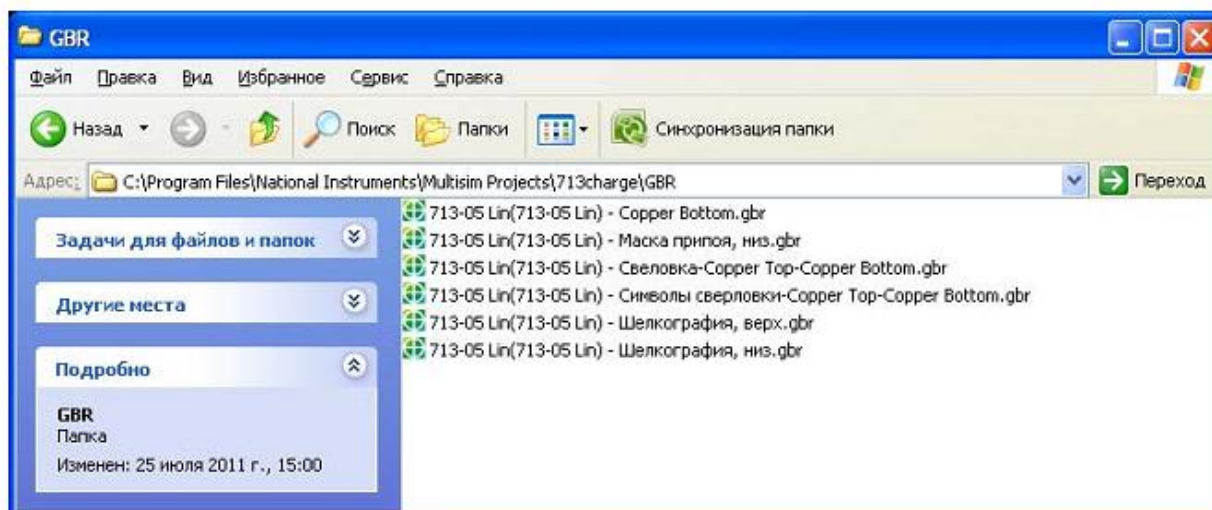
**Знаки** точность передаваемых координат. С учетом того , что при работе мы использовали сетку 0,127 мм, количество знаков после запятой устанавливаем равным трем. Выбираем зазор маски по олову ( зазор между облуженной поверхностью контактной площадки и слоем защитного лака ) и снимаем разрешение с пункта **Открыть отверстия** – при промышленном производстве это необходимо. В случае самостоятельного изготовления платы это разрешение должно быть установлено. Нажимаем кнопку **OK**.



После возврата в диалоговое окно экспортных файлов, нажимаем кнопку *Экспорт* .

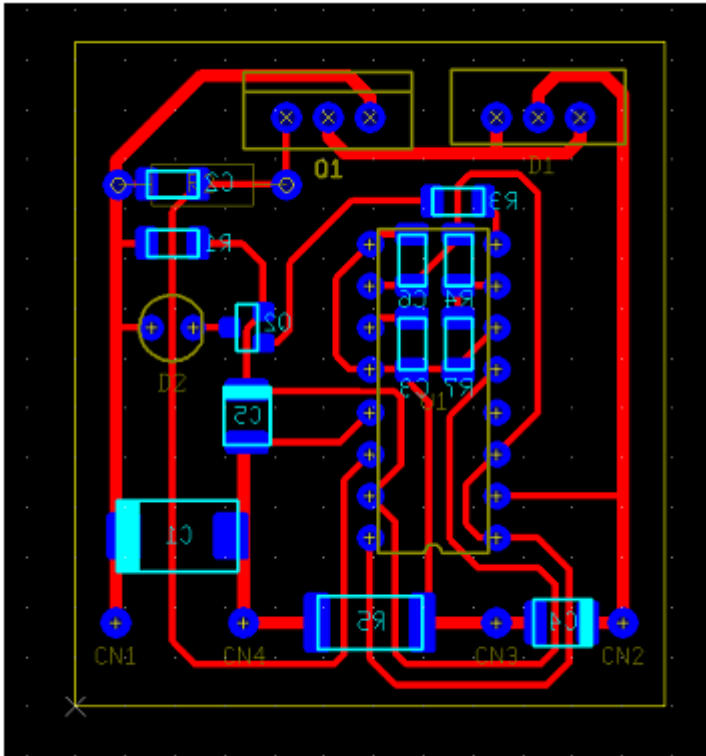


При этом начнут создаваться экспортные файлы отдельно для каждого выбранного слоя . Появится диалоговое окно запроса директории сохранения . Для того , чтобы не загромождать открытую директорию проекта, в ней стоит создать отдельную папку экспорта и разместить файлы в ней. Открытое окно папки при этом будет выглядеть следующим образом



Изображение платы при работе с ней в программе САМ-350, которой пользуются производители, получится таким



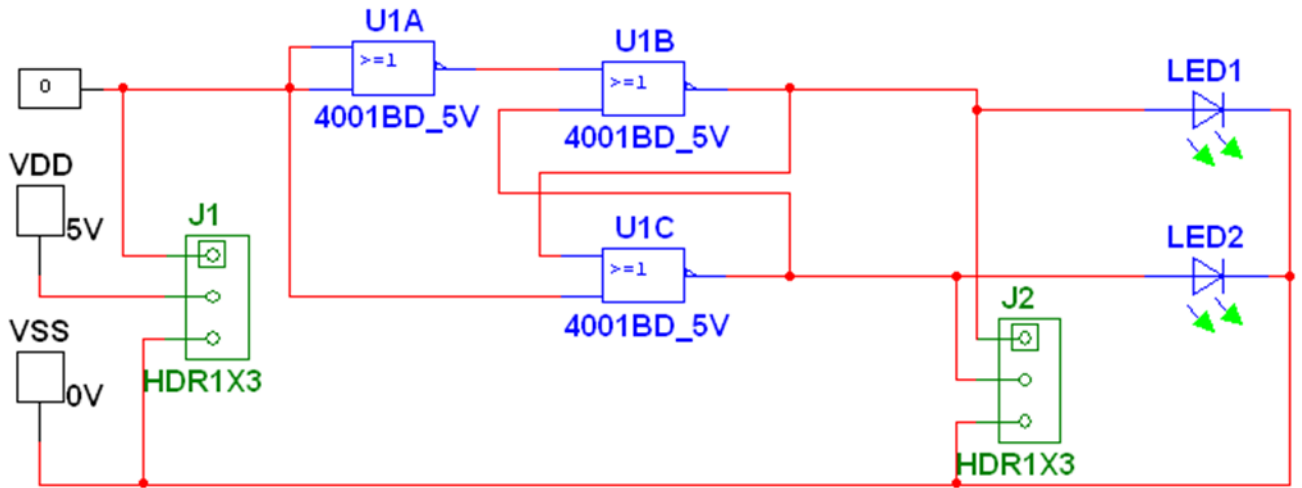


### 5. Задание:

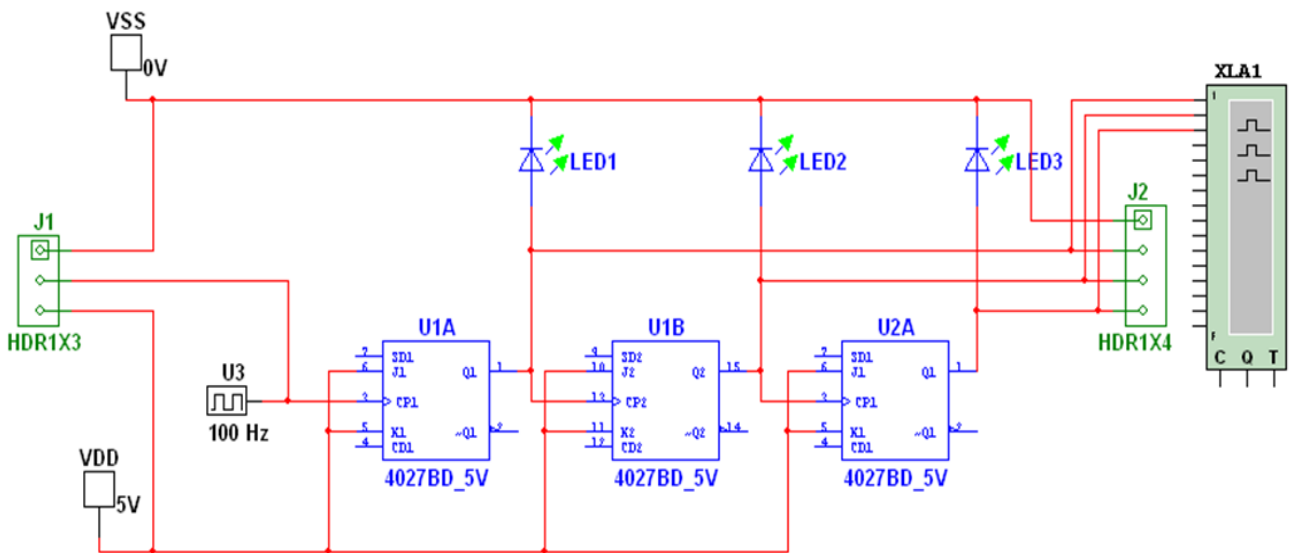
1. Выполнить трассировку и создать топологию платы, представленных ниже.

### 6. Порядок выполнения работы:

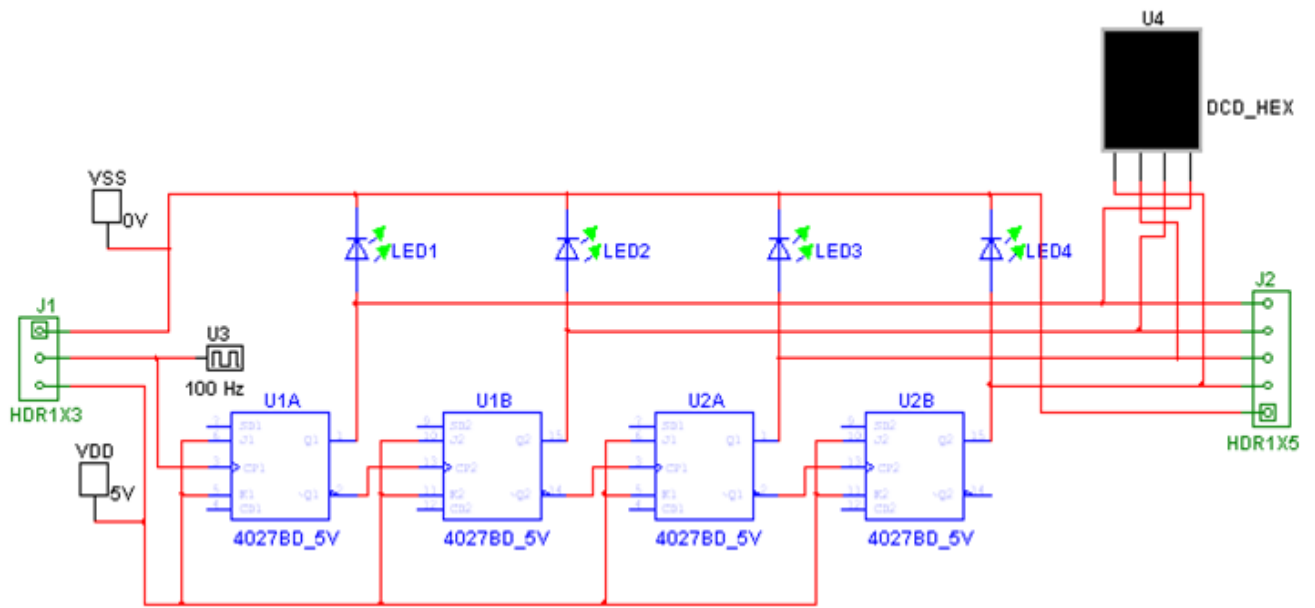
6.1. Выполнить трассировку и создать топологию платы D триггера



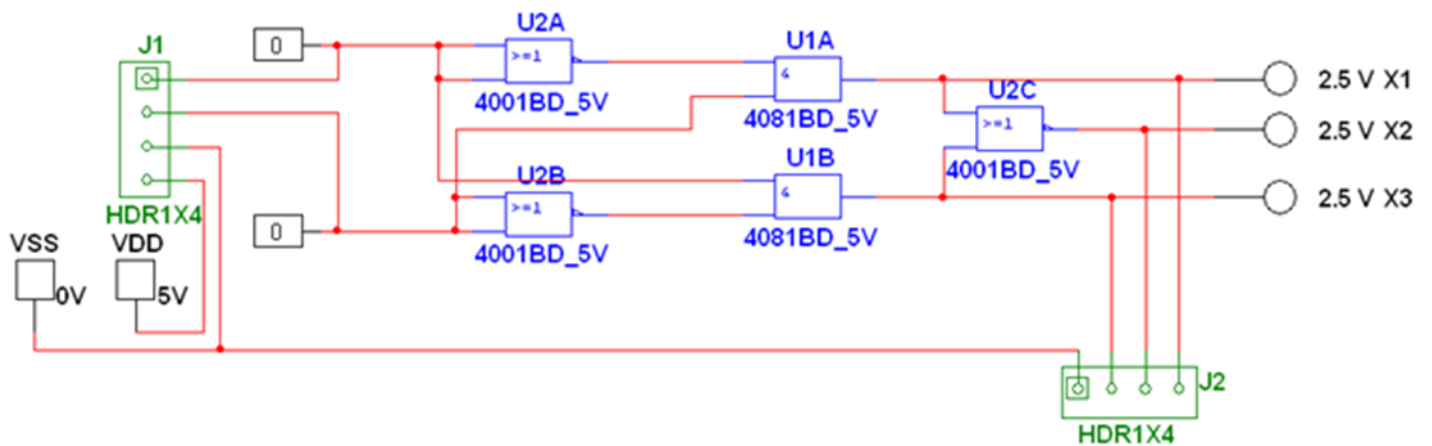
6.2. Выполнить трассировку и создать топологию платы Вычитающего счётчика с последовательным переносом



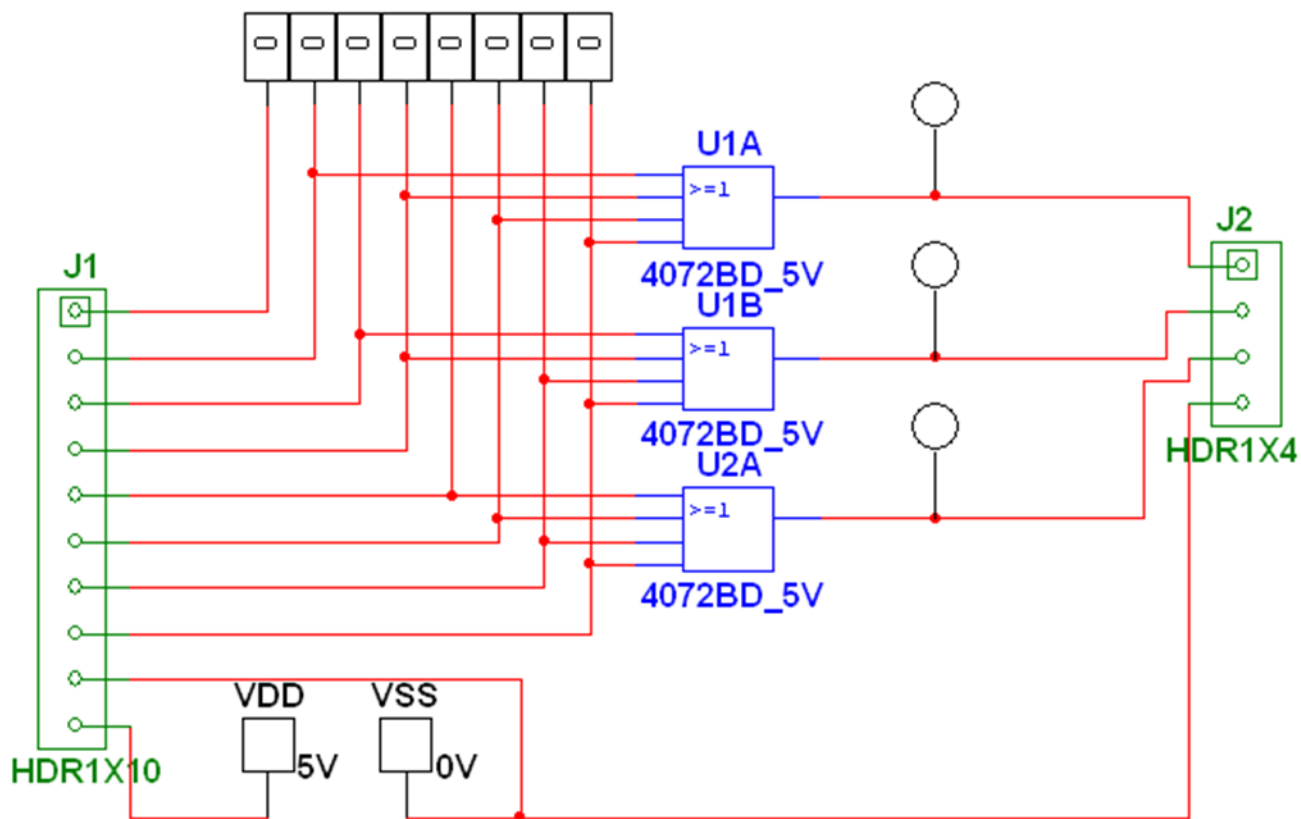
6.3. Выполнить трассировку и создать топологию платы Суммирующего счётчика



6.4. Выполнить трассировку и создать топологию платы Исключающе-го илине



65. Выполнить трассировку и создать топологию платы Шифратора 8 на 3



### 7. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

### 8. Литература и средства обучения:

8.1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

8.2 Методические указания для выполнения практического занятия

8.3 Multisim . Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2018. – 488 с; ил.

8.4 Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2016. — 256 с.

## Практическое занятие № 45

**Разработка печатных плат цифровых устройств  
с использованием металлизированных поверхностей и полигонов**

### 1 Цель работы:

Научиться производить разводку печатной платы цифрового устройства в среде **NI Utiboard** с использованием металлизированных поверхностей и полигонов

### 1. Время выполнения работы – 4ч

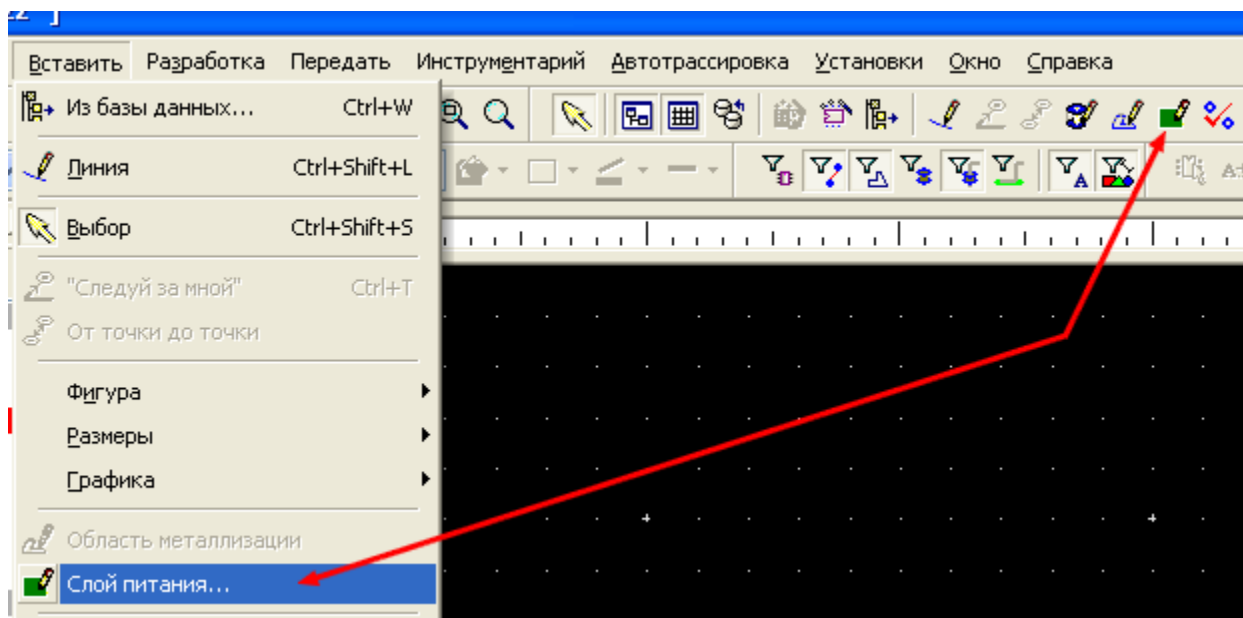
### 2. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа Utiboard11
3. Программа Multisim 11

### 3. Краткие теоретические сведения

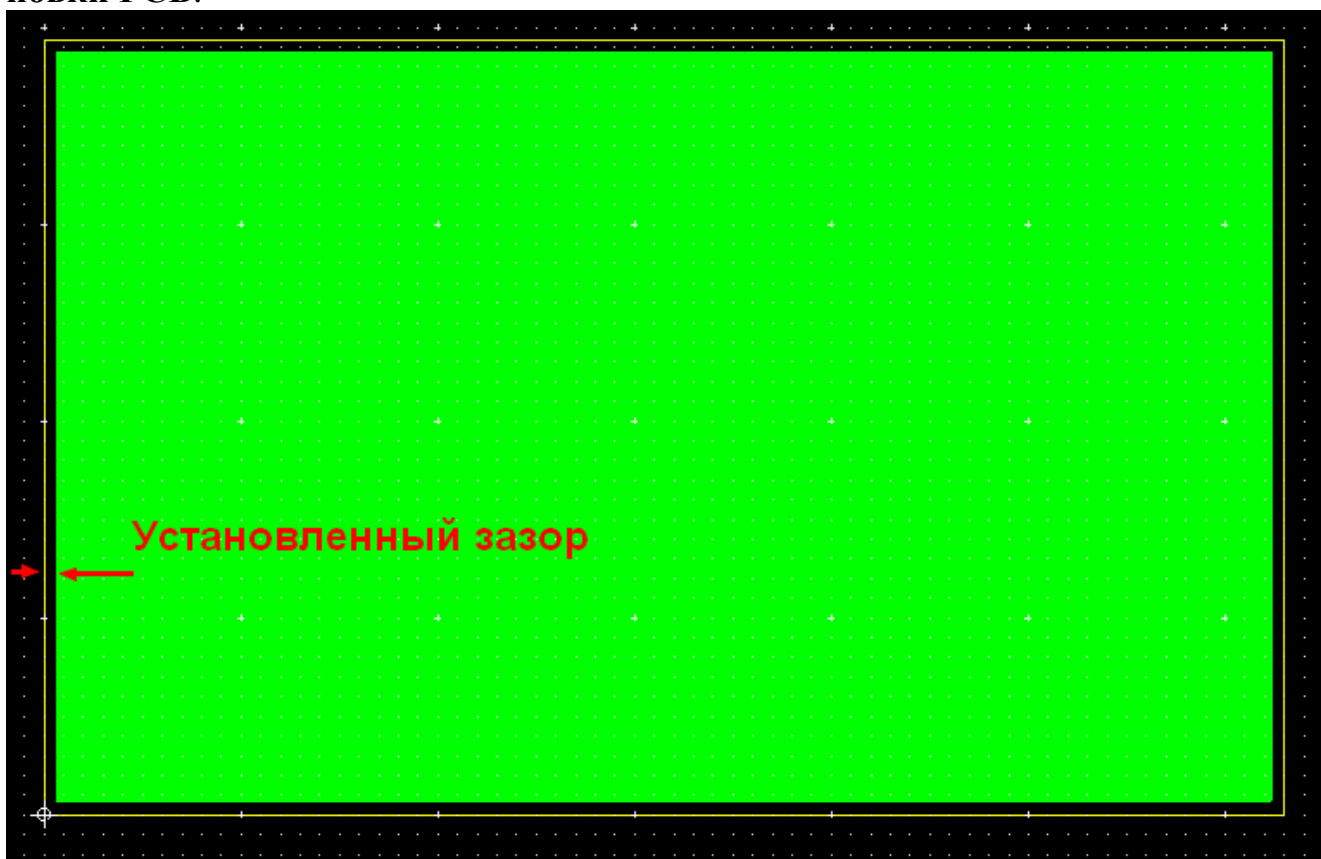
Приложение Ultiboard позволяет создавать на плате несколько видов металлизированных поверхностей, отличающихся не только способами построения, но и своими свойствами. Также имеется возможность преобразования одного вида металлизированной поверхности в другой с изменением присущих ей свойств.

Рассмотрим первый вид металлизированной поверхности – **Слой питания**. При выборе этой команды из меню **Вставить** или при нажатии на соответствующий значок в панели команд появляется окно



**Выбор слоя и цепи для металлизации**, в котором необходимо указать слой нанесения и цепь, с которой эта металлизация имеет электрическое соединение.

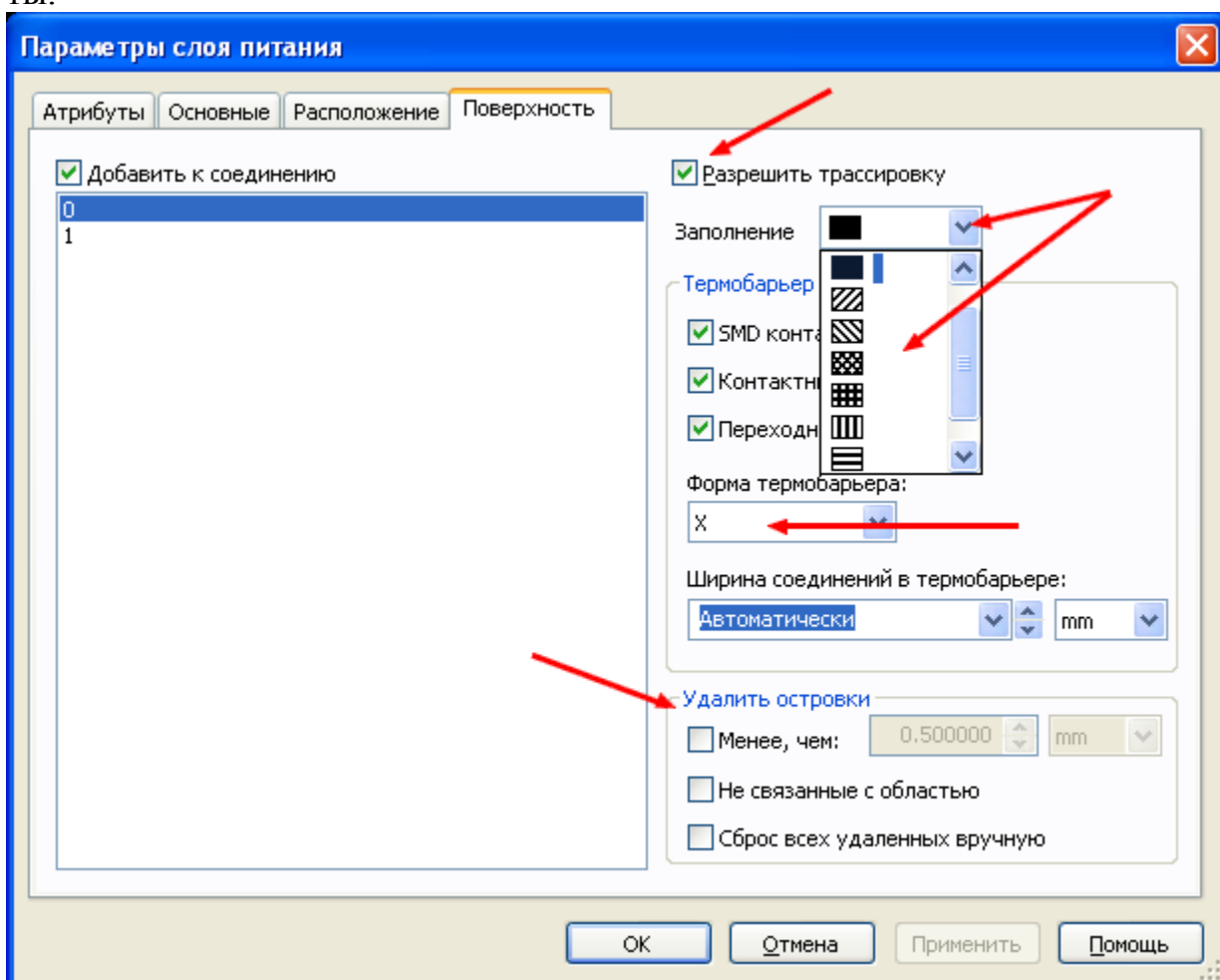
Нанести **Слой питания** без соединения его с определенной цепью невозможно. Это одно из основных отличий данного вида металлизации. После выбора номера цепи и слоя произойдет заполнение поверхности выбранного слоя. На границах платы при этом образуется зазор, величина которого была задана в диалоговом окне **Установки РСВ**.



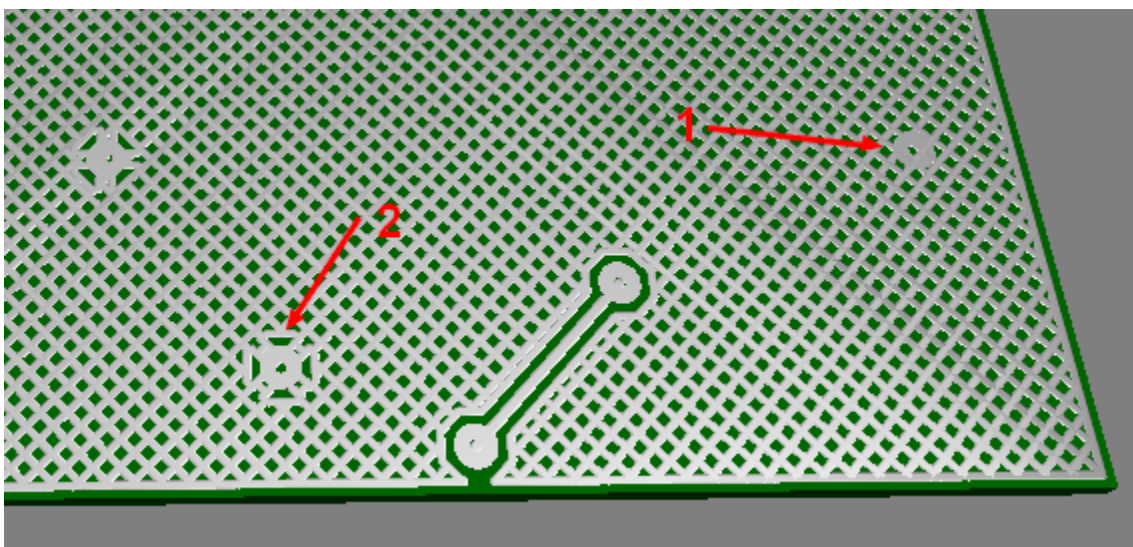
Если на плате присутствуют компоненты и цепи, то произойдет автоматическое соединение выводов компонентов, входящих в состав цепи **Слоя питания**, с металлизированной поверхностью. Соединение может быть полным или с термобарьером. Вид соединения, а также параметры самой поверхности выбираются в диалоговом окне свойств. Для выделения **Слоя питания** используется фильтр **Выделение металлизации**.

После включения этого фильтра следует навести курсор на поверхность металлизации и щелкнув правой кнопкой мышки, в появившемся меню выбрать **Свойства**. Можно просто произвести двойной щелчок по поверхности для вызова диалогового окна. Параметры

формирования поверхности выбираются в закладке **Поверхность**. Если предполагается, что в данном слое придется прокладывать проводники, не имеющие соединения со слоем питания, необходимо выбрать пункт **Разрешить трассировку**. При этом вокруг этих проводников будет автоматически формироваться зазор с выбранной величиной. Вид поверхности определяется выбором из выпадающего списка **Заполнение**. Если заполнение не сплошное, то ширина линий должна быть выбрана в закладке **Основные**. В поле **Термобарьер** выбираются элементы, с которыми слой питания будет соединен посредством узких перемычек, ширина и форма которых также может быть выбрана. В случае наличия в слое проводников других цепей возможно возникновение участков металлизации, изолированных от основной поверхности. В поле **Удалить островки** производится выбор размеров таких участков, которые будут удалены с платы.

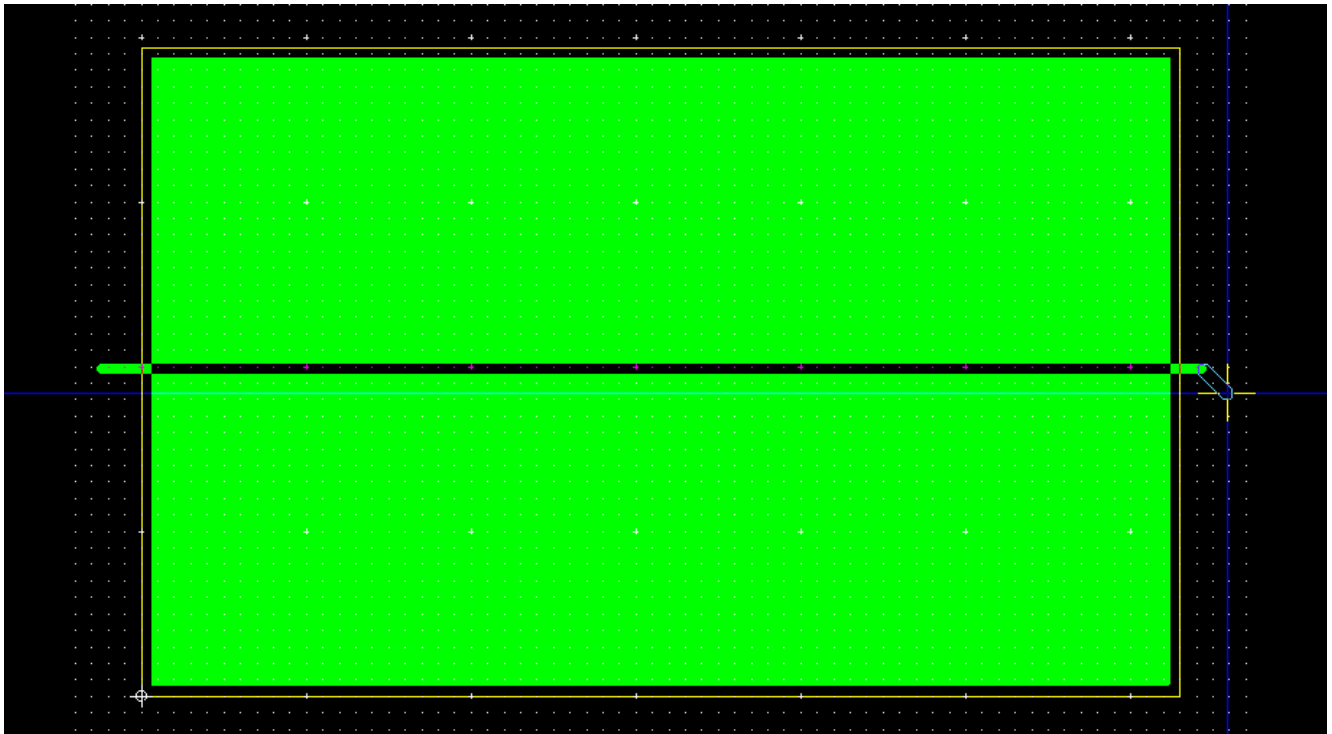


На следующем рисунке показан участок платы в 3D виде со слоем питания, заполненным перекрещивающимися наклонными линиями. Цифрой 1 обозначено переходное отверстие с полным контактом, цифрой 2 – отверстие с термобарьером X-образной формы. Для каждого вывода компонента можно впоследствии выбрать свой тип термобарьера или вовсе отказаться от него.



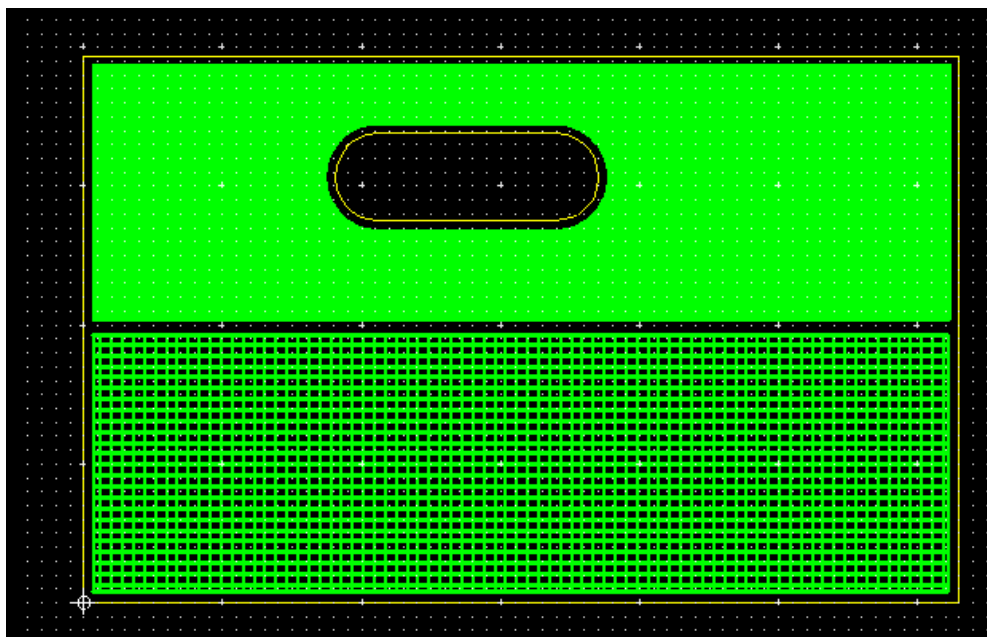
В некоторых случаях может потребоваться на одном слое платы сделать два разнесенных слоя питания. Программа позволяет создать такой вариант. Делается это следующим образом. Для начала устанавливаем слой питания на всю выбранную поверхность платы, выбрав для него цепь, например, 0. Делаем активным слой, на который нанесена металлизация. Выбираем в меню **Разработка>>Выравниватель области**, выбираем ширину линии и разделяем этой линией плату на требуемые части, щелкнув в начале и в конце линии левой кнопкой мышки.



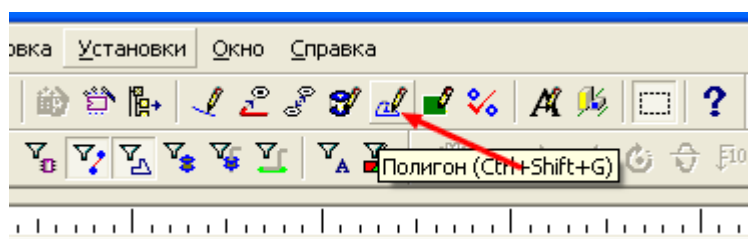


Теперь на плате присутствует два слоя питания с отдельной регулировкой свойств.

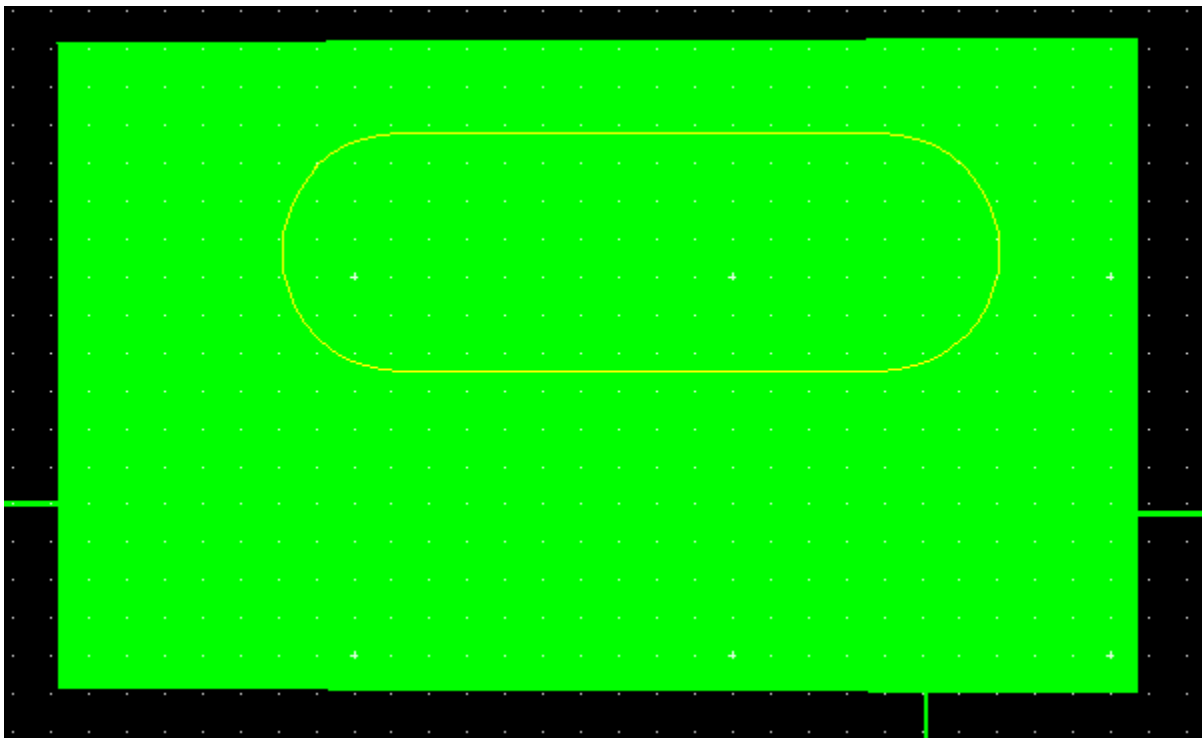
Включив фильтр **Выделение металлизации**, изменяем свойства, например, нижней части и устанавливаем ее соединение с цепью 1. Кроме того, можно выбрать иной стиль заполнения. В качестве дополнения следует сказать, что если на плате имеется внутренний вырез, то зазор вокруг него будет соответствовать зазору по краю платы. Вырез должен быть сделан до нанесения **Слоя питания** – в противном случае Произойдет заполнение внутренней части выреза металлизированной поверхностью. Правда, это заполнение будет только на рабочем поле, на реальной плате будет отверстие. Однако, это замечание следует учесть, т.к. при передаче платы на промышленное производство могут возникнуть вопросы у производителя



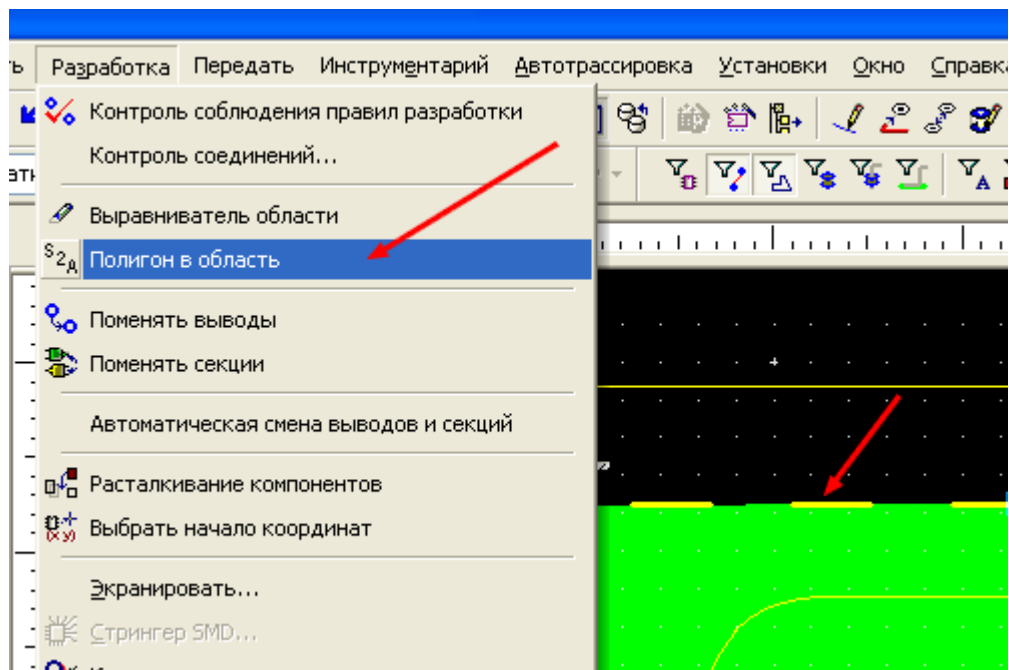
Следующий вид металлизированной поверхности создается **Полигоном**. Команда его нанесения вызывается из панели инструментов нажатием на соответствующий значок.



Принцип его построения точно такой же, как и у **Области металлизации**, а вот свойства значительно отличаются. При нанесении полигона на плату, его поверхность перекрывает не только линии проводников, но и отверстия в плате. В свойствах **Полигона** отсутствуют возможности выбора стиля заполнения, термобарьера и пр., его нельзя обрезать, используя команду **Выравнивателя области**. Для просмотра и редактирования свойств используется тот же фильтр выбора, что и в предыдущих случаях. **Полигон** удобно использовать для создания теплоотводящей поверхности элементов поверхностного монтажа.

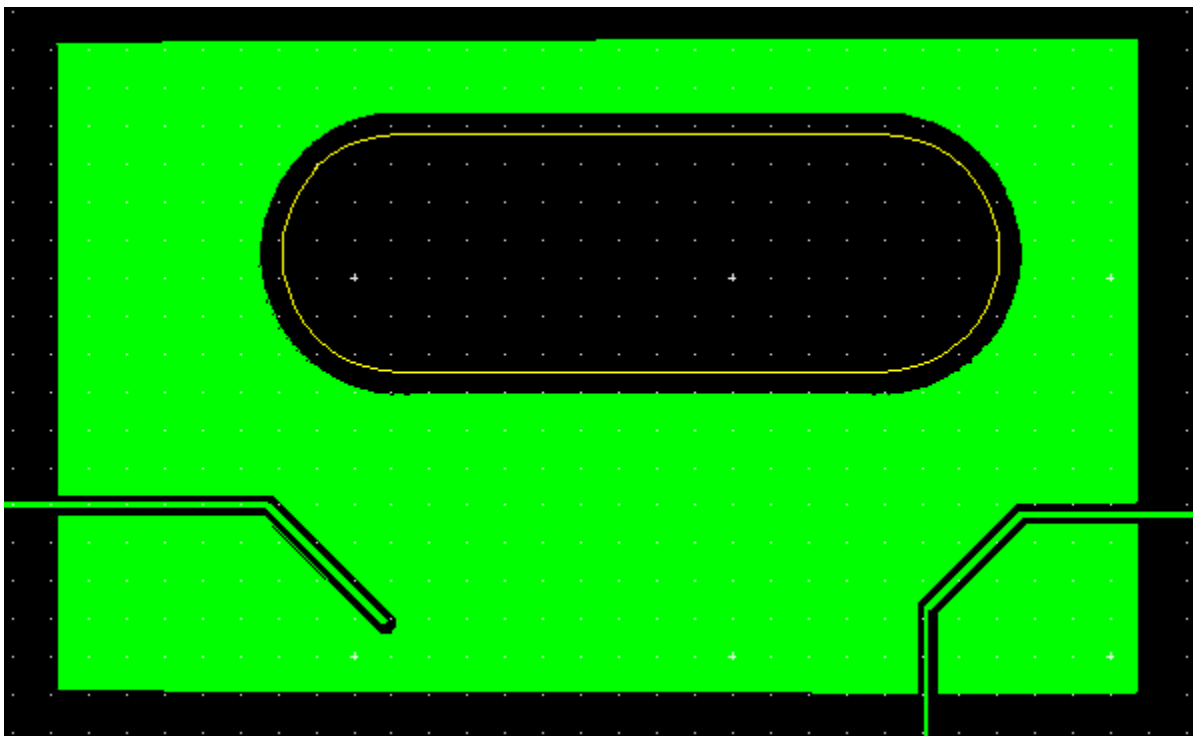


При необходимости, этот вид металлизации можно преобразовать для придания ему свойств **Области металлизации**. Для этого следует выделить полигон, щелкнув по нему левой кнопкой мышки и в меню **Разработка** выбрать команду **Полигон в область**.

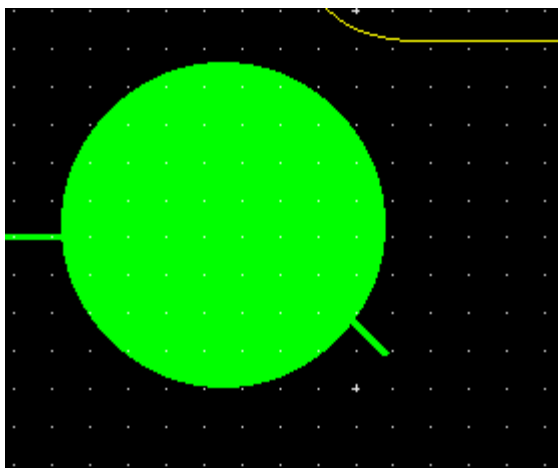


После этого произойдет преобразование, придающее металлизированной поверхности

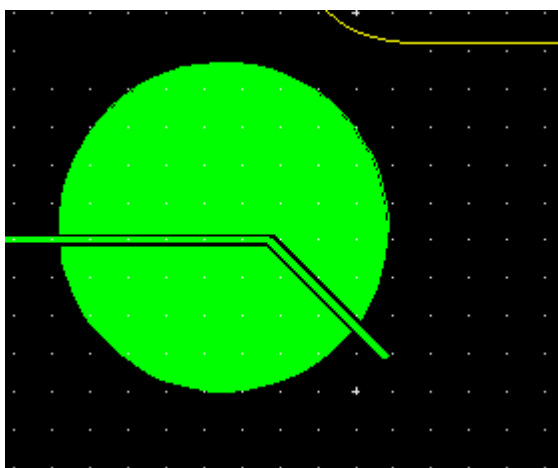
характеристики **Области металлизации** с возможностью выбора всех ее свойств.



Последний вид металлизированной поверхности создается в проводящем слое платы при помощи инструмента рисования **Фигура**. При использовании этого варианта возможно создание площадей в виде овальных геометрических фигур, что затруднительно было сделать в предыдущих случаях. Для этого, установив активным требуемый проводящий слой, выбираем в меню **Вставить>>Фигура>>Окружность** и наносим ее на плату. Как видно из рисунка, этот вид поверхности обладает свойствами **Полигона**. Разница заключается в том, что для просмотра и редактирования свойств **Фигуры** должен быть включен фильтр выбора **Выделение проводников**.



Так же, как и **Полигон**, эта поверхность может быть преобразована в **Область металлизации**. Способ такого преобразования остается прежним - выделение, преобразование.



### 5. Задание:

1. Выполнить трассировку и создать топологию печатной платы с металлизированным слоем питания цифрового устройства из приложения 1.

2. Выполнить трассировку и создать топологию печатной платы с полигоном цифрового устройства из приложения 1.

### 6. Порядок выполнения работы:

6.1. Выполнить трассировку и создать топологию платы с металлизированным слоем питания цифрового устройства из приложения 1

6.2. Выполнить трассировку и создать топологию печатной платы с полигоном цифрового устройства из приложения 1.

### 7. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

### 8. Литература и средства обучения:

8.1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

8.2 Методические указания для выполнения практического занятия

8.3 Multisim . Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2018. – 488 с; ил.

8.4 Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2016. — 256 с.

## Приложение 1.

)

Схема 1 (Полусумматор)

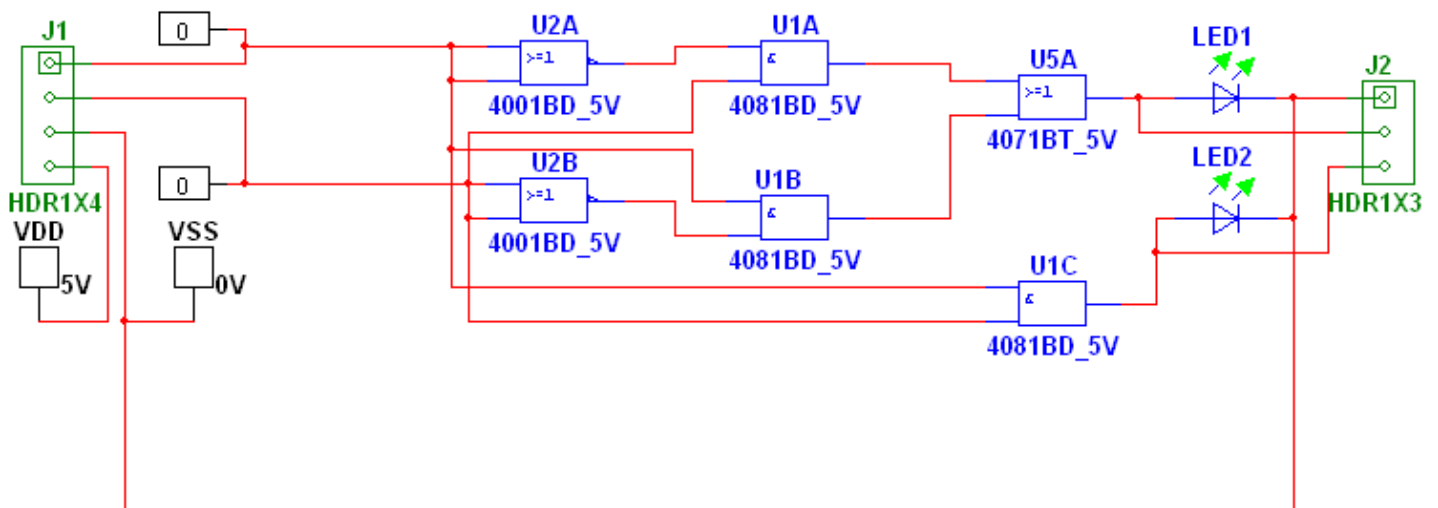


Схема 2 (Вычитающий счётчик с последовательным переносом)

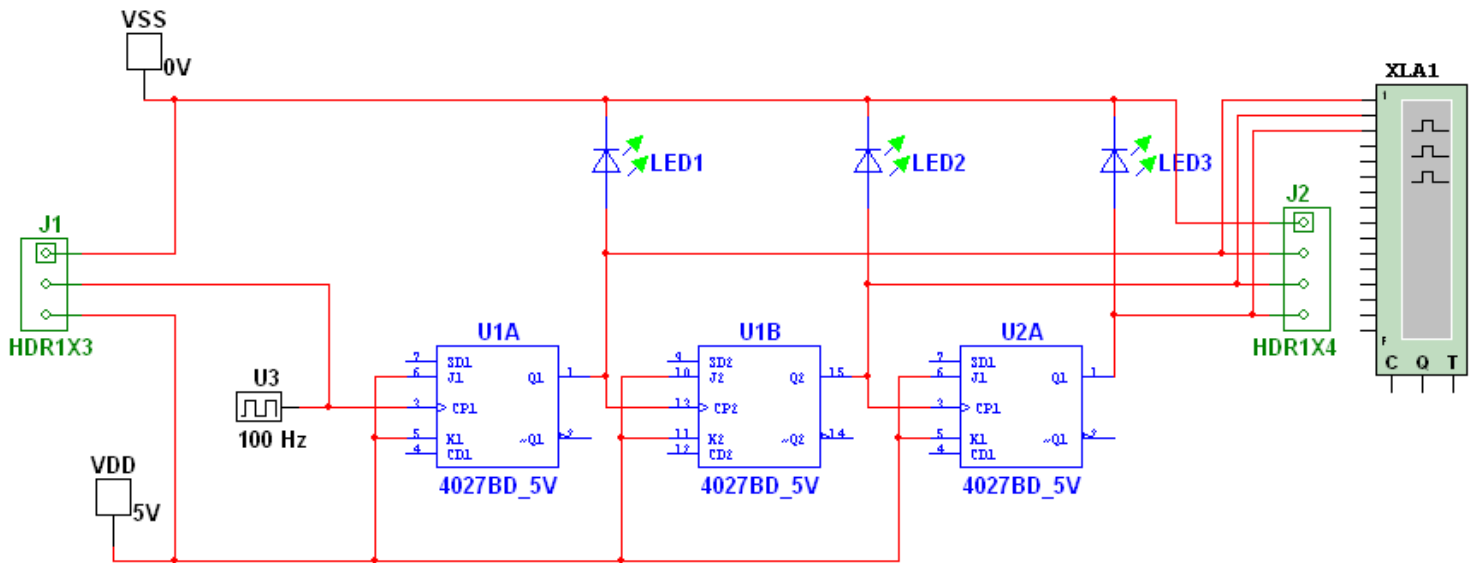


Схема 3 (Шифратор 10 на 4)

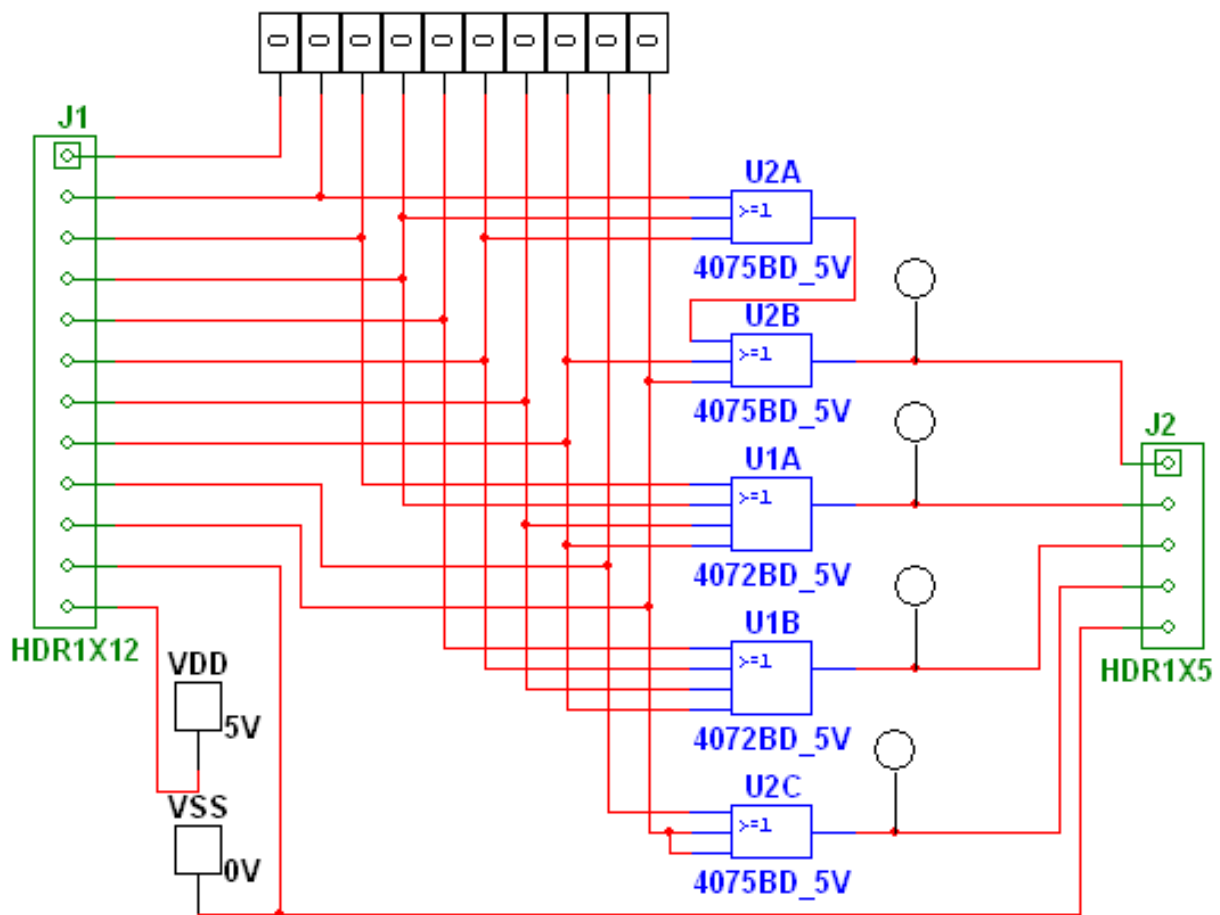


Схема 4

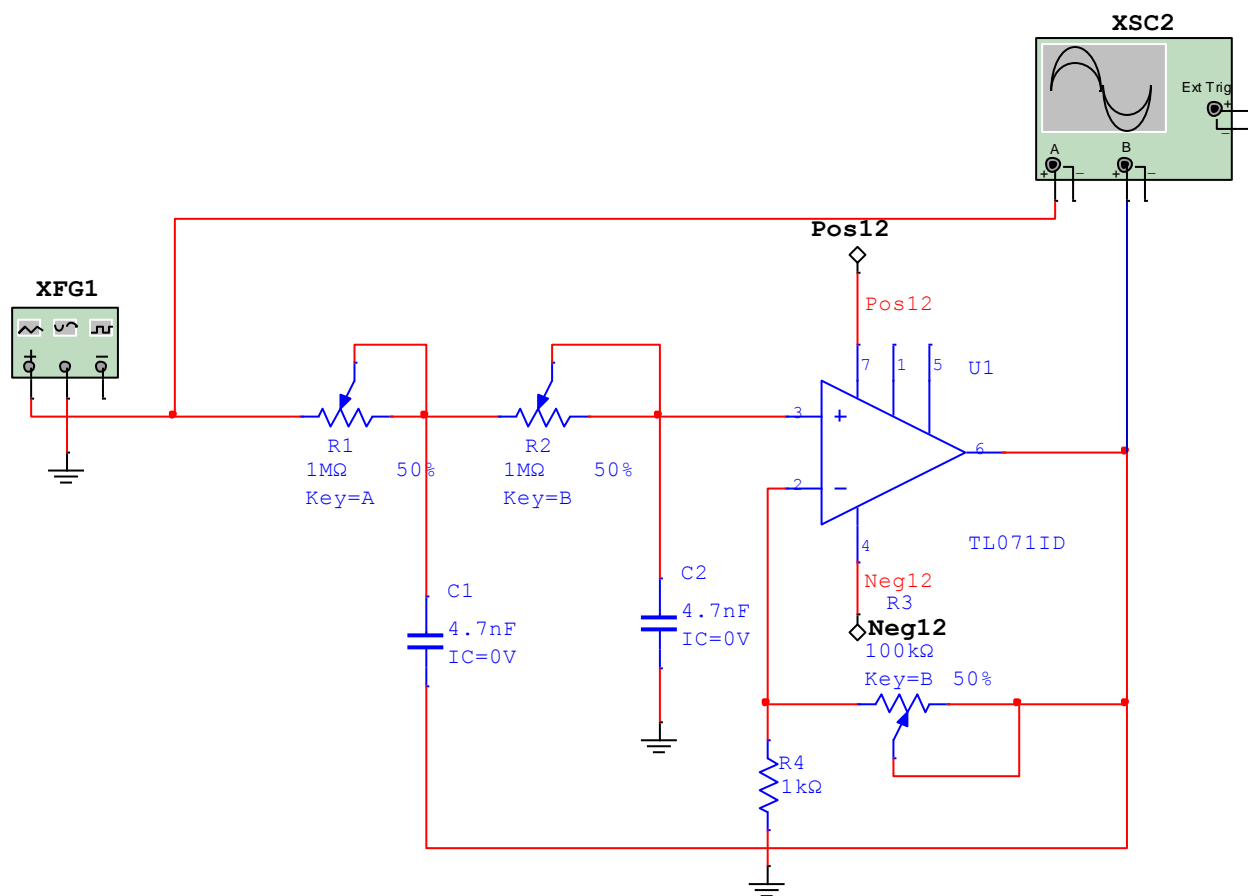


Схема 5



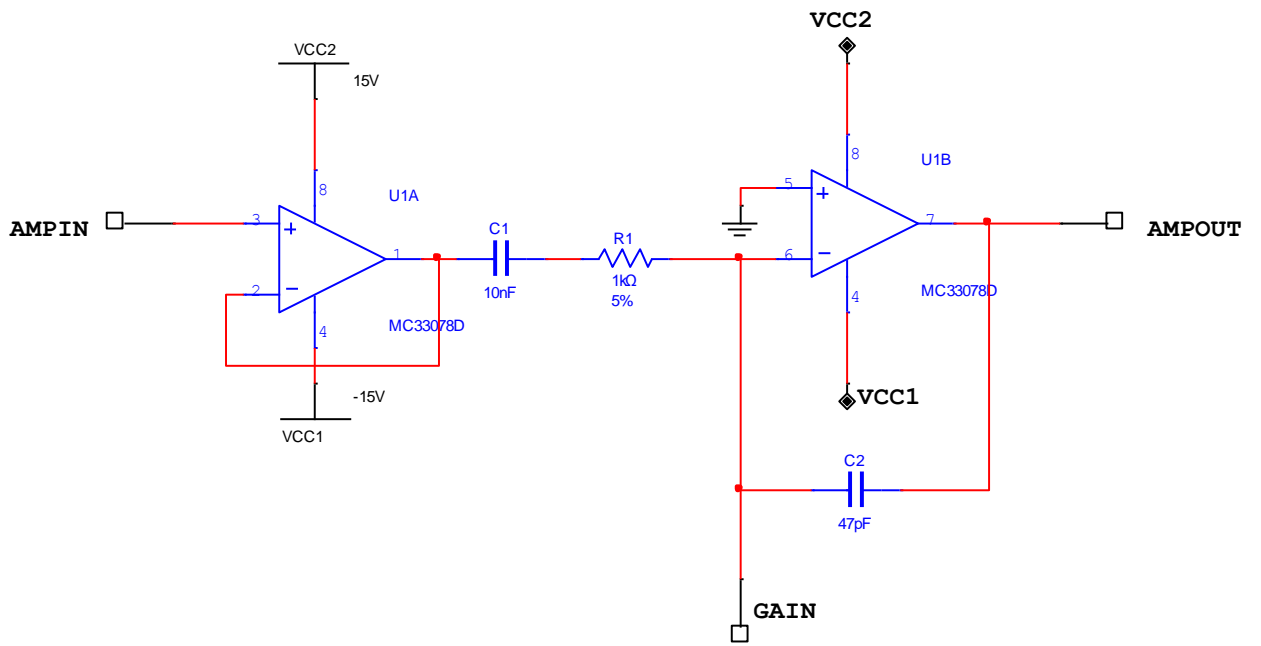


Схема 6

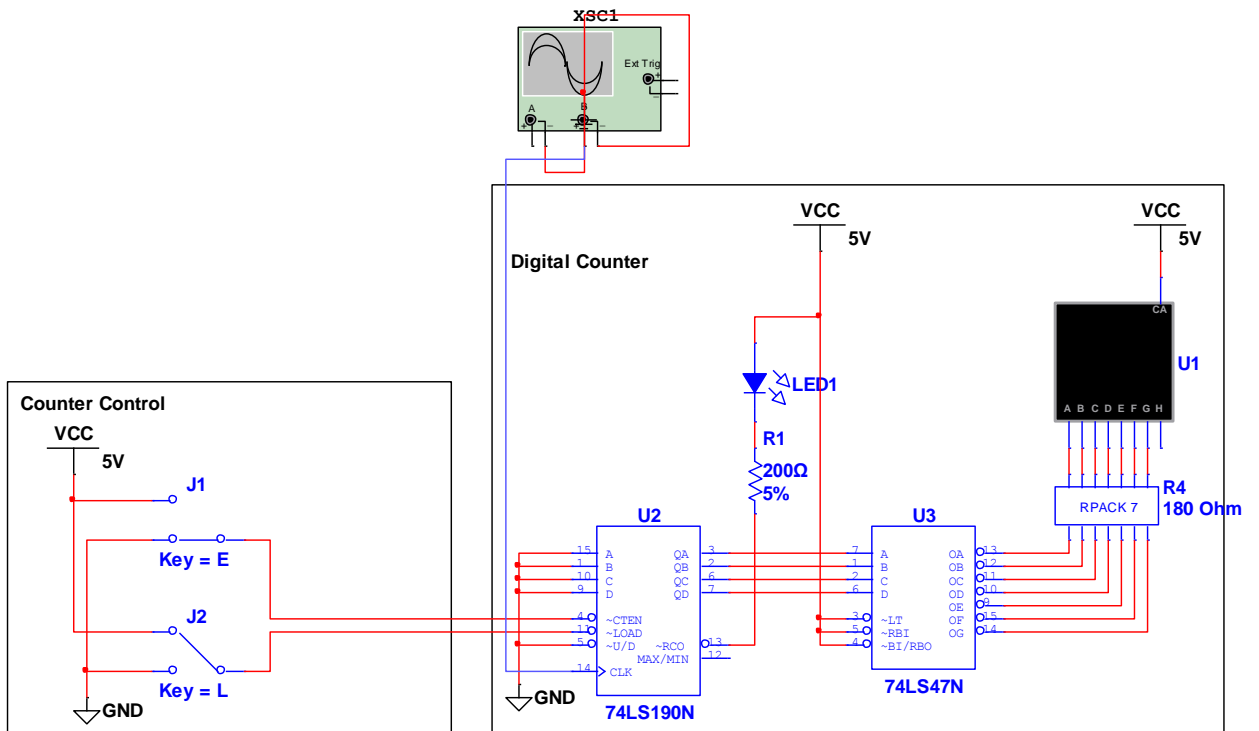
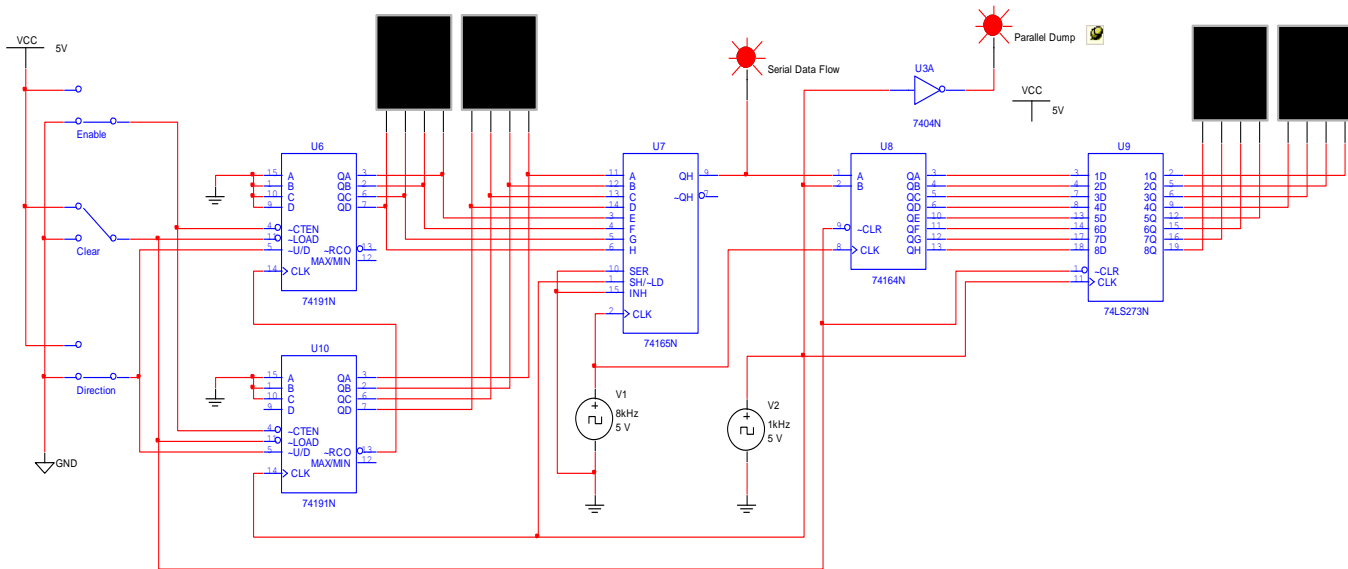


Схема 7



## Практическое занятие № 46

### Создание компонента в программе Delta Design

#### 1 Цель работы:

Научиться создавать компоненты в программе Delta Design и формировать собственную элементную базу

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа Delta Design

#### 4. Краткие теоретические сведения

##### 4.1. Структура компонента

Каждый компонент должен содержать в себе набор данных, которые необходимы для его использования в разработке. К этим данным относятся:

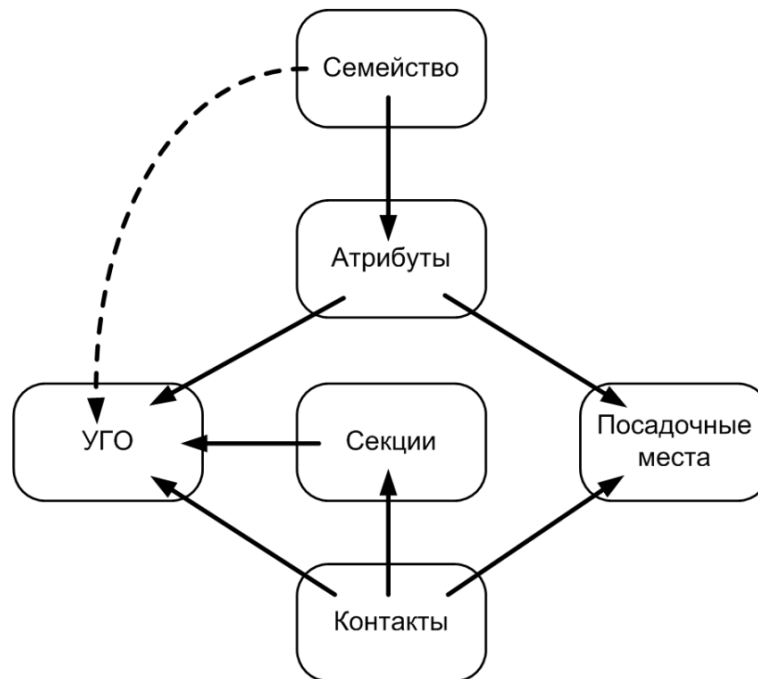


Рис. 1 Схема структуры компонента

Ключевым моментом в создании компонента является сопоставление различных типов данных: УГО, посадочных мест, атрибутов и контактов компонента.

4.2. Компоненты создаются в дереве библиотек. Для того чтобы создать компонент, необходимо выполнить следующие действия:

1. Перейти в дерево библиотек на панели навигации.
2. Выбрать нужную библиотеку.
3. Перейти на узел «Компоненты».
4. Выбрать папку, в которой должен быть создан компонент.
5. Вызвать контекстное меню для выбранной папки и активизировать См. Рис. 2

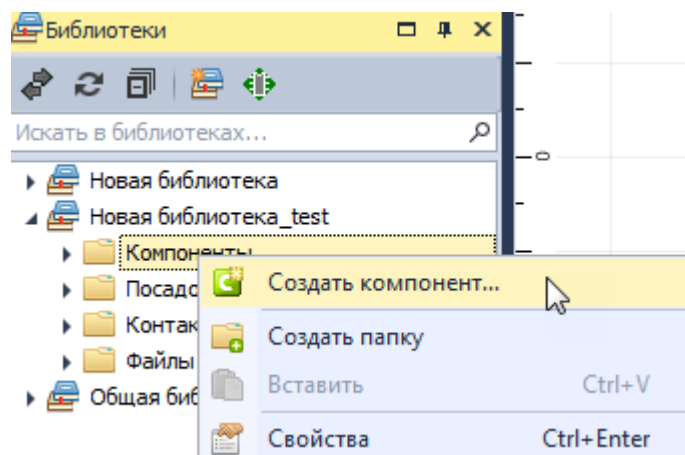


Рис. 2. Создание компонента

#### 4.2.1 Или с помощью главного меню:

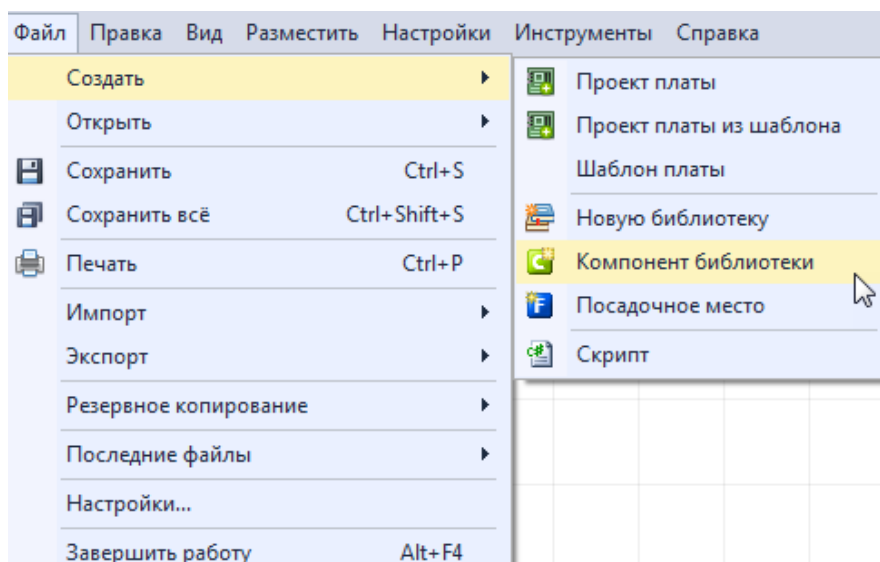


Рис. 3 Запуск создания компонента с помощью главного меню

#### 4.2.2. Выбрать библиотеку, в которой будет создаваться компонент

#### 4.2.3. Выбрать папку, в которой будет сохранен компонент

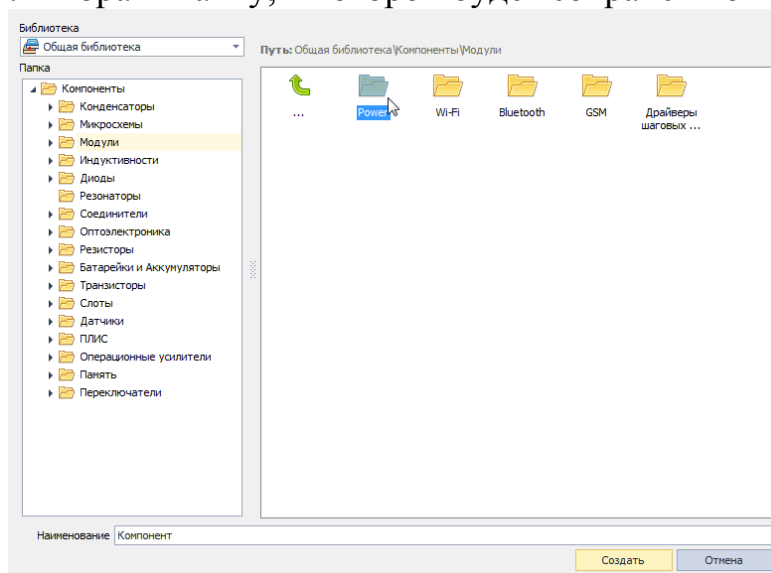


Рис. 4 Выбор папки

#### 4.2.4. Ввести имя создаваемого компонента в поле «Наименование»,

4.2.5. Нажать на кнопку «Создать» в рабочей области будет открыт редактор компонентов.

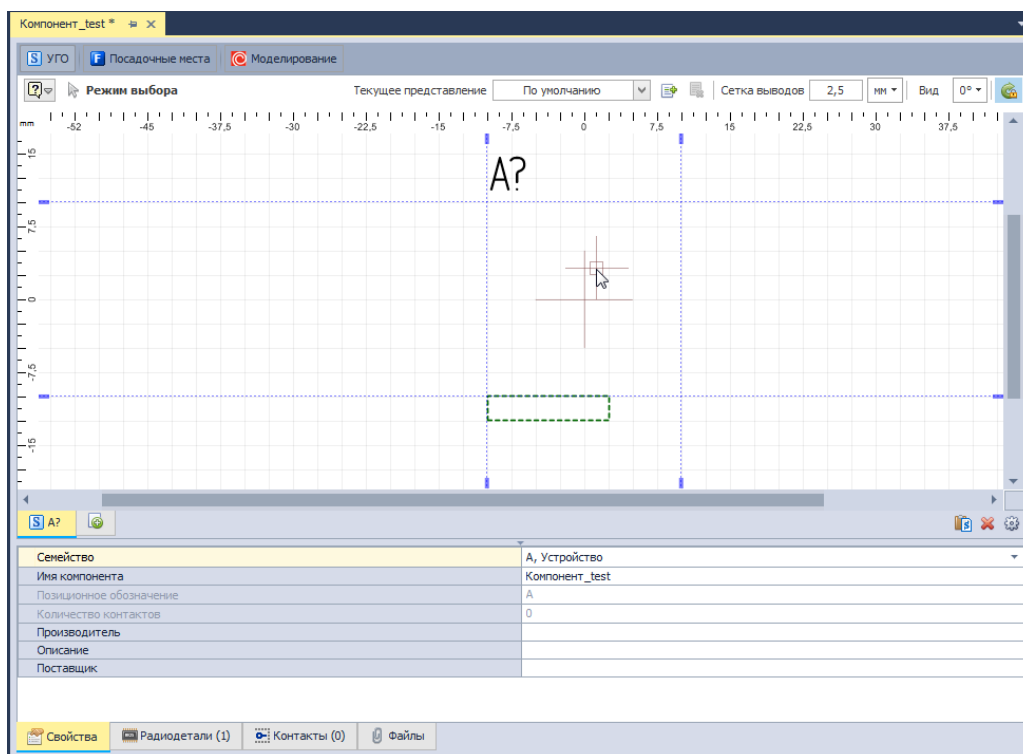


Рис. 5 «Стартовое» окно редактора компонентов

### 4.3. Редактор компонентов

В редакторе компонентов расположены несколько вкладок, которые позволяют переключаться между различными типами данных

1. УГО – вкладка для работы с УГО;
2. Посадочные места – вкладка для работы с посадочными местами;
3. Сопоставление – вкладка для сопоставления контактов УГО и контактных площадок посадочных мест;
4. Моделирование - вкладка для работы со SPICE-моделями;
5. Свойства – вкладка с общими свойствами компонента;
6. Радиодетали – вкладка для работы с радиодетальями компонента;
7. Контакты – вкладка для работы с контактами компонента;
8. Файлы – вкладка для работы с дополнительными документами, включенными в состав компонента.

### 4.4 Работа с УГО из Стандартов

Что бы использовать типовое УГО из Стандартов, в нижней левой части окна на вкладке (секции компонента), обозначенной значком , необходимо вызвать контекстное меню, см.

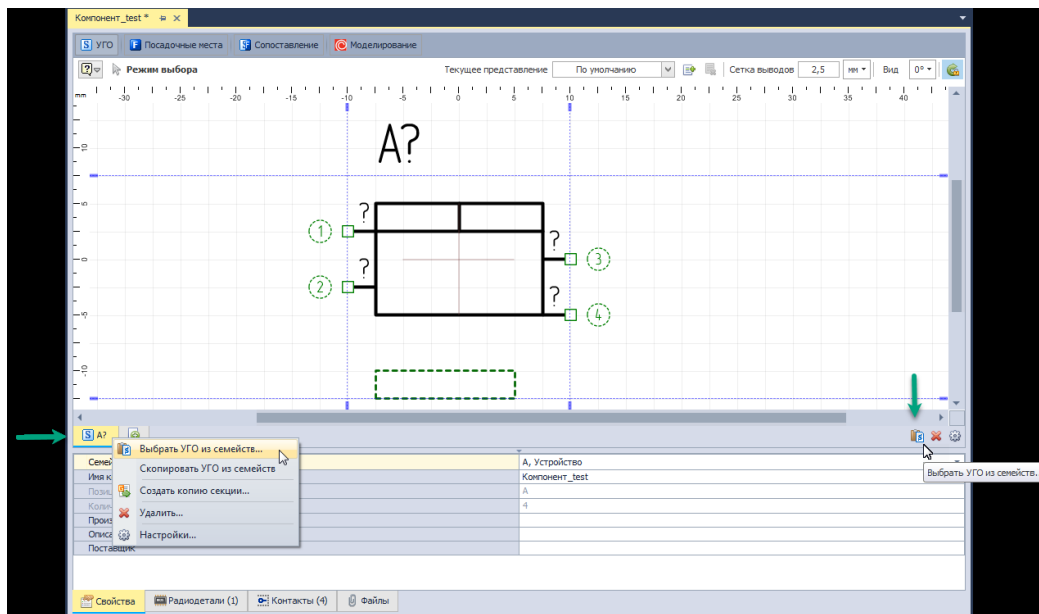



Рис.6 Кнопки для работы с УГО из Стандартов

При выборе пункта «Выбрать УГО из семейств...», обозначенного значком , на экране появится окно для выбора УГО, см. Рис.7.

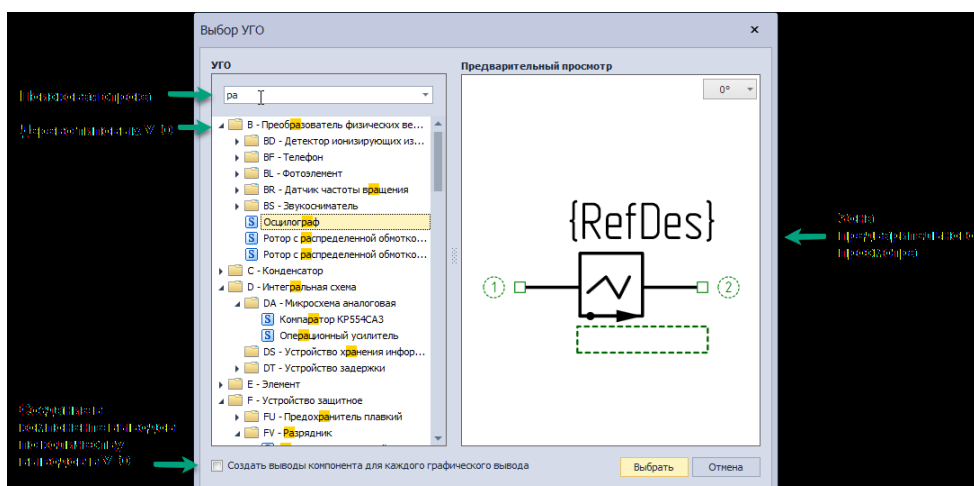


Рис. 9 Окно «Выбор УГО»

В левой части окна отображается область с деревом типовых УГО доступных в Стандартах. Над ним расположена строка поиска. В правой части окна расположена область предварительного просмотра.

Для того, чтобы создать в компоненте контакты по количеству выводов УГО необходимо отметить флагом поле «Создать выводы компонента для каждого графического вывода», расположенное в нижней части окна. В этом случае новые контакты будут создаваться даже если какие-либо контакты для компонента уже были созданы.

После выбора УГО из списка (в правой части окна) необходимо нажать кнопку «Выбрать», расположенную в левом нижнем углу окна. После этого произойдет изменение УГО.

#### 4.5. Посадочные места

Для работы с посадочными местами компонента необходимо перейти во вкладку «Посадочные места», расположенную в верхней части окна редактора, см. Рис. 10.

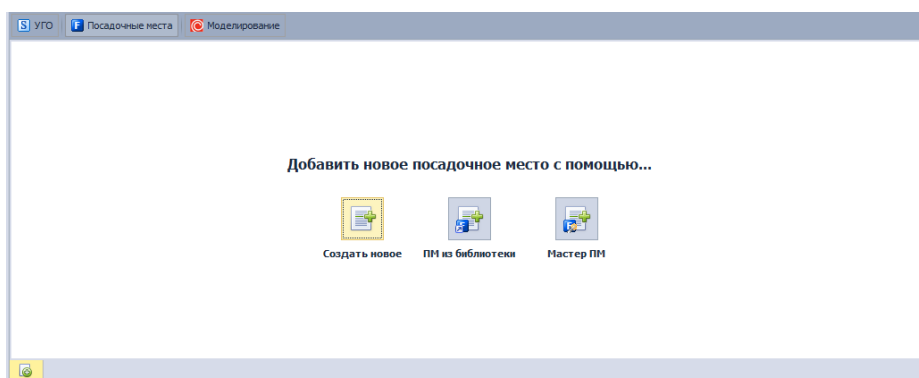


Рис. 10 Изначальный вид вкладки «Посадочные места»

На вкладке «Посадочные места» будут предложены следующие способы создания посадочного места:

- Создать новое;
- ПМ из библиотеки;
- Мастер ПМ.

При выборе пункта «ПМ из библиотеки» к компоненту прикрепляется уже готовое посадочное место из текущей библиотеки. Для использования готового посадочного места:

1. Перейдите на вкладку «Посадочные места».
2. Выберите пункт «Использовать посадочное место» в контекстном меню, вызываемом на кнопке «Создание/Использование посадочных мест»
- 3.. Выберите необходимое посадочное место из списка, представленного в отобразившемся на экране окне «Использовать посадочное место», см. Рис. 11.

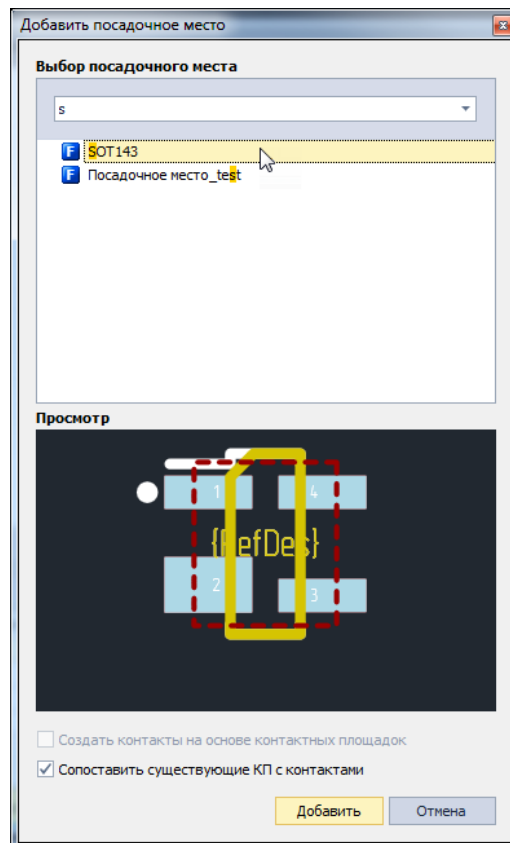


Рис. 11 Окно «Использовать посадочное место»

4. Подтвердите использование посадочного места, нажав, кнопку «Добавить».

#### 4. 6. Контакты

4.6.1. Контакты – это описание электрических подключений компонента. Они описывают сигналы, которые передаются выводами компонента и служат для сопоставления контактных площадок, входящих в состав посадочных мест и выводов, входящих в состав УГО компонента.

4.6.2. Работа с контактами осуществляется с помощью закладки «Контакты», расположенной в нижней части редактора компонентов, см.

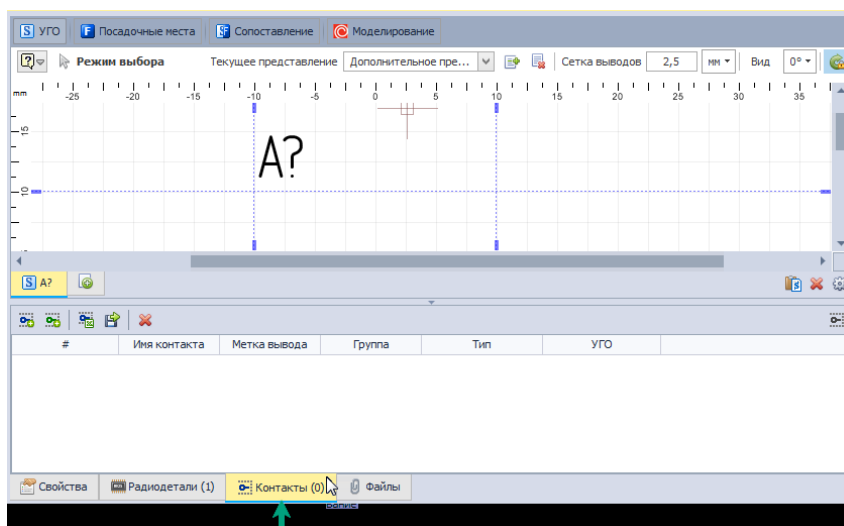




Рис. 12 Вкладка «Контакты»

Каждый контакт компонента представляется в виде строки таблицы. Состав колонок таблицы зависит от активной вкладки («УГО», «Посадочное место» и др. в верхней части окна редактора). Тем не менее, существует ряд колонок, которые всегда отображаются в таблице контактов. К их числу относятся:

- Номер контакта в таблице, колонка «#»;
- Имя контакта – текстовое обозначение контакта, колонка «Имя контакта»;
- Текстовое обозначение контакта/вывода на УГО, колонка «Метка вывода»;
- Поле для указания эквивалентности контактов, колонка «Группа», раздел Группы контактов;
- Указание типа сигналов, передаваемых через данный контакт, колонка «Тип», раздел Типы контактов.

При активной вкладке «УГО» в таблице контактов дополнительно отображается колонка «УГО», в которой указывается соответствие выводов УГО и контактов компонента, см. Рис.13.

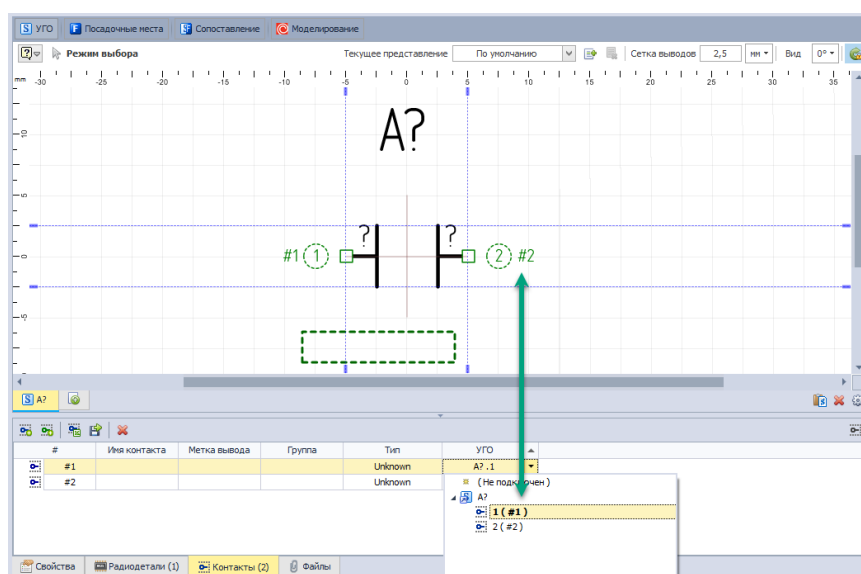


Рис. 13 Колонки «УГО»

При активной вкладке «Посадочное место» в таблице контактов дополнительно отображается колонка «Посадочное место», в которой указывается соответствие контактных площадок посадочного места и контактов компонента, см. Рис. 14.

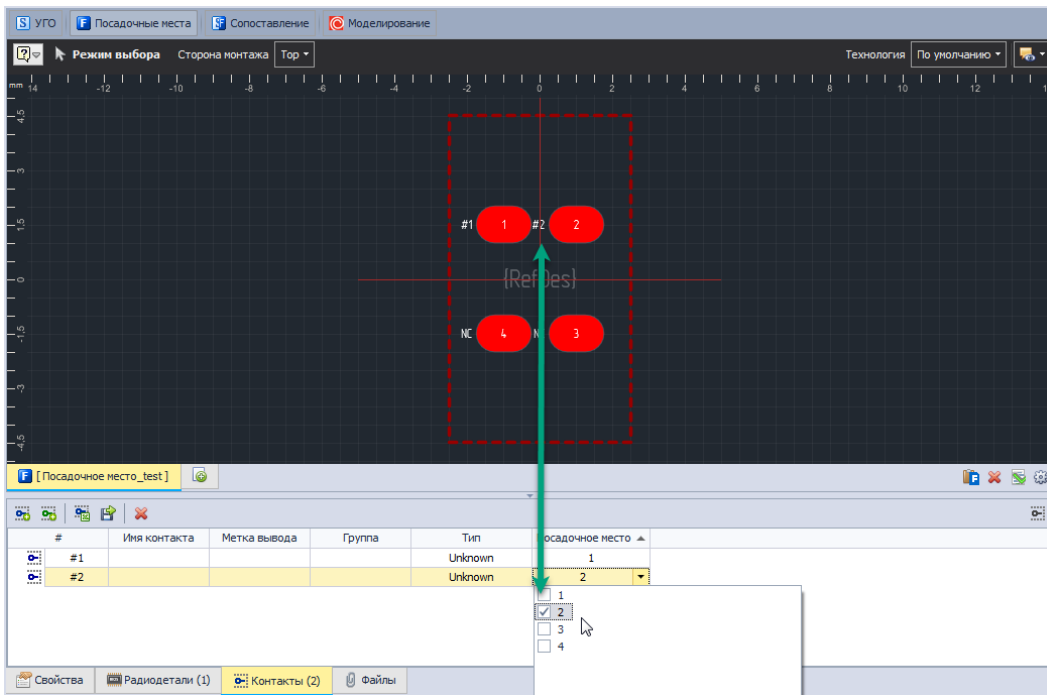


Рис. 14 Колонка «Посадочное место»

#### 4.7. Сопоставление

Сопоставление УГО, посадочных мест и контактов компонента обеспечивает взаимосвязь электрической схемы и платы. Сопоставление определяет пары вывод УГО – контактная площадка. При построении схемы цепи соединяют выводы компонентов. При проектировании платы треки соединяют контактные площадки. Сопоставление между выводами и контактными площадками позволяет проводить треки на плате в полном соответствии с цепями электрической схемы.

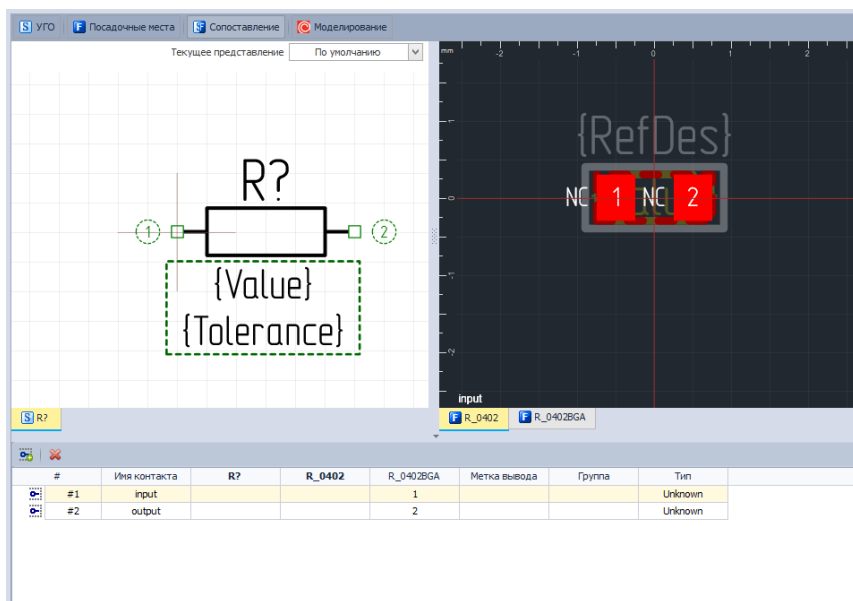
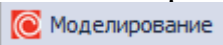


Рис.15 Вкладка «Сопоставление»

## 4.8. Моделирование

### 4.8.1 SPICE-модель

Для создания SPICE-модели:

1. В редакторе компонента перейдите во вкладку «Моделирование», обозначенную кнопкой ,
2. В открывшемся окне нажмите «Добавить модель», см. Рис. 16.

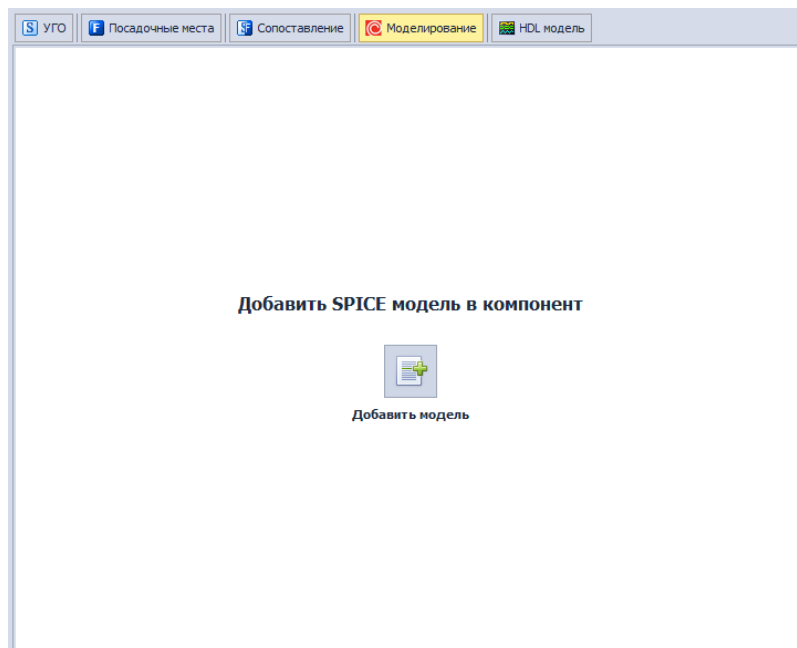


Рис. 16 Добавление Spice-модели

3. Выберите из списка Тип модели, Рис.17 :

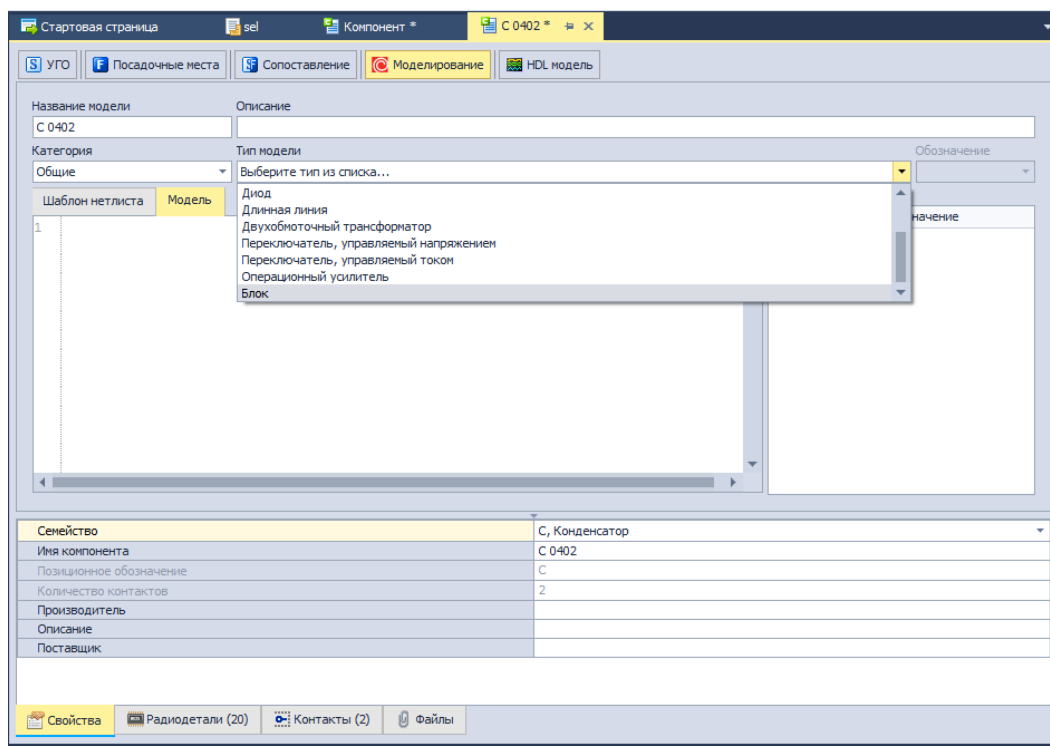


Рис. 17 Выбор типа модели

4. Введите нетлист (список соединений) модели в текстовом окне вкладки «Модель», см. Рис. 18

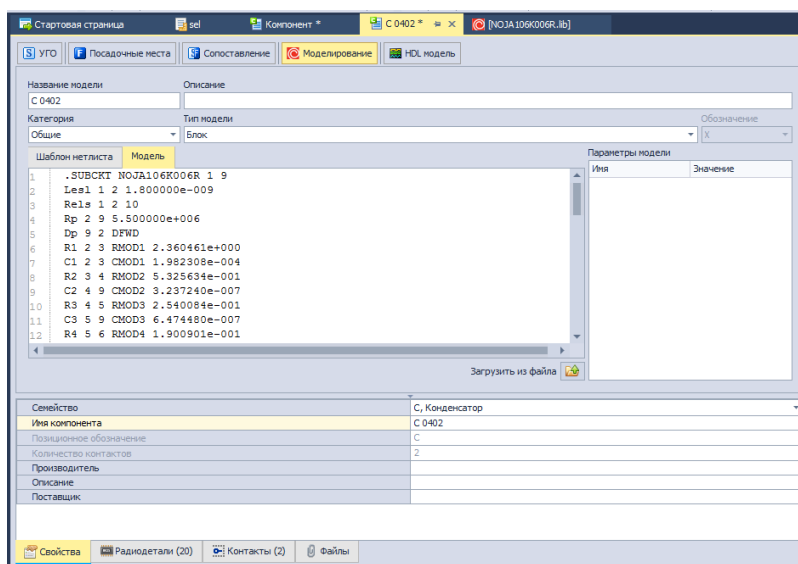


Рис. 18 Ввод списка соединений модели в текстовом окне вкладки «Модель»

5. Перейдите на вкладку «Шаблон нетлиста» и удостоверьтесь, что программа корректно «прочитала» модель и сгенерировала шаблон.

6. Перейдите на вкладку «Контакты» и сопоставьте контакты УГО с выводами SPICE-модели.

7. Выполните проверку компонента, см. Рис. 19:

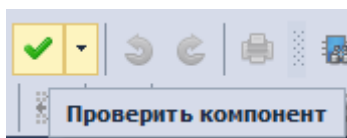


Рис. 19 Запуск проверки компонента

#### 4.8. Свойства

4.8.1. Компоненты обладают общими свойствами, которые указывают основную информацию о компоненте и определяют его тип. Общие свойства компонента доступны на закладке «Свойства» в нижней части редактора компонентов. К общим свойствам компонента относятся:

- Наименование;
- Позиционное обозначение;
- Количество контактов;
- Производитель;
- Описание;
- Поставщик.

Семейство	A, Устройство
Имя компонента	Компонент
Позиционное обозначение	A
Количество контактов	8
Производитель	
Описание	
Поставщик	

Свойства   Радиодетали (1)   Контакты (8)   Файлы

Рис. 20 Вкладка «Свойства»

##### 4.8.1. Наименование

Имя компонента предназначено для однозначной идентификации компонента в пределах библиотеки компонентов, поэтому оно уникально. В поле «Имя компонента», отображается имя компонента, которое было введено при создании компонента.

Пункты- Описание Производитель; Поставщик.- не обязательны для заполнения

#### 4.9. Проверка компонента

Для проверки правильности описания компонента в программе Delta Design предусмотрена функция проверки. Проверка компонента может быть выполнена для всех компонентов библиотеки как созданных в программе Delta Design, так и импортированных из внешних источников. Список проверяемых параметров приведен в Приложении.

Проверка компонента запускается по нажатию кнопки - «Проверить», которая расположена на панели инструментов «Общие», см. Рис. 21.

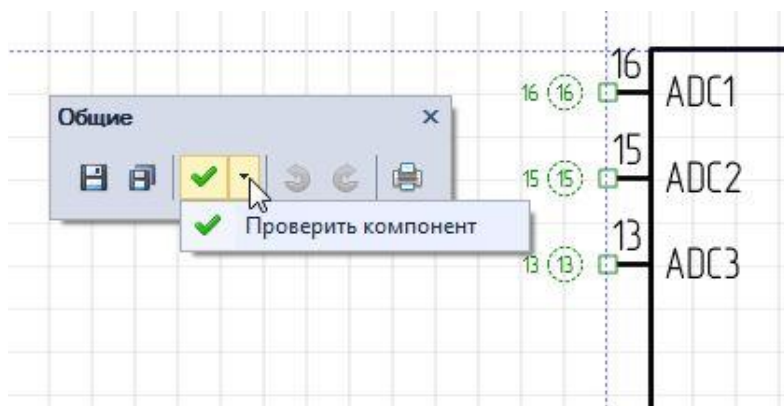


Рис. 21 Запуск проверки компонента

Если при проверке компонента не было обнаружено ошибок, то на экран будет выведено соответствующее сообщение, см. Рис. 22.

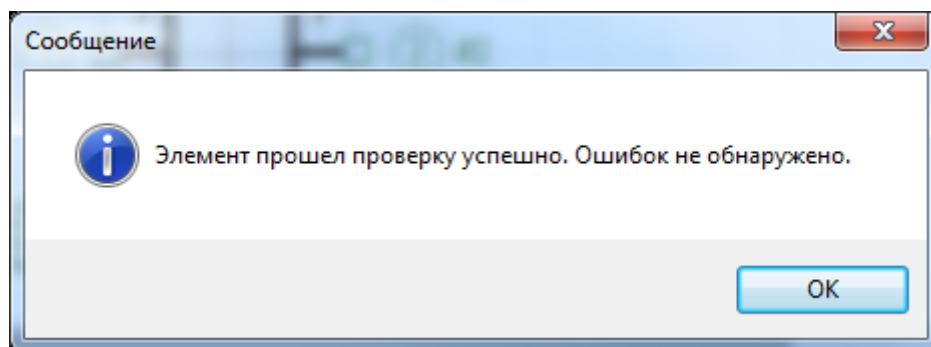


Рис. 22 Сообщение об отсутствии ошибок.

### 5. Задание:

1. Создать резисторы с различной мощностью в соответствии с номером варианта по заданию преподавателя

Тип	Размеры, (мм)				мах. рабочее напряжение
	H	D	L	d	
C1-4-0,062 Вт	3,2	1,5	28	0,48	200
C1-4-0,125 Вт mini	3,2	1,5	28	0,48	250
C1-4-0,125 Вт	6,0	2,3	28	0,60	250
C1-4-0,25 Вт mini	3,2	1,5	28	0,48	250
<b>C1-4-0,25 Вт</b>	<b>6,0</b>	<b>2,3</b>	<b>28</b>	<b>0,60</b>	250
C1-4-0,5 Вт	9,0	3,2	28	0,60	350
C1-4-1 Вт	11,0	4,5	35	0,80	500
C1-4-2 Вт	15,0	5,0	35	0,80	500

2. Создать корпус микросхемы по заданию преподавателя из приложения 1

## **6. Порядок выполнения работы:**

6.1. Открыть программу **Delta Design** .

6.2. Вызвать из панели инструментов Создатель корпуса компонента.

6.3. Создать резистор в соответствии с примером.

6.4. Создать микросхему по выбору преподавателя.

## **7. Содержание отчета:**

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

## **8. Литература и средства обучения:**

### **Основные источники:**

1. Овечкин Г.В., Овечкин В.П. Компьютерное моделирование 2020  
ОИЦ «Академия»

2. Компьютерное моделирование: Учебник для вузов / В.М. Градов,  
Г.В. Овечкин и др.- М.: КУРС 2018 ЭБС Знаниум 2018

3. Методические указания для выполнения практического занятия

### **Дополнительные источники**

Современная система компьютерного моделирования и анализа схем  
электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Изда-  
тельский дом ДМК – пресс, 2016. – 488 с; ил.

## Практическое занятие № 47

### Проектирование плат в редакторе печатных плат RightPCB™ программы Delta Design

#### 1. Цель занятия:

Получить практические навыки создания и проектирования печатной платы в программе **Delta Design**

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

#### 3. Оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа **Delta Design**

#### 4. Краткие теоретические сведения

Систем Delta Design обеспечивает автоматизированное проектирование конструкций однослойных, двухслойных и многослойных печатных плат, с двусторонней установкой электронных компонентов с планарными и штыревыми выводами.

Структура слоев печатной платы изначально формируется при создании проекта на основе заданного шаблона слоев. Впоследствии, состав слоев может быть изменен на любом этапе проектирования платы.

Основная часть работ по проектированию платы выполняется в редакторе печатных плат RightPCB™. Редактор позволяет в интерактивном режиме размещать компоненты, формировать и проверять корректность проводящего рисунка печатной платы на соответствие установленным правилам проектирования, учитывая регионы изменения правил

#### 5. Порядок выполнения работы

Перед началом работы в редакторе необходимо выполнить настройки

##### 1. Общие

Окно редактора плат имеет вкладку «Общие» для установки общих настроек по редактированию плат

##### 2. Трассировка

Окно редактора плат имеет вкладку «Трассировка» для установки настроек по прокладке трексов на плате

##### 3 Слои печатной платы

Для настройки слоев печатной платы в системе Delta Design предусмотрен специализированный Редактор слоев платы, который вызывается из дерева проекта с помощью контекстного меню узла «Плата» Работа со слоями печатной платы выполняется в отдельном окне, общий вид которого представлен на Рис 1



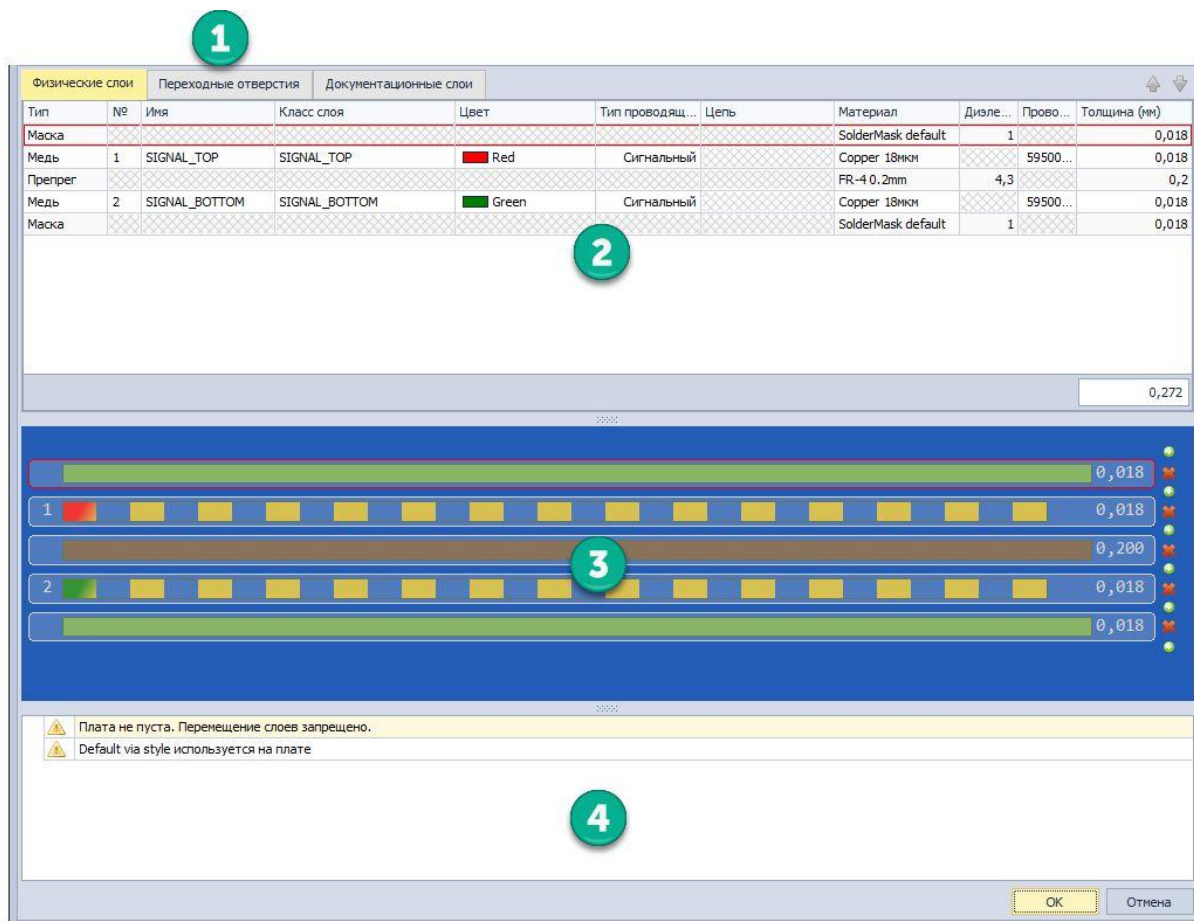


Рис 1

Цифрами на рисунке цифрами обозначены следующие элементы окна редактора:

- 1 - Вкладки – переключение типов данных в рабочей области.
- 2 - Таблица свойств – отображение детальной информации о слоях и межслойных переходах.
- 3 - Интерактивная схема структуры слоев – создание слоев печатной платы и межслойных переходов.
- 4 - Информационная область – вывод информационных сообщений о работе редактора слоев.

К доступным слоям и группам относятся:

- Медь – проводящий слой, обычно представлен в виде металла (фольги);
- Препрег – диэлектрический слой;
- Медь+Препрег – пара слоев: проводящий и диэлектрический;
- Основа – единая группа из трех слоев: проводящий, диэлектрический и проводящий (выполнена в виде единого комбинированного материала);

- RCC – цельная группа из двух слоев: диэлектрического и проводящего. RCC – это комбинированный материал (проводящая фольга, нанесенная на полимерно-эпоксидную подложку);
- Маска – защитная паяльная маска.

#### Определение переходных отверстий

Определения типов переходных отверстий, выполняется на вкладке «Переходные отверстия» редактора слоев платы. В верхней части рабочей области расположена таблица редактирования свойств переходных отверстий,

в нижней части их интерактивное схематическое изображение, см. Рис. 2.



Рис. 2.

Работа с печатными платами осуществляется с помощью редактора печатных плат RightPCB™, вызов которого возможен из узла «Документы» - пункт «Плата», входящего в состав проекта. Редактор вызывается как с помощью пункта «Открыть...» контекстного меню, либо с помощью двойного нажатия по пункту «Плата».

Общий вид окна редактора показан на Рис. 3. Рабочее поле редактора связано с системой координат.

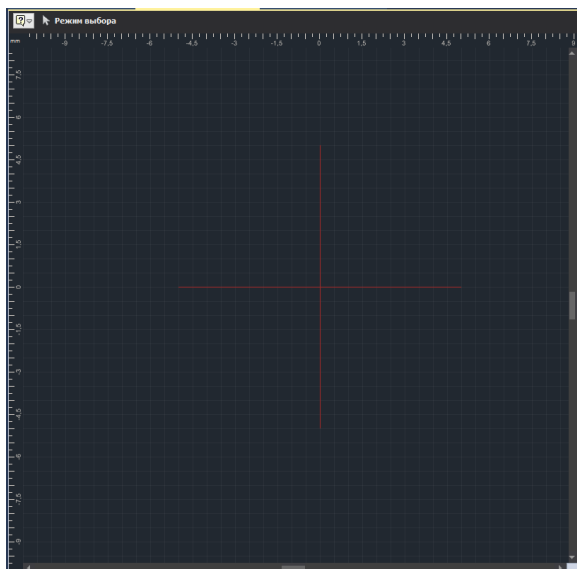


Рис. 3.

Информация о печатной плате отображается в редакторе RightPCB™ на различных слоях, Отображение слоев настраивается с помощью функциональной панели «Слой»,

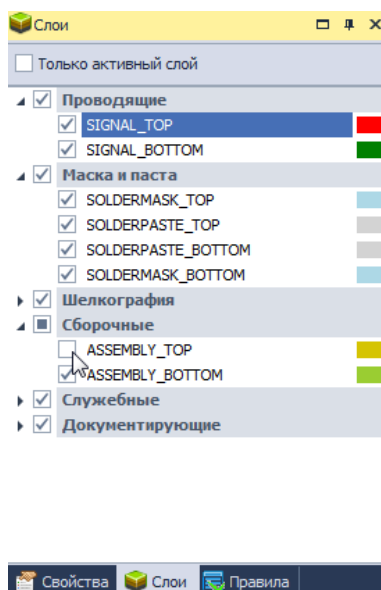


Рис. 4.

Редактор печатных плат позволяет выстроить работу с группами слоев так, что информация по определенным (требуемым) слоям будет отображаться в текущий момент, в то время как информация по другим слоям будет скрыта

Слой, с которым осуществляется работа в данный момент, называется активным слоем. Инструменты редактора, как правило, взаимодействуют только с теми объектами, которые расположены на активном слое

## 1. Создание границ платы

Границы платы задаются на слое «BOARD\_OUTLINE» с помощью инструментов графического редактора.

Чтобы задать границы платы необходимо:

1.1 Выбрать в редакторе плат «BOARD\_OUTLINE» в качестве активного слоя

1.2. Построить замкнутый контур платы, используя инструменты графического редактора

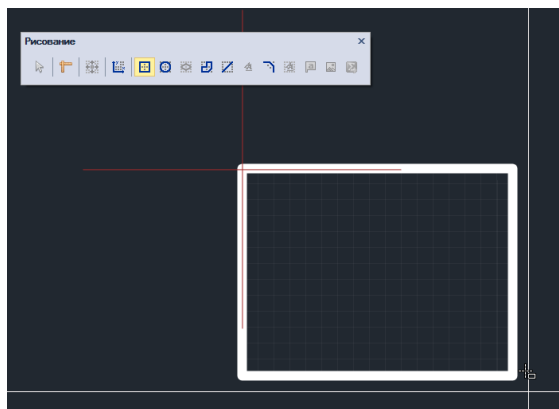


Рис. 5.

## Размещение объектов на плате

К объектам, которые размещаются в редакторе и непосредственно присутствуют на плате, относятся:

- Посадочные места компонентов (сокращенно компоненты);
- Треки (печатные проводники);
- Области металлизации;
- Переходные и монтажные отверстия, реперные точки;
- Элементы шелкографии;
- Паяльная маска (в редакторе отображаются вырезы в маске)

## 2. Размещение компонентов

2.1. Компоненты (радиодетали) размещаются на внешних слоях печатной платы в виде своих посадочных мест. Размещать компоненты можно в пределах границ платы, если они уже созданы, либо в любой точке, если границ еще нет.

Группа компонентов для размещения может быть выбрана непосредственно на электрической схеме. Для этого на схеме с помощью инструмента «Выбрать» нужно отметить необходимые компоненты, вызвать контекстное меню и выполнить команду группового размещения «Разместить

в области на плате», см. Рис. 6

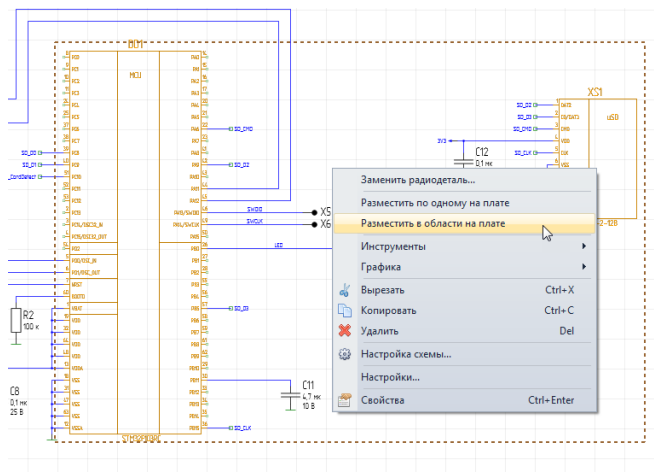


Рис. 6.

2.2. В процессе размещения компонентов их посадочные места могут быть перенесены на другую сторону платы и/или повернуты. Для этого необходимо вызвать контекстное меню и выбрать один из пунктов «Перенести на другую сторону» («Повернуть против часовой стрелки», «Повернуть по часовой стрелке»),

2.3. При размещении компонентов рекомендуется включить для отображения в редакторе слой «NETLINES» (линии соединения), для примерной оценки длины будущих соединений между контактными площадками посадочных мест различных компонентов.

### 3. Размещение регионов

3.1. Регионы – это выделенные зоны на плате, которые позволяют локально изменять правила проектирования и/или запрещать размещение объектов.

3.2 Регионы размещаются на плате с помощью инструмента «Разместить регион», который обозначается кнопкой , расположенной на панели инструментов «Плата». Выбрать слой, на котором будет размещен регион. Это делается с помощью пункта «Слой» в панели «Свойства».

### 4. Размещение переходных отверстий

4.1 Типы переходных отверстий (далее - ПО), используемых в проекте,

задаются в редакторе слоев.

4.1. Во время размещения трека (печатного проводника) редактор позволяет перейти на другой слой платы с автоматической установкой ПО. Чтобы разместить на плате переходное отверстие, необходимо:

а. Вызвать инструмент «Разместить переходное отверстие», который

обозначается значком на панели инструментов «Плата», также инструмент доступен в разделе «Разместить» главного меню и в пункте «Инструменты» в контекстном меню

б. . Выбрать стиль ПО в панели «Свойства» (панель «Свойства» -> раздел «Общие» -> пункт «Стиль VIA»),

в. Перевести курсор в нужную точку рабочей области редактора и нажать левую кнопку мыши. Переходное отверстие будет размещено в указанной точке

г. Для того чтобы ПО можно было размещать непосредственно на КП (контактной площадке), необходимо включить это разрешение в Правилах трассировки.

#### 5. Размещение монтажных отверстий

##### 5.1. Чтобы разместить монтажное отверстие, необходимо:


Вызвать инструмент «Разместить монтажное отверстие», который обозначается значком на панели инструментов «Плата», а также доступен в пункте «Инструменты» в контекстном меню и в разделе «Разместить» главного меню. Выбрать тип монтажного отверстия в окне «Выбор контактной площадки» и нажать кнопку «Выбор». В окне отображаются монтажные отверстия, созданные во всех доступных библиотеках. Перевести курсор в нужную точку рабочей области редактора и нажать левую кнопку мыши. Монтажное отверстие будет размещено.

#### 6. Размещение реперных точек

6.1. Реперная точка – это открытая, контактная площадка, у которой отсутствует подключение к какой-либо цепи. Реперные точки служат для позиционирования оборудования автоматизированных линий производства печатных плат.

##### 6.2. Чтобы разместить реперную точку, необходимо:

Чтобы разместить реперную точку, необходимо:

Вызвать инструмент «Разместить реперную точку», который обозначается значком  на панели инструментов «Плата», а также доступен в пункте «Инструменты» в контекстном меню и в разделе «Разместить» главного меню.

Выбрать тип реперной точки в окне «Выбор контактной площадки» и нажать кнопку «Выбор».

#### 7. Трассировка платы .

##### 7.1. Процесс проектирования электронных устройств в системе Delta Design

основан на создании списка соединений (нетлиста) – списка, который указывает последовательность соединения контактов компонентов электрическими цепями. Нетлист формируется автоматически в процессе создания электрической схемы проектируемого устройства.

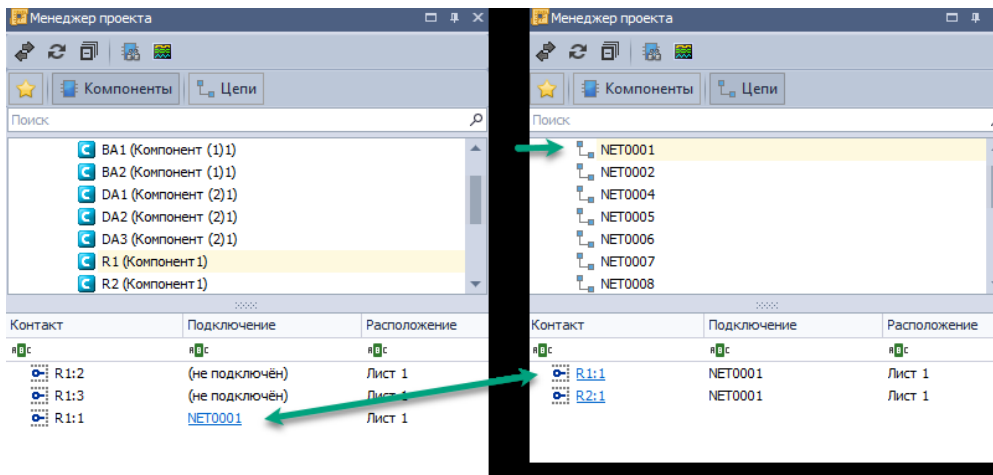


Рис.7 Список соединений (нетлист) в системе Delta Desig

7.2. Построения проводящего рисунка печатной платы осуществляется в строгом соответствии со списком соединений, который был сформирован на этапе проектирования электрической схемы. В общем случае система не позволяет проложить треки таким образом, чтобы это противоречило нетлисту

7.3. Контактные площадки, между которыми необходимо проложить треки, связаны между собой линиями соединения, которые показаны темно-оранжевым цветом на Рис. 8

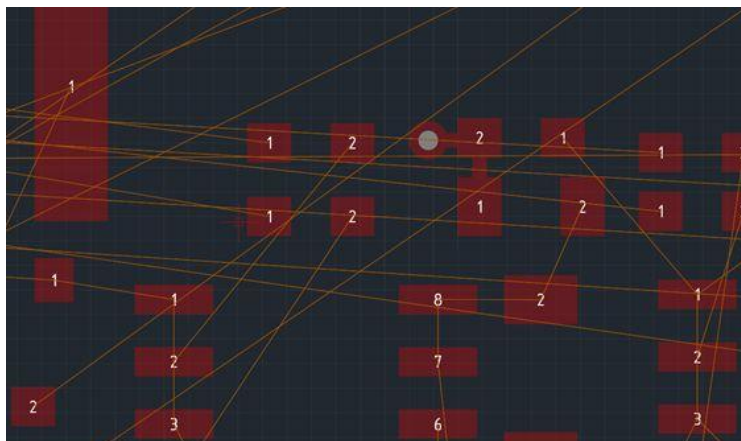


Рис. 8 Линии соединения

7.4. Конструктор может предопределять различные параметры трека с помощью Редактора правил. При разработке печатных плат разработчик может задавать для параметров треков любые значения.

В системе Delta Design используются следующие предопределяемые параметры треков:

- ширина трека номинальная ( $W_{nv}$ ) – типовая ширина печатного проводника, используемая для размещения трассы. При первом старте размещения конкретного проводника система будет предлагать использовать данное значение.

- ширина трека минимальная ( $W_m$ ) – типовое нижнее ограничение ширины проводника. Данный параметр указывает минимальную ширину проводника, которая может быть использована без дополнительных проверок параметр заужения: минимальная ширина трека в зауженном режиме ( $W_n$ ) – минимальное значение, которое может принимать ширина трека для преодоления какого-либо препятствия. Длина участков трека с использованием данного значения ширины ограничена.
- параметр заужения: общая длина зауженных участков у данной цепи ( $\Sigma(L_n)$ ) и максимальная длина единичного зауженного участка ( $L_n$ ).

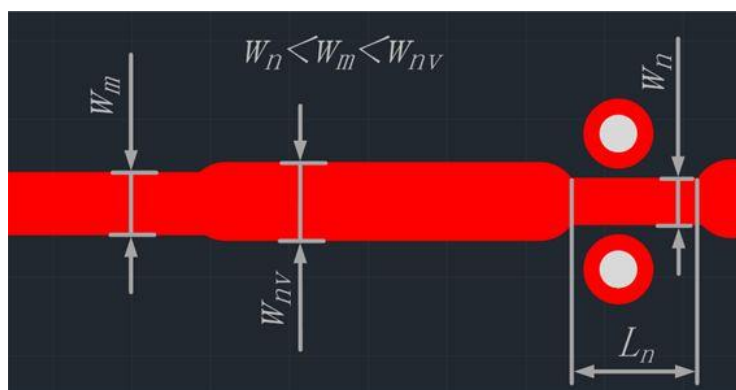



Рис. 9.

#### 7.5. Размещение треков

Размещение треков (печатных проводников) на проектируемой плате осуществляется с помощью инструмента «Разместить трек», который отмечен значком  на панели инструментов «Плата», доступен из раздела «Разместить» главного меню, либо в пункте «Инструменты» контекстном меню.

После того, как инструмент «Разместить трек» выбран, курсор в рабочей области изменит свой вид. Текущее положение курсора дополнительно отмечается вертикальной и горизонтальной линиями, образующими крест.

Выбрав точку для начала размещения трека, нажмите левую кнопку мыши - размещение трека начнется с указанной точки. Далее, отключится отображение всех линий соединения, кроме той, что показывает место окончания трека. Кроме того, место окончания трека (контактная площадка) и сама линия связи будут дополнительно подсвечены

В самом простом случае для размещения трека необходимо привести курсор на контактную площадку, к которой должен быть подключен начатый трек и нажать левую кнопку мыши, затем привести курсор на контактную площадку, к которой он должен быть подведен и снова нажать левую кнопку мыши – трек будет проложен, см. Рис. 10.



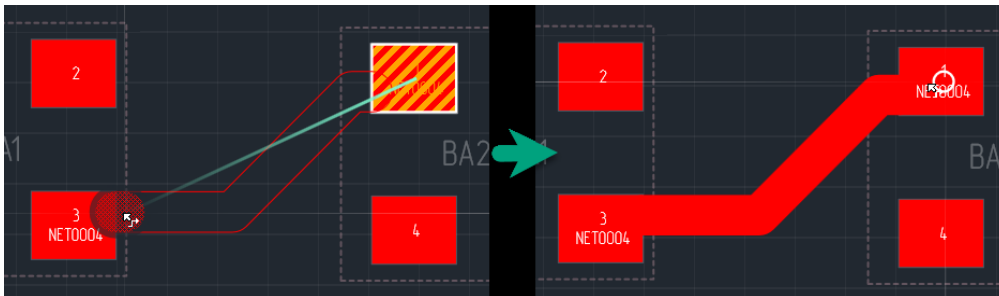


Рис. 10 Размещение трека

Для того чтобы осуществить переход на другой слой, необходимо:

1. Начать либо продолжить размещение трека.
2. Вызвать с помощью контекстного меню команду «На слой выше»

или


«На слой ниже», в зависимости от взаимного расположения слоев, между которыми требуется осуществить переход,

Выбрать точку, в которой необходимо разместить переход, Авто-трассировщик продолжает трек с последнего зафиксированного участка до перехода. На экране будет отображен возможный вид трека

## 8. Проверка правил проектирования

8.1. Эффективное проектирование печатной платы невозможно без проверок соответствия между проводящим рисунком и заданными правилами проектирования.

В системе Delta Design каждый разработчик может сформировать собственный набор правил, выполнение которых будет контролироваться в процессе проектирования

8.2. Для того чтобы выполнить общую проверку платы, необходимо на панели инструментов «Общие» нажать значок , по умолчанию данный инструмент вызывает запуск общей проверки платы.

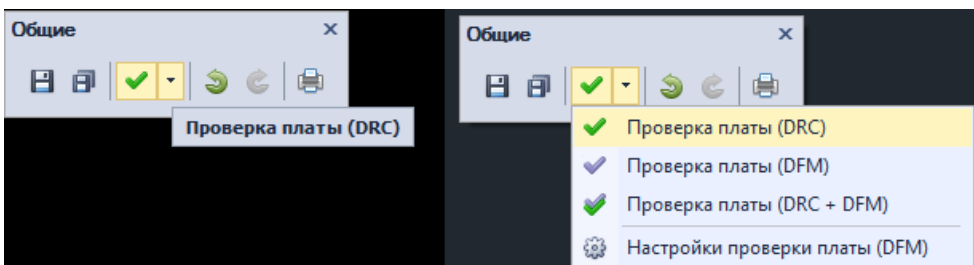


Рис. 11 Запуск DRC-проверки платы

При обнаружении нарушений правил проектирования, они будут отображены с пояснениями в панели «Список ошибок».

## 9. 3D модель платы

9.1 В системе Delta Design реализована возможность просмотра платы с размещенными компонентами в виде 3D модели.

3D модель платы вызывается в панели «Проекты» -> пункт «Документы» -> вызов контекстного меню на узле «Плата» -> пункт «Открыть 3D модель», см.

## 5. Задание:

1. Выполнить трассировку и создать топологию платы схем, представленных ниже.

## 7. Содержание отчета:

# Практическое занятие № 48 Проектирование плат в режиме автотрассировщика TopoR программы Delta Design

## 1. Цель занятия:

Получить практические навыки создания и проектирования печатной платы в программе **Delta Design**

## 2. Время выполнения работы – 2 часа

## 3. Оборудование и программное обеспечение

1 Персональный компьютер

2 Программа **Delta Design**

## 4. Краткие теоретические сведения

Систем Delta Design обеспечивает автоматизированное проектирование конструкций однослойных, двухслойных и многослойных печатных плат, с двусторонней установкой электронных компонентов с планарными и штыревыми выводами.

Структура слоев печатной платы изначально формируется при создании проекта на основе заданного шаблона слоев. Впоследствии, состав слоев может быть изменен на любом этапе проектирования платы.

Основная часть работ по проектированию платы выполняется в редакторе печатных плат RightPCB™. Редактор позволяет в интерактивном режиме размещать компоненты, формировать и проверять корректность проводящего рисунка печатной платы на соответствие установленным правилам проектирования, учитывая регионы изменения правил

## 4. Порядок выполнения работы

Перед началом работы в редакторе необходимо выполнить настройки

### 1. Общие

Окно редактора плат имеет вкладку «Общие» для установки общих настроек по редактированию плат

## 2. Трассировка

Окно редактора плат имеет вкладку «Трассировка» для установки настроек по прокладке трекков на плате

### 3 Слои печатной платы

Для настройки слоев печатной платы в системе Delta Design предусмотрен специализированный Редактор слоев платы, который вызывается из дерева проекта с помощью контекстного меню узла «Плата» Работа со слоями печатной платы выполняется в отдельном окне, общий вид которого представлен на Рис 1

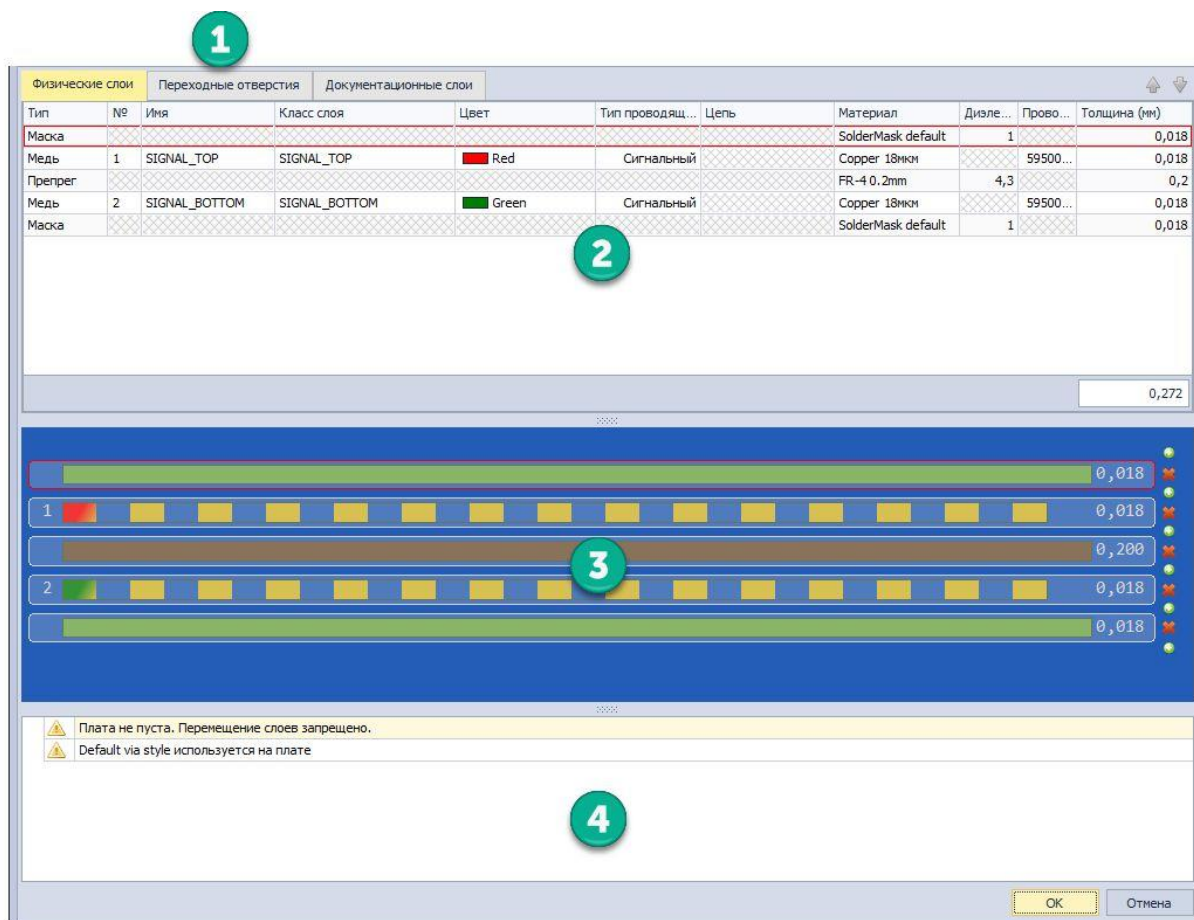


Рис 1

Цифрами на рисунке цифрами обозначены следующие элементы окна редактора:

- 1 - Вкладки – переключение типов данных в рабочей области.
- 2 - Таблица свойств – отображение детальной информации о слоях и межслойных переходах.
- 3 - Интерактивная схема структуры слоев – создание слоев печатной платы и межслойных переходов.

4 - Информационная область – вывод информационных сообщений о работе редактора слоев.

К доступным слоям и группам относятся:

- Медь – проводящий слой, обычно представлен в виде металла (фольги);
- Препрег – диэлектрический слой;
- Медь+Препрег – пара слоев: проводящий и диэлектрический;
- Основа – единая группа из трех слоев: проводящий, диэлектрический и проводящий (выполнена в виде единого комбинированного материала);
- РСС – цельная группа из двух слоев: диэлектрического и проводящего. РСС – это комбинированный материал (проводящая фольга, нанесенная на полимерно-эпоксидную подложку);
- Маска – защитная паяльная маска.

Определение переходных отверстий

Определения типов переходных отверстий, выполняется на вкладке «Переходные отверстия» редактора слоев платы. В верхней части рабочей области расположена таблица редактирования свойств переходных отверстий,

в нижней части их интерактивное схематическое изображение, см. Рис. 2.



Рис. 2.

Работа с печатными платами осуществляется с помощью редактора печатных плат RightPCB™, вызов которого возможен из узла «Документы» - > пункт «Плата», входящего в состав проекта. Редактор вызывается как с помощью пункта «Открыть...» контекстного меню, либо с помощью двойного нажатия по пункту «Плата».

Общий вид окна редактора показан на Рис. 3. Рабочее поле редактора связано с системой координат.

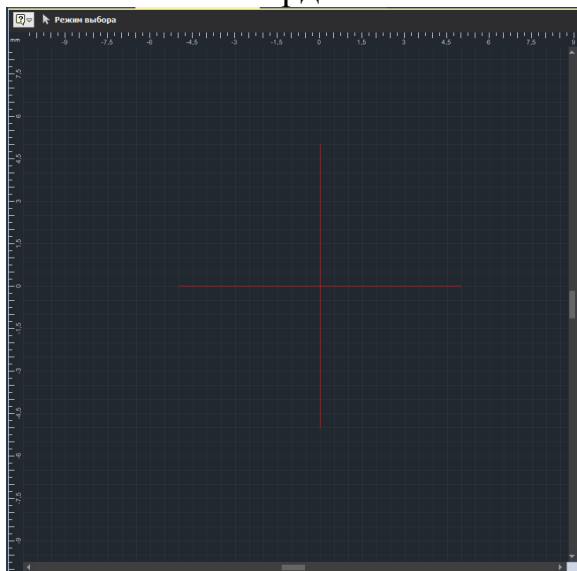


Рис. 3.

Информация о печатной плате отображается в редакторе RightPCB™ на различных слоях, Отображение слоев настраивается с помощью функциональной панели «Слой»,

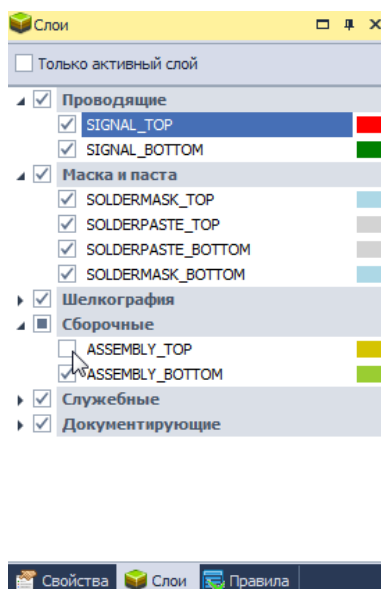


Рис. 4.

Редактор печатных плат позволяет выстроить работу с группами слоев так, что информация по определенным (требуемым) слоям будет отображаться в текущий момент, в то время как информация по другим слоям будет скрыта

Слой, с которым осуществляется работа в данный момент, называется активным слоем. Инструменты редактора, как правило, взаимодействуют только с теми объектами, которые расположены на активном слое

## 1. Создание границ платы

Границы платы задаются на слое «BOARD\_OUTLINE» с помощью инструментов графического редактора.

Чтобы задать границы платы необходимо:

1.1 Выбрать в редакторе плат «BOARD\_OUTLINE» в качестве активного слоя

1.2. Построить замкнутый контур платы, используя инструменты графического редактора

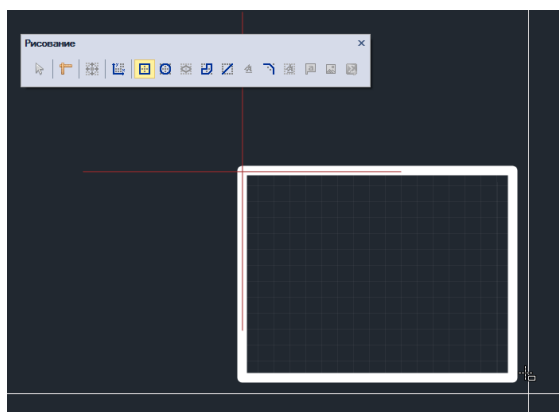


Рис. 5.

## Размещение объектов на плате

К объектам, которые размещаются в редакторе и непосредственно присутствуют на плате, относятся:

- Посадочные места компонентов (сокращенно компоненты);
- Треки (печатные проводники);
- Области металлизации;
- Переходные и монтажные отверстия, реперные точки;
- Элементы шелкографии;
- Паяльная маска (в редакторе отображаются вырезы в маске)

## 2. Размещение компонентов

2.1. Компоненты (радиодетали) размещаются на внешних слоях печатной платы в виде своих посадочных мест. Размещать компоненты можно в пределах границ платы, если они уже созданы, либо в любой точке, если границ еще нет.

Группа компонентов для размещения может быть выбрана непосредственно на электрической схеме. Для этого на схеме с помощью инструмента «Выбрать» нужно отметить необходимые компоненты, вызвать контекстное меню и выполнить команду группового размещения «Разместить в области на плате», см. Рис. 6

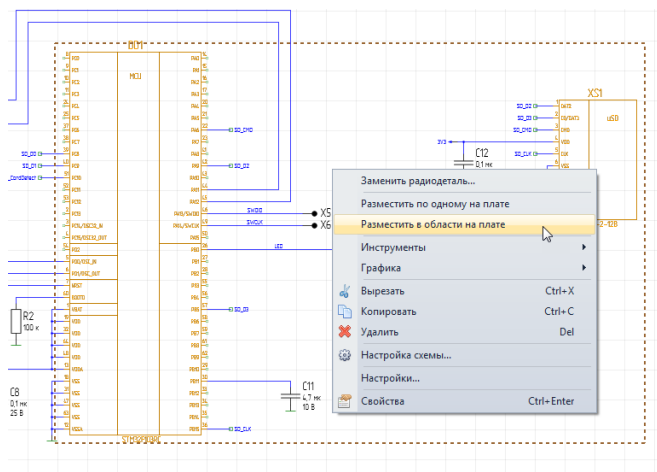


Рис. 6.

2.2. В процессе размещения компонентов их посадочные места могут быть перенесены на другую сторону платы и/или повернуты. Для этого необходимо вызвать контекстное меню и выбрать один из пунктов «Перенести на другую сторону» («Повернуть против часовой стрелки», «Повернуть по часовой стрелке»),

2.3. При размещении компонентов рекомендуется включить для отображения в редакторе слой «NETLINES» (линии соединения), для примерной оценки длины будущих соединений между контактными площадками посадочных мест различных компонентов.

### 3. Размещение регионов

3.1. Регионы – это выделенные зоны на плате, которые позволяют локально изменять правила проектирования и/или запрещать размещение объектов.

3.2 Регионы размещаются на плате с помощью инструмента «Разместить регион», который обозначается кнопкой , расположенной на панели инструментов «Плата». Выбрать слой, на котором будет размещен регион. Это делается с помощью пункта «Слой» в панели «Свойства».

### 4. Размещение переходных отверстий

4.1 Типы переходных отверстий (далее - ПО), используемых в проекте,

задаются в редакторе слоев.

4.1. Во время размещения трека (печатного проводника) редактор позволяет перейти на другой слой платы с автоматической установкой ПО. Чтобы разместить на плате переходное отверстие, необходимо:

а. Вызвать инструмент «Разместить переходное отверстие», который обозначается значком на панели инструментов «Плата», также инструмент доступен в разделе «Разместить» главного меню и в пункте «Инструменты» в контекстном меню

б. . Выбрать стиль ПО в панели «Свойства» (панель «Свойства» -> раздел «Общие» -> пункт «Стиль VIA»),

в. Перевести курсор в нужную точку рабочей области редактора и нажать левую кнопку мыши. Переходное отверстие будет размещено в указанной точке

г. Для того чтобы ПО можно было размещать непосредственно на КП (контактной площадке), необходимо включить это разрешение в Правилах трассировки.

5. Размещение монтажных отверстий

5.1. Чтобы разместить монтажное отверстие, необходимо:


Вызвать инструмент «Разместить монтажное отверстие», который обозначается значком на панели инструментов «Плата», а также доступен в пункте «Инструменты» в контекстном меню и в разделе «Разместить» главного меню. Выбрать тип монтажного отверстия в окне «Выбор контактной площадки» и нажать кнопку «Выбор». В окне отображаются монтажные отверстия, созданные во всех доступных библиотеках. Перевести курсор в нужную точку рабочей области редактора и нажать левую кнопку мыши. Монтажное отверстие будет размещено.

6. Размещение реперных точек

6.1. Реперная точка – это открытая, контактная площадка, у которой отсутствует подключение к какой-либо цепи. Реперные точки служат для позиционирования оборудования автоматизированных линий производства печатных плат.

6.2. Чтобы разместить реперную точку, необходимо:

Чтобы разместить реперную точку, необходимо:

Вызвать инструмент «Разместить реперную точку», который обозначается значком  на панели инструментов «Плата», а также доступен в пункте «Инструменты» в контекстном меню и в разделе «Разместить» главного меню.

Выбрать тип реперной точки в окне «Выбор контактной площадки» и нажать кнопку «Выбор».

7. Трассировка платы .



## 7.1. Работа в режиме автотрассировщика ТороR

7.2.1. Переключение между режимами трассировки RightPCB и ТороR происходит из панели инструментов «RightPCB/ТороR», см. Рис. 7

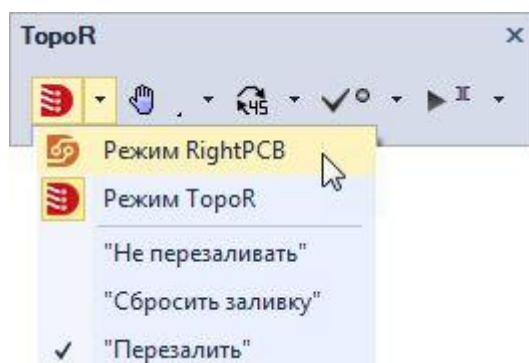


Рис. 7 Переключение между режимами Трассировки

После включение режима трассировки ТороR, при открытом документе плата, происходит автоматическая DRC-проверка платы (ТороR). По завершению синхронизации, все ошибки откроются в окне «Список ошибок».

Перечень доступных с платой действий отображается в разделе ТороR главного меню, Рис. 8.

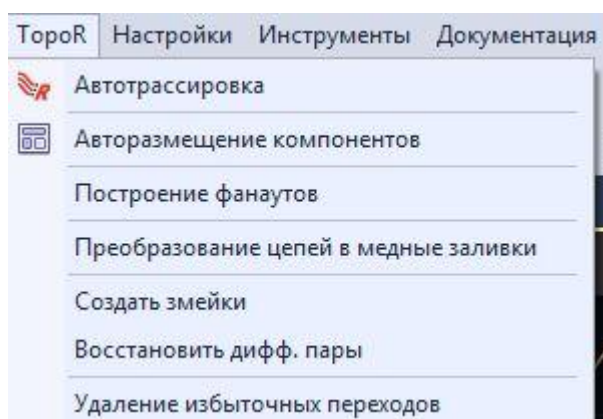


Рис. 8 Доступные из главного меню функции в режиме ТороR

### 5. Задание:

1. Выполнить трассировку и создать топологию платы схем, представленных ниже **в режиме автотрассировщика ТороR**

### 7. Содержание отчета:

- 1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

## Практическое занятие № 49

### Оформление чертежа печатной платы. Создание *Gerber* файла для передачи платы в производство

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа NI Utiboard
3. Программа Multisim 11

#### 4. Краткие теоретические сведения

Оформление чертежей печатных плат выполняется в соответствии с правилами и положениями, изложенными в ГОСТ 2.123—9 **Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.**

Номенклатура конструкторских документов на печатную плату (ПП) включает:

- чертеж ПП;
- сборочный чертеж;
- спецификацию;
- теоретический чертеж (геометрическая форма ПП и координаты расположения основных частей);
- габаритный чертеж (контурное изображение ПП с габаритными, установочными и присоединительными размерами) может быть совмещен с чертежом ПП;
- упаковочный чертеж;
- технические условия по ГОСТ 2.114—95 (см. п. 7.2.2);
- программу и методику испытаний по ГОСТ 2.106—96 (см. п. 5.11.1);
- таблицы для проверки монтажа и координат отверстий (вместо таблиц допускается включать в комплект КД на ГШ программы автоматизированного контроля ПП);
- расчеты (конструкторские и др.);
- инструкции;
- прочие документы;

Спецификация представляет собой таблицу, содержащую перечень всех

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 формата А4 (210×297 мм).

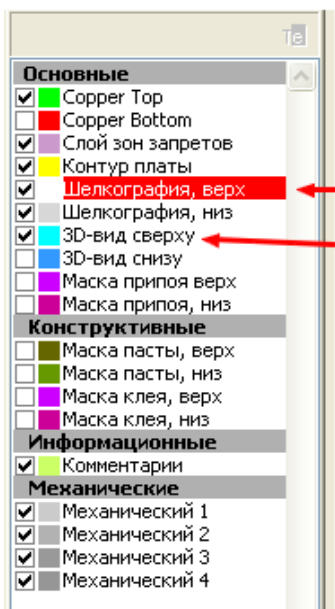
#### 5. Задание:

1. Оформить чертеж печатной платы и составить спецификации в программе Utiboard11

### 6. Порядок выполнения работы:

6.1. Открыть программу **Utiboard**. В программе открыть один из файлов с разведенной схемой (практическая № 22) по указанию преподавателя.

6.2. Открыть вкладку со слоями



6.3. Выбрать слои CopperTop и Шелкография низ, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 1).

6.4. Выбрать слои CopperBottom и Шелкография верх, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 2).

6.5. Выбрать слой Контур платы, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 2).

6.6. Открыть программу Multisim 11

6.7. Открыть схему электрическую принципиальную данной платы

6.8. Открыть в программе Multisim вкладку «Отчеты», выбрать пункт «спецификации». Сделать копию таблицы со спецификациями и поместить ее в бланк со штампом

### 7. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

### 8. Литература и средства обучения:

1 Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2018. – 488 с; ил.

2. Разработка печатных плат в NI Ultiboard: / Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2022. — 256 с.

### 3. ГОСТ 2.123—93 **Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании**

## **Практическое занятие № 50**

### **Разработка технического задания на проектирование цифрового устройства**

#### **1 Цель работы:**

Приобрести практические навыки в составлении технического задания(ТЗ) на печатную плату

#### **2. Время выполнения работы – 2 часа**

#### **3. Используемое оборудование и программное обеспечение**

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа NIUtiboard
3. Программа Multisim 11

#### **4. Краткие теоретические сведения**

Основным исходным документом для проектирования ПП является, техническое задание, которое разрабатывают на основе:

требований заказчика;

результатов НИР;

маркетинга;

анализа литературных и патентных исследований и др.

Техническое задание состоит из следующих разделов:

введение

основание для разработки;

источник разработки;

технические требования;

экономические показатели;

порядок испытаний

**ТЗ составляется по в следующем порядке:**

#### **Раздел 1 Введение**

Введение должно быть изложено в следующей редакции;

«настоящее ТЗ распространяется на разработку и испытание (наименование шифр разрабатываемого изделия), предназначенного для (назначение разрабатываемого изделия) и использования (наименование изделия, в составе которого может быть использовано разрабатываемое изделие и (или) краткая характеристика области его применения)».

## Раздел 2 Основание для разработки

Раздел «Основание для разработки» должен быть изложен в следующей редакции:

наименование и шифр разрабатываемого изделия) разрабатываю (полное наименование документов, на основами, которых разраба тывают изделие), утвержденного (наименование организации, утвер лившей документ и дата утверждения)

## Раздел 3 Источник разработки

В разделе «Источники разработки» указывают:  
перечень научно-исследовательских работ (НИР);  
наименование изделия-аналога.

## Раздел 4 Технические требования

### 4.1. Состав изделия;

В подразделе «Состав изделия» указывают:  
наименование и назначение составных частей основного я;  
требования к стандартным, унифицированным и заимствованнх!  
составным частям (включая покупные).

### 4.2 Технические параметры.

В подразделе «Технические параметры» приводят основные техниче ские показатели изделия, определяющие его целевое назначение, например точность;

Наименьшие номинальные значения основных параметров

для классов точности ПП

таблица 1

Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
$t$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$b$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
$\Delta t$ , мм (без покрытия)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03
$\Delta t$ , мм (с покрытием)	+0,25; - 0,20	+0,15; - 0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
$T_i$ , мм – ОПП, ДПП, МПП (наружный слой)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
$T_i$ , мм – МПП (внутренний слой)	0,30	0,15	0,10	0,08	0,05

электрическая прочность;  
сопротивление изоляции;  
потребляемая мощность;  
чувствительность;

производительность;  
требования к электропитанию;(например, напряжение питания и максимальный ток потребления);

частота и другие необходимые требования.

#### 4.3. Требования к надежности;

В подразделе «Требования к надежности» указывают значения показателей надежности: безотказности, долговечности и сохраняемости; требования к конструкции с позиции **надежности**.

4.4. Принцип работы; приводят краткое описание работы изделия.

4.5. программное обеспечение; указывают состав и общие требования к ПО, включая тестовые и диагностические программы.

#### 4.6. Конструктивные требования;

приводят конструктивные требования к изделию(например, конденсатор  $C$  \ устанавливать не далее 60 мм от ИМС... Конденсаторы  $C7, C8$  устанавливать непосредственно у разъема ЯЗ. Конденсаторы  $C9—C12$  — в непосредственной близости от ИМС. Установку резисторов  $RP1, RP3$  произвести с обеспечением регулировки в составе блока)

габариты и масса ориентировочно (если это возможно), например, габариты ПП 150 x 170 x 1,5 мм. Масса ПП уточняется при проектировании

дополнительные требования, если они имеются (например, материал ПП — стеклотекстолит фольгированный; ИМС установить на радиатор типа...; ИМС... расположить на ПП с учетом равномерного распределения тепла).

способы крепления в модулях более высокого конструктивного уровня;

#### 4.7. Условия эксплуатации;

указывают: допустимое воздействие климатических факторов (температуры, влажности, атмосферного давления, солнечной радиации, пыли и др.);

допустимое воздействие агрессивных сред;

допустимое воздействие радиоактивных излучений;

допустимое воздействие механических нагрузок (вибрационных, ударных, скручивающих и др.);

допустимое воздействие внешних полей и допустимые поля, создаваемые самим работающим изделием;

допустимый уровень шума, действующего на изделие и создаваемого самим изделием.

#### 4.8. Требования безопасности; излагают требования безопасности:

при монтаже;

при эксплуатации;

при обслуживании;

при ремонте

4.9. Требования к упаковке, маркировке, транспортировке и хранению; требования к маркировке, наносимой на изделие и тару, в которую должно

быть упаковано изделие (место и способ нанесения, содержание маркировки, требования к качеству ее исполнения);

условия транспортирования и виды транспортных средств

требования к необходимой защите от ударов при погрузке и выгрузке

4.10. Требования к патентной чистоте

**Раздел 5 Экономические показатели;** перечисляются экономические преимущества разрабатываемого изделия по сравнению с изделием-аналогом.

**Раздел 6 Порядок испытаний** указываются сроки и общие требования к проведению испытаний.

Перечень работ, представляемых исполнителем, форма их окончания и сроки исполнения .

Перечень и комплектность технической документации.

Количество экспериментальных образцов или макетов, предъявляемых по окончании работы.

Исходные материалы:

схема электрическая принципиальная устройства;

перечень элементов устройства и др.

Рекомендации по применению покупных нормализованных и заимствованных изделий.

## **5. Задание:**

1. Составить ТЗ на разработку печатной платы

## **6. Порядок выполнения работы:**

6.1. Открыть Приложение А, выбрать схему в соответствии со своим вариантом.

6.2. Составить техническое задание на разработку печатной платы выбранной схемы в соответствии с правилами , изложенными в п.3.

## **7. Содержание отчета:**

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненным заданием

## **8. Литература и средства обучения:**

8.1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

8.2 Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360

8.3 Методические указания для выполнения практического занятия

8.4. ГОСТ 2.123—93 Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.

## Практическое занятие № 51

### Разработка печатной платы цифрового устройства в соответствии с требованиями технического задания.

#### 1 Цель работы:

Получить навыки выполнения требований технического задания (ТЗ) на печатную плату и проверки разработанной печатной платы на соответствие требованиям технического задания(ТЗ).

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа NIUtiboard
3. Программа Multisim 11

#### 4. Краткие теоретические сведения

Для выполнения практической работы студентам необходимо объединиться в пары. Один из студентов выдает техническое задание на разработку печатной платы своему напарнику. Второй студент разрабатывает печатную плату в соответствии с требованиями технического задания. Разработанная печатная плата должна по всем пунктам соответствовать требованиям технического задания.

#### 5. Задание:

- 5.1. Выдать ТЗ на разработку печатной платы одного устройства
- 5.2.Выполнить разводку печатной платы в соответствии с требованиями технического задания
- 5.3. Проверить разработанную печатную плату на соответствие требованиям технического задания. (Работа выполняется в паре)

#### 6. Порядок выполнения работы:

- 6.1. Один из студентов пары выдает своему напарнику техническое задание на разработку печатной платы (техническое задание берется из практической № 24);
- 6.2.Второй студент выполняет трассировку печатной платы.
- 6.3.Первый студент проверяет разработанную плату на соответствие требованиям ТЗ
  - 6.3.1. Необходимо проверить размещение компонентов на плате.
  - 6.3.2 .Необходимо проверить величину зазоров между компонентами
  - 6.3.3 . Необходимо проверить все цепи на отсутствие ошибок.
  - 6.3.4. Необходимо проверить ширину информационных и силовых дорожек.
  - 6.3.5. Необходимо проверить выполняются ли тепловые режимы.



6.3.6. Необходимо проверить выполнение конструктивных требований (выбор слоев, количество переходных отверстий, наличие перемычек

6.3.7. Необходимо проверить соответствие размеров платы и ее формы требованиям ТЗ.

6.4. Первый студент в письменной форме делает заключение о соответствии разработанной платы всем требованиям ТЗ.

6.5. Студенты меняются ролями – второй студент из пары выдает свое ТЗ на разработку платы, первый выполняет трассировку, второй студент проверяет плату на соответствие ТЗ и делает письменное заключение

## **7. Содержание отчета:**

7.1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

## **7. Литература и средства обучения:**

1. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10:/Шестеркин А.Н.. Изд. ДМК-Пресс, 2018. — 360 с

2 Методические указания для выполнения практического занятия

2. Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2016. — 256 с.

3. ГОСТ 2.123—93 Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.

## Практическое занятие № 52

### Оформление чертежа печатной платы цифрового устройства и составление спецификаций в соответствии с ЕСКД.

#### 1 Цель работы:

Научиться оформлять чертежи печатной платы цифрового устройства и составлять спецификации

#### 2. Время выполнения работы – 2 часа

#### 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

- 1 Персональный компьютер
- 2 Программа NI Ultiboard
3. Справочники по радиокомпонентам.
4. Методические указания по выполнению практического занятия.
5. ГОСТы ЕСКД.
6. Печатная плата, разработанные в NI Ultiboard на практическом занятии № 51

#### 4. Краткие теоретические сведения

Плата печатная	—	деталь, представляющая собой изоляционное основание с нанесенным на него печатным монтажом.
Печатный узел	—	сборочная единица представляет собой плату печатную с навесными ЭРИ, компонентами поверхностного монтажа и другими деталями, прошедшая этапы установки, сборки, пайки и защиты;
Печатный монтаж	—	это первый уровень в конструктивной иерархии. система печатных проводников, обеспечивающих электрические соединения элементов схемы; за один технологический цикл получают все соединения.

#### 4.1 Оформление чертежа ПП

4.1 Оформление чертежей печатных плат выполняется в соответствии с правилами и положениями, изложенными в ГОСТ 2.123—9 **Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.**

Номенклатура конструкторских документов на печатную плату (ПП) включает:

чертеж ПП;  
сборочный чертеж;  
спецификацию;  
теоретический чертеж (геометрическая форма ПП и координаты расположения основных частей);  
габаритный чертеж (контурное изображение ПП с габаритными, установочными и присоединительными размерами) может быть совмещен с чертежом ПП;  
упаковочный чертеж;  
технические условия по ГОСТ 2.114—95 (см. п. 7.2.2);  
программу и методику испытаний по ГОСТ 2.106—96 (см. п. 5.11.1);  
таблицы для проверки монтажа и координат отверстий (вместо таблиц допускается включать в комплект КД на ГШ программы автоматизированного контроля ПП);  
расчеты (конструкторские и др.);  
инструкции;  
прочие документы;

Спецификация представляет собой таблицу, содержащую перечень всех

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 формата А4 (210×297 мм).

## **4.2 Оформление чертежа ПП**

4.2.1 Чертеж ПП выполняется в масштабе 2:1 или 4:1

4.2.2 Чертеж ПП имеет координатную сетку. Номера координат нанести через один шаг или несколько, но не более пяти. За начало координат принимаем левый нижний угол платы.

4.2.3 Чертеж имеет наименование «Плата печатная» и обозначение РГКРИПТ.ХХХХХХ.ХХХ выполненное шрифтом 7 или 10 мм. Чертеж содержит основные проекции сторон платы с проводниками и отверстиями и вид сбоку.

4.2.4. На чертеже обозначаем крепежные отверстия диаметром 3,2 мм на расстоянии не менее 5 мм от края платы, находящиеся в узлах координатной сетки.

4.2.5. Размер платы поставить в чертеже с их предельными отклонениями h14

4.2.6. Основную надпись чертежа оформляем в соответствии с формой 1 ГОСТ 2.104-68 в графе 3 обозначаем материал детали (стеклотекстолит или гетинакс, его марку) и документ на поставку

4.2.7. В правом верхнем углу обозначаем шероховатость поверхностей ПП

4.2.8. Над основной надписью записываем технические требования, в которых указываем:

1. \*Размер для справок
2. Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79 группа жесткости
3. Класс точности.... ГОСТ 23751-86
4. Шаг координатной сети.... мм
5. Плату изготовить ..... методом  
.....

4.3. Сборочный чертеж печатного узла имеет обозначение с кодом СБ

4.3.1. Наименование изделия в основной надписи чертежа заканчивают кратко.

В наименовании, состоящем из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное в именительном падеже единственного числа

Наименование чертежа состоит из названия изделия и слов «Сборочный чертеж»

Сборочный чертеж должен содержать:

– изображение печатного узла, дающее представление о расположении и взаимной связи составляющих частей (ЭРИ, деталей крепления, теплоотводов, амортизаторов и т.д.) для осуществления сборки и контроля

– габаритные размеры изделия

– технические требования расположить над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм

– две проекции печатной платы с ЭРИ (вид сверху и сбоку) без изображения печатного монтажа

– условные позиционные обозначения элементов на ЭРИ или рядом с ними, номера контактов

– на виде сверху нанести сокращенные условные обозначения элементов и обозначить отверстия для крепления платы

– вторую проекцию печатного узла показать справа или снизу, обозначив штрих - пунктирной линией контур по наибольшему размеру ЭРИ

– номера позиций составных частей (ЭРИ) в соответствии со спецификацией

Номера позиций наносят на полях линий – выносок, расположенных параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения платы, на одной линии. Размер шрифта номеров позиций должен быть на один – два номера больше, чем номер шрифта для размерных чисел.

Требования к формовке выводов и установке ИЭТ (ЭРИ) на печатные платы

Установку и формовку выводов ИЭТ производить по ГОСТ 29137-91, при этом надо указать шаг координатной сетки.

Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места изгиба при формовке выводов  $l_0$  в мм

- для резисторов и конденсаторов ..... 0,5
  - для микросхем и др. ИЭТ в корпусах типа 4 по ГОСТ 17467 ..... 1,0
  - для полупроводниковых приборов ..... 2,0
  - для дросселей ..... 3,5
- если в ТУ на конкретный ИЭТ (ЭРИ) не указана другая величина

Минимальный внутренний радиус изгиба выводов R в мм:

- для выводов диаметром или толщиной до 0,5 мм вкл ..... 0,5
- для выводов диаметром или толщиной св. 0,5 мм до 1,0 вкл ..... 1,0
- для выводов диаметром или толщиной свыше 1,0 ..... 1,5

Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места пайки – 2,5 мм, если в ТУ на ИЭТ (ЭРИ) не указана другая величина

Для обозначения варианта формовки выводов и установки ИЭТ на печатные платы ГОСТ 29137-91 устанавливает следующую структуру условных обозначений:

	<u>XXX.</u>	<u>XX.</u>	<u>XXXX.</u>	<u>XX.</u>	<u>XX</u>
<b>Обозначение варианта формовки и установки</b>					
<b>Номер чертежа</b>					
<b>Шифр позиции ИЭТ</b>					
<b>Глубина формовки H</b>					
<b>Наличие дополнительной формовки</b>					

Необходимость использования дополнительного крепления обозначают третьим знаком кода обозначения варианта формовки и установки:

«0» - крепление не используется

«1» - крепление используется

Наличие дополнительной формовки устанавливается кодами:

«01» - формовка зиг

«02» - формовка зиг – замок

«03» - формовка замок

Зиг – форма вывода, ИЭТ, предназначенная для обеспечения гаранти-

рованного зазора между корпусом ИЭТ и печатной платы

Замок – форма вывода, предназначенная для крепления ИЭТ на плате с целью обеспечения возможности групповой пайки

Зиг – замок – форма вывода ИЭТ, включающая зиг и замок.

В случае отсутствия каких – либо показателей при обозначении ИЭТ в структуре условных обозначений вместо цифр записываем нули.

Пример условного обозначения варианта формовки выводов и установки резистора, соответствующего исполнению 14 с длиной корпуса 10,8 мм при использовании зиг – замка: 140.02.0203.00.02

Пример записи вариантов формовки выводов и установки ИЭТ согласно спецификации поз.1.

Установку ИЭТ производить по ГОСТ 29137-91

поз.1 – вариант 140.02.0203.00.

Сборочный чертеж должен содержать технические требования(ЕЕ)

Постоянные пункты технических требований на сборочные чертежи следующие:

1. \* Размеры для справок.
2. Паять ПОС—61 ГОСТ 21931—76.
3. Установку элементов производить по ГОСТ 29137—91 и ОСТ4.010.030-81. Шаг координатной сетки..... мм.
4. Элементы установить:  
поз. 4...6, 33...43 по варианту II а; поз. 38...46 по варианту VIIа; поз. 51 — по варианту IXг; остальные — по чертежу.
5. Микросхемы ставить по ключу  
Микросхему DD.... ставить по варианту .....,  
микросхемы DD.... и DD....ставить по варианту.....
6. Детали поз. 25, элементы поз. 11, 12 ставить на клей ВК-9 ОСТ 4.ГО.029.204. Элемент ДД1 установить в розетку поз. 27.
7. Высота выступающих концов выводов 0,5...1,5 мм.
8. Высота установки элементов над платой не более 27 мм.
9. На конденсатор С21 надеть трубку поз. 42.
10. Деталь поз. 15 контрить эмалью ЭП-51 красной ОСТ 3-6326—87.
11. Плату покрыть лаком УР-231 ТУ6-10-863—84. Деталь поз. 2 резисторы RP1—RP6, внешние выводы 1—36 от покрытия предохранить.
12. Клеймить ОТК.
13. Печатные проводники и монтажные отверстия условно не показаны.
14. Заводской номер маркировать краской ЧМ, черный, ТУ029-02-859-78. Шрифт 2,5 по НО.010.007.
15. Остальные технические требования по ОСТ 4.ГО.070.015. Установочные и присоединительные размеры должны быть указаны

с предельными отклонениями. В электрических соединителях указывают количество контактных пар.

Основным конструкторским документом сборочного чертежа печатной платы является СПЕЦИФИКАЦИЯ.

Спецификация — основной конструкторский документ; составляют ее на отдельных листах форматом А4 (210 x 297 мм) на каждое специфицируемое изделие на формах 1 и 1а (ГОСТ 2.106 - 96) приложение А.

Если спецификация содержит всего лишь один лист, то в графе штампа «Листов» пишут 1, а в графе «Лист» ничего не указывают.

Спецификация - это текстовый документ, разбитый на графы (ГОСТ 2.105 — 95) и представляет собой таблицу, содержащую перечень всех составных частей, входящих в данное изделие, и конструкторских документов, относящихся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям (деталям, не имеющим составных частей).

Спецификация состоит из разделов, которые располагаются в такой последовательности:

- «Документация»;
- «Комплексы»;
- «Сборочные единицы»;
- «Детали»;
- «Стандартные изделия»;
- «Прочие изделия»;
- «Материалы»;
- «Комплекты».

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия.

В графе «Наименование» указывают раздел в виде заголовка, не нумеруя, строчными буквами (кроме первой прописной), шрифтом не менее 2,5 мм (лучше всего 5 мм) и подчеркивают тонкой линией.

Переносы слов в заголовке не допускаются.

Ниже каждого заголовка оставляется одна свободная строка, а выше - не менее одной свободной строки (можно несколько).

Документы внутри раздела записываются в графе «Обозначение» (десятичный № код).

Вид документа - в графе «Наименование».

Внутри раздела «Документация» записывают документы, составляющие основной комплекс КД (кроме спецификации и ведомости эксплуатационных и ремонтных документов) в следующей последовательности:

- Сборочный чертеж - СБ
- Габаритный чертеж - ГЧ
- Электромонтажный - МЭ
- Монтажный - МЧ
- Схемы электрические — Э1, Э2, Э3, ...

- Перечень элементов - ПЭЗ (всегда записывается после схемы ЭЗ)
- Пояснительная записка - ПЗ
- Технические условия — ТУ
- Программы и методика испытаний - ПМ
- Таблицы - ТБ
- Расчеты-РР

и т.д. (ГОСТ 2.102)

В разделе «Документация» указывают формат листов, на которых выполнен документ, а графы «Кол» и «Поз» не заполняют.

В разделе «Комплексы», «Сб.ед-цы» выносятся комплексы, сб. единицы, детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие.

В разделе «Детали» обычно указывают наименование — «Плата», ее обозначение, формат листов, на которых выполнен чертеж ПП, количество штук деталей. Здесь же аналогично указывают и другие детали, если таковые имеются.

В графе «Обозначение» запись рекомендуется производить в алфавитном порядке сочетания букв кодов организаций — разработчиков, а в пределах этих кодов - в порядке возрастания классификационной характеристики — по возрастанию порядкового регистрационного номера.

А разделе «Стандартные изделия» в графе «наименования» записывают изделия применяемые по стандартам в последовательности:

- межгосударственные;
- государственные;
- отраслевые;
- стандарты предприятия.

В пределах каждой категории стандартов запись производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (например: крепежные изделия, электротехнические и т.д.) В пределах каждой группы - по алфавиту, по возрастанию диаметра резьбы, по возрастанию номера ГОСТа и т. д. Сначала пишут обозначение, а затем номер ГОСТа. Например: Винт В.1,6-6 х 8.48.016 ГОСТ 17475—72.

Графу «Обозначение» — не заполняют.

В разделе «Прочие изделия» вносят изделия, применяемые по ТУ.

В графе «Наименование» запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению.

В пределах каждой группы - в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования - в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

Графу «Обозначение» — не заполняют.

Допускаются объединять «Стандартные изделия» и «Прочие изделия».

В разделе «Материалы», в графе «Наименование» вносят все материалы, непосредственно входящие в ходящие в специфицируемые изделие



и рекомендуется записывать в последовательности:

- металлы черные
- металлы магнитно-электрические и ферромагнитные
- металлы цветные, благородные, редкие
- кабели, провода, шнуры ...

В разделе «Материалы» не указывают припой, клей, лак и прочие материалы, количество или массу которых невозможно определить заранее конструктору, а устанавливают технологи. Указания о применении этих материалов дают в ТТ на чертеже.

Графу «Обозначение» - не заполняют.

В пределах каждого вида материала - в алфавитном порядке наименований.

В раздел «Комплекты» вносят:

- ведомость эксплуатационных документов;
- ведомость ремонтных документов;
- комплект монтажных частей;
- прочие комплекты;
- упаковка.

В графе «Формат» указывают форматы документов и чертежей деталей. Если документ (чертеж) выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют звездочку, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы.

Для деталей, на которые не выпущены чертежи - указывают БЧ (без чертежа).

Графу «Позиция» заполняет во всех разделах, кроме - «Документация», начиная номера с единицы, в порядке возрастания для каждого наименования. Рекомендуется пропускать несколько незаполненных (свободных) строк после каждой позиции для облегчения внесения изменений. Допускается пропускать несколько номер позиции, если есть незаполненные строки для них.

Все записи проводят на каждой строке в один ряд и ведут запись в нижней части поля строки, запись не должна сливаться с линиями.

Необходимо оставлять свободные строки между разделами.

Если в графе документа записан текст в несколько строк, то в последующих графах запись начинается на уровне первой строки.

При оформлении спецификации на ФУ ЭРИ записывают или в раздел «Стандартные изделия» и указывают ГОСТы на все ЭРИ и ПМК или в раздел «Прочие изделия», но тогда на все отечественные ЭРИ указывают ТУ, а на импортные ЭРИ и ПМК — фирму производителя.

Если по каким-либо причинам ни ТУ, ни фирма производитель указаны быть не могут, то целесообразно указать место, где данное ЭРИ можно приобрести (например, «Платан Компоненте» — сеть магазинов электронной техники). Второй вариант заполнения спецификации (с указанием

ТУ) встречается чаще и, по мнению специалистов, является предпочтительнее.

В том и другом случае спецификацию заполняют следующим образом:

- названия ЭРИ записывают в алфавитном порядке (Диоды полупроводниковые ... Резисторы ... Стабилитроны ... и т. д.);
- графы «Формат» и «Обозначение» не заполняют. Перед названием каждой группы оставляют по меньшей мере одну свободную строку. Внутри каждой группы ЭРИ или ПМК записывают либо в алфавитном порядке, либо по возрастанию номинала или номера ГОСТа, или ТУ;
- номер ГОСТа или ТУ на Резисторы, Транзисторы и другие ЭРИ, которые при разном номинале имеют одинаковое наименование и, соответственно, одинаковые ТУ или ГОСТ, можно записать вначале, т. е. до начала перечисления элементов сразу после названия группы.

Например, Резисторы

C2-33Н-0Д25 ОЖО.467.093 ТУ

C2-33Н-0.125 - 36 Ом + 10 %

C2-33Н-0,155 - 200 кОм + 10 % и т. д.

Желательно резервировать строки и позиции;

- в графе «Кол» указывают количество элементов с одинаковым номиналом или названием (например, для микросхем). Эти ЭРИ или ПМК имеют одну позицию, которую указывают в графе «Поз». На сборочном чертеже будет достаточно указать позицию одного из ЭРИ или ПМК, имеющих одинаковое позиционное обозначение;

- в графе «Примечание» указывают обозначение ЭРИ (ровно столько, сколько перечислено в одной строке).

- в названии группы сначала записывают имя существительное, а затем прилагательное

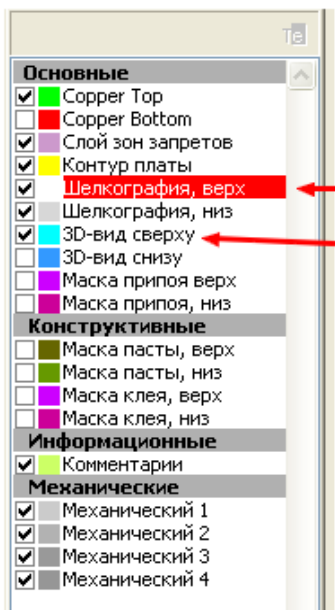
## **5. Задание:**

1. Оформить чертеж печатной платы и составить спецификации в программе Utiboard11

## **6. Порядок выполнения работы:**

6.1. Открыть программу **Utiboard**. В программе открыть один из файлов с разведенной схемой (практическая № 51) по указанию преподавателя.

6.2. Открыть вкладку со слоями



6.3. Выбрать слои CopperTop и Шелкография низ, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 1).

6.4. Выбрать слои CopperBottom и Шелкография верх, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 2).

6.5. Выбрать слой Контур платы, остальные все слои закрыть. Сделать копию рисунка платы и поместить в бланк со штампом (приложение 2).

6.6. Открыть программу Multisim 11

6.7. Открыть схему эклектической принципиальную данной платы

6.8. Открыть в программе Multisim вкладку «Отчеты», выбрать пункт «спецификации». Сделать копию таблицы со спецификациями и поместить ее в бланк со штампом

### 7. Содержание отчета:

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

### 8. Литература и средства обучения:

8.1. ГОСТ 2.123—93 Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.

## Практическое занятие № 53

### Расчет надежности схем цифровых устройств

#### 1 Цель работы:

Научиться рассчитывать надежность схем цифровых устройств

## 2. Время выполнения работы – 2 часа

## 3. Используемое оборудование и программное обеспечение

1 Персональный компьютер

2 Программа NIUtiboard

3. Программа Multisim 11

## 4. Краткие теоретические сведения

Надежность – одно из важнейших свойств электронных устройств, которое определяет их эксплуатационную пригодность.

Показатели надежности являются техническими параметрами изделия наряду с точностью, коэффициентом полезного действия, массо-габаритными характеристиками и пр.

Техническое задание на разработку любого изделия должно содержать раздел (подраздел) с требованиями по надежности.

Признаки, по которым оценивается надежность изделия, называются критериями. Основными критериями надежности являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Только все перечисленные критерии в совокупности могут дать полное представление о надежности изделия. Количественные характеристики определяются количественными значениями критериев надежности и называются показателями (см. таблицу 1).

**Таблица 1**

**Критерии и показатели надежности**

Критерии надежности	Показатели надежности
Безотказность	Вероятность безотказной работы Интенсивность отказов Наработка на отказ
Долговечность	Ресурс Срок службы
Ремонтпригодность	Среднее время восстановления Вероятность выполнения ремонта в заданное время Средняя стоимость технического обслуживания
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности проектируемого изделия по известным характеристикам надежности составляющих элементов конструкции и компонентов системы с учетом условий эксплуатации. В дальнейшем элементы конструкции и компоненты, рассматриваемые в теории надежности, будем называть элементами расчета надежности, или, коротко, элементами.

Основным показателем безотказности изделия является вероятность безотказной работы  $P(\varphi)$  – безразмерная

величина, зависящая от времени наработки  $\varphi$  и изменяющаяся в пределах от 0 до 1.

Понятие надежности связано с отказами . **Отказ – событие , заключающееся в нарушении работоспособности.**

При этом под работоспособностью понимают такое состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Для нерезервированных систем на основном временном участке работы, когда приработка изделия завершена и производственные дефекты , если такие выявились, устранены, а износ еще не наступил

$$P(\tau) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m (\lambda_i \tau)\right),$$

где:  $m$  – число элементов;  $\lambda_i$  - интенсивность отказа  $i$ -го элемента.

То есть, вероятность безотказной работы уменьшается во времени по экспоненциальному закону от значения 1. При этом интенсивность отказов системы

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i ,$$

а среднее время наработки до отказа

$$T = 1/\Lambda .$$

Расчет надежности электронного устройства по внезапным отказам

1. Определяются интенсивности отказов элементов и компонентов с учетом условий эксплуатации устройства по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{oi} K_1 K_2 K_3 K_4 a_i(t_K, K_H),$$

где

$\lambda$  - номинальная интенсивность отказов  $i$  – го элемента или компонента (элемента расчета надежности);

$K_1$  и  $K_2$  – поправочные коэффициенты на воздействие механических факторов;

$K_3$  – поправочный коэффициент на воздействие влажности  $K_4$  – поправочный коэффициент на давление воздуха;

$a_i(t_K, K_H)$  – поправочный коэффициент на температуру поверхности компонента

$K_H$  - коэффициент нагрузки

Значения номинальных интенсивностей отказов компонентов берутся из технических условий на данный компонент или из справочников, содержащих такие сведения.

Значения номинальных интенсивностей отказов основных компонентов приведены в Приложении А (см. таблицу 1).

Поправочные коэффициенты  $K_1 \dots K_4$  определяются по таблицам 4.2., 4.3., 4.4., помещенным в Приложении А

Поправочные коэффициенты

$$a_i(t_k, K_H),$$

определяются по графикам для основных групп компонентов, также приведенным в Приложении А (рис. 12., 3., 4., 5.)

Здесь важно правильно задаться температурой поверхности корпуса компонента. Определить значения температур  $t_k$  с достаточной степенью достоверности можно либо путем проведения полного теплового расчета, либо экспериментально на макете. Поскольку проведение таких расчетов и экспериментов не предусмотрено, то берем  $t_k=30$  при нормальных условиях.

Коэффициенты электрической нагрузки  $K_{Hi}$  компонентов

определяются отношением значения контролируемого параметра (тока, напряжения или мощности) рассматриваемого компонента к максимально возможному (допустимому) по техническим условиям значению этого параметра. В качестве контролируемого параметра для конкретного компонента берется тот, от которого в наибольшей степени зависит надежность

компонента. Контролируемые параметры и формулы вычисления коэффициентов нагрузки для основных электрорадиоизделий (ЭРИ) приведены в таблице 2,

Таблица 2

## Коэффициенты нагрузки компонентов

Компоненты	Контролируемые параметры	Коэффициент нагрузки $K_n$	Рекомендуемые значения в режимах	
			импульсный	статистический
Микросхемы	Входной ток микросхем, включенных на выходе, $I_{вх}$ Максимальный выходной ток $I_{вых\ max}$ Число нагруженных входов $n$	$\frac{\sum_{j=1}^n I_{вхj}}{I_{вых\ max}}$	0,5	0,3
Транзисторы	Мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_k$	$P_k / P_{k\ доп}$	0,5	0,2
Полупроводниковые диоды	Обратное напряжение $U_o$	$U_o / U_{o\ доп}$	0,5	0,2
Конденсаторы	Напряжение на обкладках $U$	$U / U_{доп}$	0,7	0,5
Резисторы	Рассеиваемая мощность $P$	$P / P_{доп}$	0,6	0,5
Трансформаторы	Ток нагрузки $I_n$	$I_n / I_{n\ доп}$	0,9	0,7
Электрические соединители	Ток $I_k$	$I_k / I_{k\ доп}$	0,8	0,5

**5. Задание:**

5.1. Выполнить расчет надежности электронного устройства по внезапным отказам для представленных схем (Приложение 2).

**6. Порядок выполнения работы:**

6.1. Открыть первую схему из приложения 2.

5.2. Определить интенсивности отказов каждого элемента

$$\lambda_i = \lambda_{oi} K_1 K_2 K_3 K_4 a_i(t_K, K_H),$$

5.3. Определить интенсивность отказов системы

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i,$$

5.4. Определить среднее время наработки на отказ

$$T = 1 / \Lambda.$$

5.5. Построить график вероятности безотказной работы от времени

$$P(\tau) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m (\lambda_i \tau)\right),$$

5.6. Повторить расчет надежности для остальных схем.

#### **6. Содержание отчета:**

1 Папка на рабочем столе ПК с выполненными заданиями

#### **7. Литература**

1 Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.; Издательский дом ДМК – пресс, 2008. – 488 с; ил.

2. Разработка печатных плат в NI Ultiboard:/Певницкий С. Изд. ДМК-Пресс, 2012. — 256 с.

3. ГОСТ 2.123—93 **Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.**



**Справочные данные для расчета надежности  
интенсивности отказов компонентов Таблица 1**

Компоненты	$\lambda_0 \times 10^6, 1/\text{ч}$
Микросхемы со средней степенью интеграции	0,013
Большие интегральные схемы	0,01
Транзисторы германиевые:	
до 2 мВт	0,4
до 20 мВт	0,7
до 200 мВт	0,6
свыше 200 мВт	1,91
Транзисторы кремниевые:	
до 150 мВт	0,84
до 1 мВт	0,5
до 4 мВт	0,74
Диоды германиевые	0,157
Диоды кремниевые	0,2
Конденсаторы:	
бумажные	0,05
керамические	0,15
слодяные	0,075
стеклянные	0,06
электролитические	0,035
воздушные переменные	0,034
Резисторы:	
композиционные	0,043
пленочные	0,03
проволочные	0,087
угольные	0,045
Трансформаторы:	
входные	1,09
выходные	0,09
звуковой частоты	0,02
высокочастотные	0,045
Трансформаторы питания	0,025
Автотрансформаторы	0,06
Дроссели	0,34
Катушки индуктивности	0,02
Обмотки электродвигателя	0,08
Реле	0,25n
Соединители	0.062n

гибкие	2,6
Предохранители	0,5
Выводы высокочастотные	2,63
Плата печатной схемы	0,7
Пайка монтажа:	
печатного	0,01
навесного	0,03
объемного	0,02
Микрофоны динамические	20
Громкоговорители динамические	4
Датчики оптические	4,7
Примечание: n – число контактов	

Таблица 2

### Коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация $K_1$	Ударные нагрузки $K_2$	Суммарные воздействия $K_\Sigma$
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица 3

### Коэффициенты влияния влажности

Влажность, %	Температура, °C	Поправочный коэффициент $K_3$
60...70	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

Таблица 4

### Коэффициенты влияния атмосферного давления

Давление кПа	Поправочный коэффициент $K_4$
0,1...1,3	1,45
1,3...2,4	1,40
2,4...4,4	1,36
4,4...12	1,35
12...24	1,3
24...32	1,25
32...42	1,2
42...50	1,16
50...65	1,14
65...80	1,1
80...100	1,0

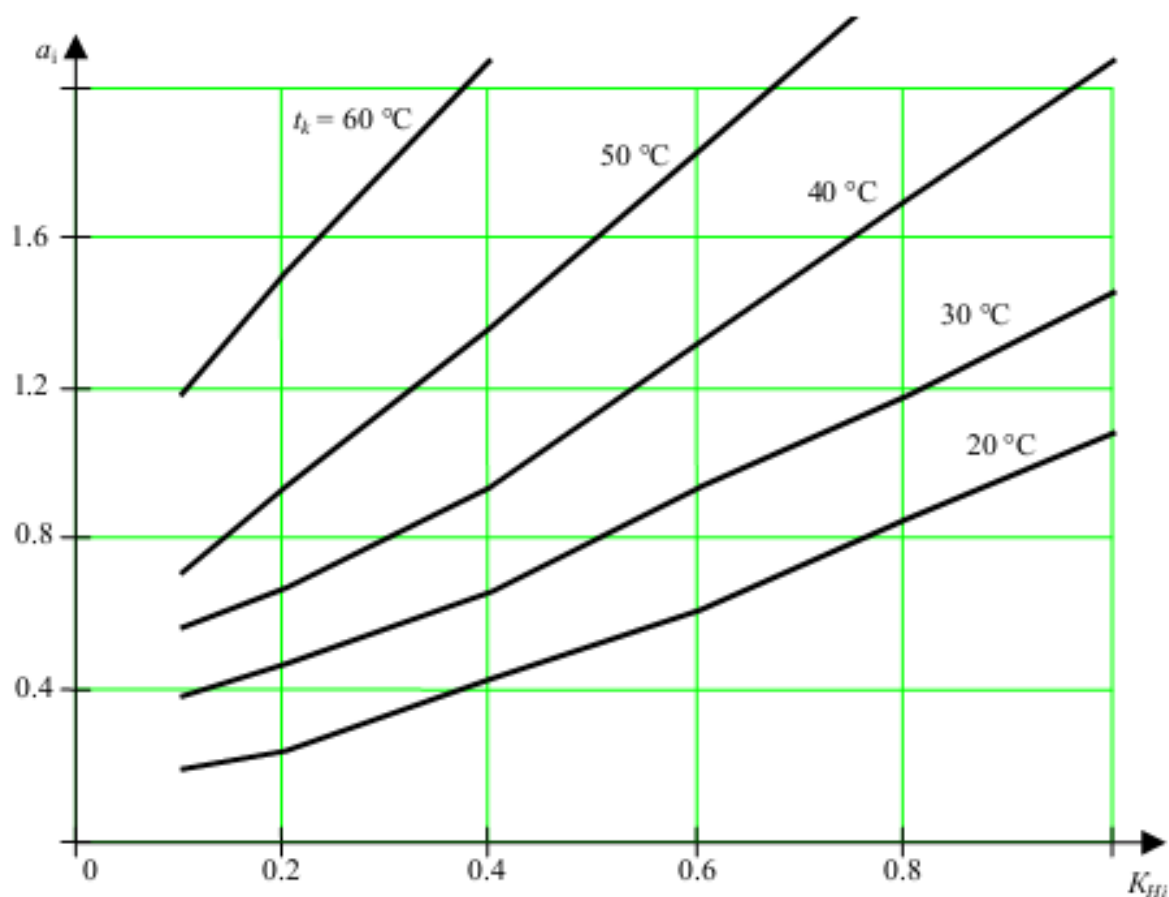


Рис. .1. Зависимость для транзисторов

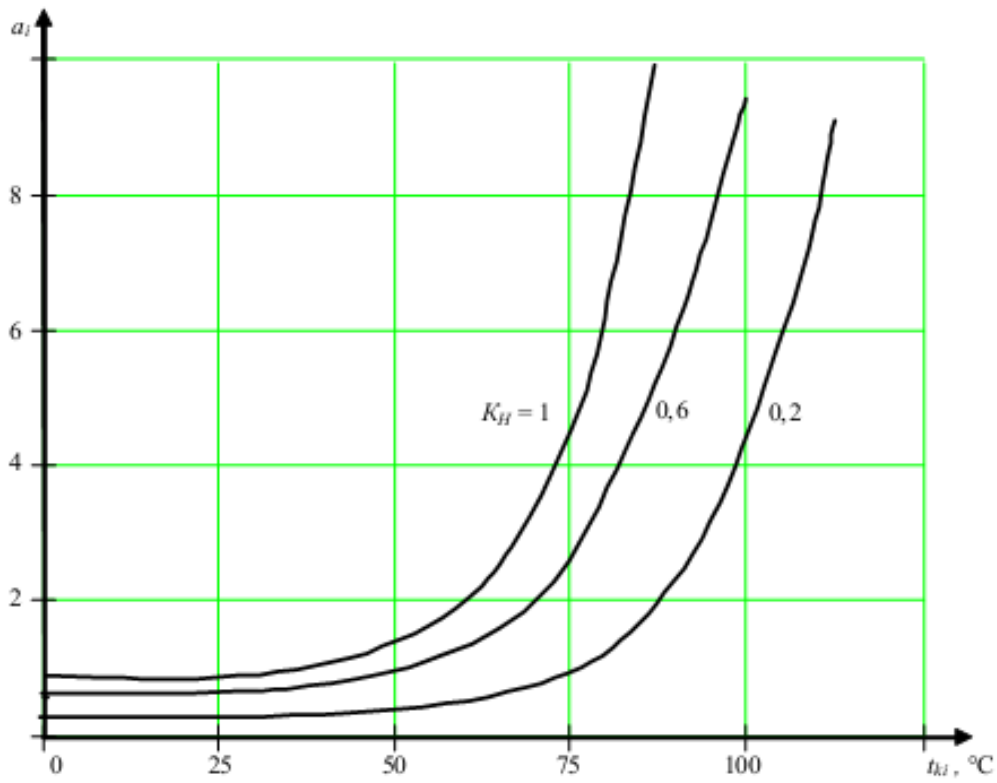


Рис. 2. Зависимость для полупроводниковых диодов

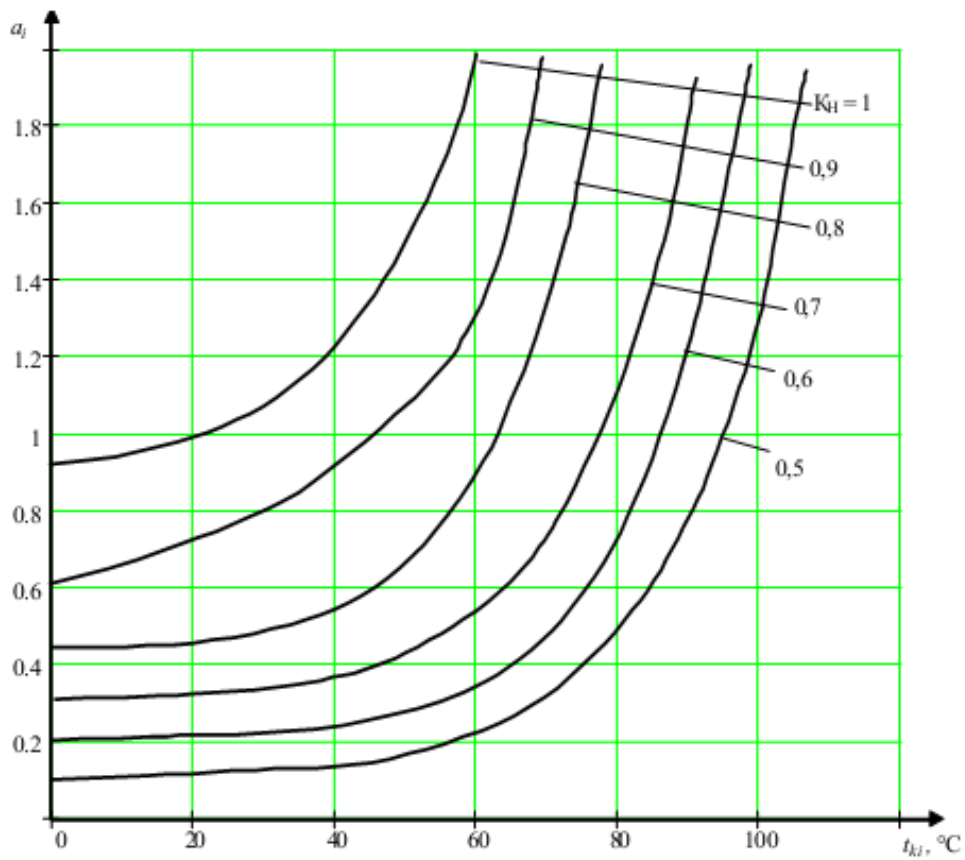


Рис. 3. Зависимость для конденсаторов

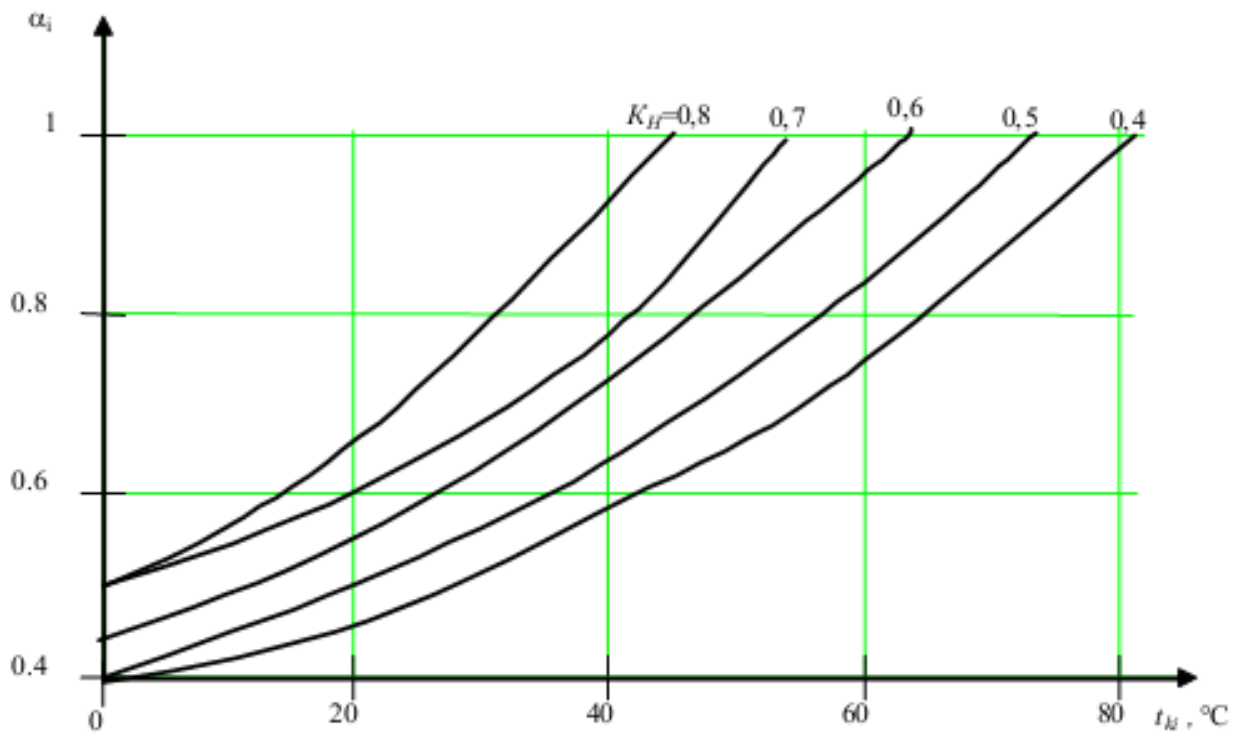


Рис. 4. Зависимость для резисторов ( $a_i < 1$ )

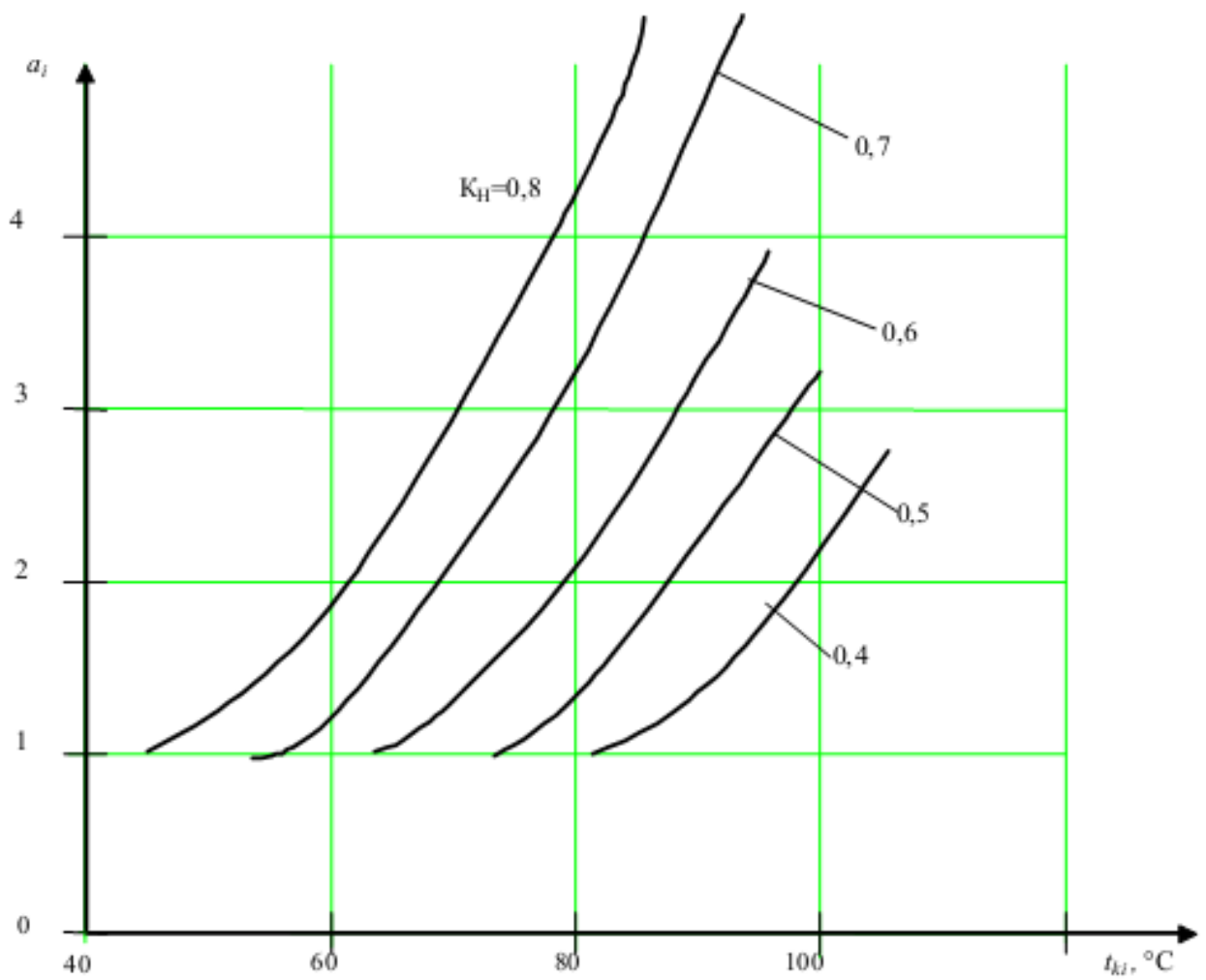


Рис. 5. Зависимость для резисторов ( $a_i > 1$ )

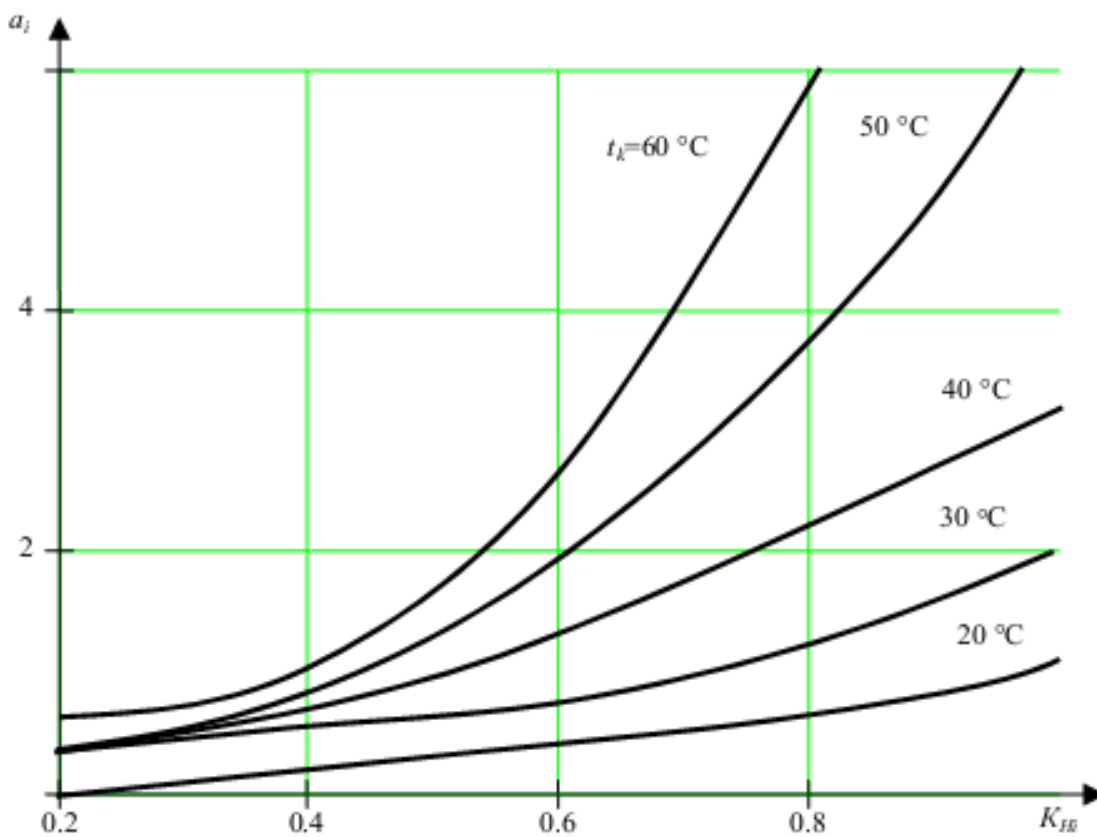


Рис. 6. Зависимость для микросхем

Приложение 2

