

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)**

Кафедра физической электроники

Ю.В. Сахаров
И.Ф. Гарипов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ
БАЗЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**

Методические указания по выполнению курсового проекта
для студентов технических вузов

Томск
2026

УДК 621.382.049.77.002(075.8)
ББК 32.844я73
С-68

Рецензент:

Санько С.А., начальник отдела АО «НИИПП», г. Томск

Сахаров, Юрий Владимирович

С-68 Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов технических вузов / Ю.В. Сахаров, И.Ф. Гарипов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2026. – 25 с .

Приведены методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники» для студентов технических вузов. Методические указания представляют собой рекомендации о порядке выполнения курсового проекта и о содержании отдельных разделов пояснительной записки.

Авторами данных методических указаний являются профессор кафедры физической электроники Сахаров Ю.В., а также сотрудник профильного предприятия, инженер-технолог технического отдела АО «НИИПП» (г. Томск), Гарипов И.Ф.

Методические указания актуализированы в рамках проекта "Развитие механизмов опережающей подготовки инженерных кадров для ракетно-космической отрасли".

Одобрено на заседании кафедры физической электроники протокол №178 от 23.04.2026 года

УДК 621.382-022.532(075.8)
ББК 32.844я73

© Сахаров Ю.В., Гарипов И.Ф., 2026
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ.....	4
2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	4
3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ.....	6
3.1 Требования к тексту работы.....	6
3.2 Деление текста.....	6
3.3 Таблицы.....	7
3.4 Иллюстрации.....	7
3.5 Формулы.....	8
3.6 Ссылки.....	9
3.7 Сокращения.....	9
3.8 Оформление расчетов.....	9
3.9 Нумерация листов.....	10
3.10 Оформление проектных документов.....	10
4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ГИБРИДНЫХ ИМС	10
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	15
Приложение А (обязательное). Пример задания на курсовой проект.....	16
Приложение Б (обязательное). Пример оформления титульного листа.....	18
Приложение В (справочное). Пример оформления оглавления.....	19
Приложение Г (справочное). Пример схема электрическая принципиальная.....	20
Приложение Д (справочное). Пример топологический чертеж.....	21
Приложение Е (справочное). Пример вид на резистивный слой.....	22
Приложение Ж (справочное). Пример вид на проводящий слой.....	23
Приложение З (справочное). Пример вид на защитный слой.....	24
Приложение И (справочное). Пример сборочный чертеж.....	25

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение курсового проекта является заключительным этапом в изучении курса «Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники». На этом этапе студент углубляет свои знания в области теории и практики проектирования микросхем и приобретает навыки самостоятельной работы на основе использования нормативно-технической литературы.

В пособии рассмотрены содержание и порядок выполнения курсового проекта. Даются методические указания по проектированию и расчету гибридных интегральных схем (ГИС), а также указания к составлению пояснительной записки (ПЗ) и оформлению конструкторской документации (КД) по курсовому проекту. Пособие содержит пояснения к расчетам и список рекомендованной литературы. В приложении приведен пример варианта задания на курсовой проект.

1 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Основными объектами проектирования оказываются узлы ГИС, выполняющие несложные функциональные преобразования. К таким узлам относятся, генераторы, усилители тока или мощности, триггеры.

Исходными данными для проектирования являются:

- 1) назначение проектируемой ИС;
- 2) схема электрическая принципиальная;
- 3) вариант исполнения;
- 4) конструктивно-технологические ограничения (типовые или специальные);
- 5) условия эксплуатации и хранения (параметры климатических, механических и специальных воздействий);
- 6) требования к составу проекта.

Пример варианта задания на курсовой проект приведен в приложении А.

2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и комплекта чертежей, составляющих конструкторскую документацию. Рекомендуется следующее содержание (перечень основных разделов) пояснительной записки:

- 1) введение;
- 2) литературный обзор, включающий методики расчета элементов ГИС;
- 3) анализ технического задания, моделирование электрической схемы, выбор конструктивно-технологического варианта ГИС;
- 3) расчет элементов ГИС, выбор навесных компонентов, выбор корпуса;
- 4) разработка топологии ГИС;
- 5) расчет паразитных связей;
- 6) тепловой расчет;
- 7) заключение;
- 8) список использованных источников.

Конструкторская документация (комплект чертежей) составляется в соответствии с требованиями ЕСКД и дополнительными требованиями соответствующих отраслевых стандартов. Перечень наиболее часто применяемых при разработке конструкторской документации на ИС стандартов ЕСКД приведен в [1].

Для выполнения графических документов конструкторской части проекта рекомендуются следующие форматы:

- 1) схема электрическая принципиальная - А4, А3;

- 2) комплект чертежей для фотошаблонов - А3;
- 3) сборочный чертеж - А3;
- 4) топологический чертеж - А3.

Требованием к чертежу платы является увеличение размеров для ГИС в 10-20 раз. Графические документы проекта подшиваются в сложенной по установленной стандартной форме в пояснительную записку в качестве приложения.

Текстовый документ в краткой четкой форме должен представить решение проблемы, которая содержится в задании, анализ результатов расчета и выводы по работе. Текст может сопровождаться иллюстрациями (графиками, диаграммами, схемами и т.д.).

Пример оформления титульного листа и оглавления приведены в приложениях Б, В.

В разделе «Введение» указывают основную цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, ее научное и техническое значение.

Выполнение основной части курсового проекта начинается с анализа задания, моделирования электрической схемы, выбора конструктивно-технологического варианта ГИС, расчета элементов ГИС, выбора навесных компонентов, а также выбора корпуса с учетом условий эксплуатации. В результате проведения анализа устанавливается блок-схема устройства, связи между элементами и их взаимовлияние друг на друга. Определяется метод конструктивно-технологического варианта ГИС.

На основе анализа характеристик элементов и анализа рекомендованной литературы следует провести расчет оптимальных размеров и конструкции всех элементов [2, 3]. После этого проводится разработка топологии ГИС, которая корректируется с учетом паразитных связей и теплового расчета. После этого проводится разработка конструкторской документации (КД). Примеры оформления графических документов, составляющих КД приведены в приложениях Г, Д, Е, Ж, З, И. При разработке КД необходимо учитывать все конструктивно-технологические ограничения при проектировании тонкопленочных ГИС [3, 4, 5].

При выполнении расчетной части проекта приводятся расчетные формулы и вводятся исходные данные. Результаты расчетов обрабатываются, приводятся соответствующие графические зависимости или таблицы, производится анализ, и даются рекомендации технологических режимов, пригодных для практической реализации при изготовлении данной схемы или структуры.

В разделе «Заключение» дается краткая характеристика выполненной работы, формулируются общие выводы.

В список использованных источников включаются все источники, на которые имеются ссылки в текстовом документе. Источники в списке нумеруются в порядке их упоминания в тексте.

Выполненный курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки объемом 20 – 25 страниц с приложением, в котором приводится комплект чертежей для фотошаблонов. При оформлении необходимо соблюдать требования и правила, оговоренные в стандарте вуза ОС ТУСУР 01-2021 по оформлению курсовых и дипломных проектов [6].

Защита курсовых проектов проводится в форме публичного пятиминутного доклада перед комиссией, состоящей из преподавателей кафедры и представителей профильных производств. Доклад должен отражать: тему проекта, цель и назначение разработки, результаты расчета, выводы и рекомендации по результатам курсового проекта. Доклад ведется, как правило, в безличной форме (например: «... в результате расчета получено, что наиболее подходящим материалом резистивного слоя является...»), обращаясь по мере необходимости к материалам пояснительной записки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

3.1 Требования к тексту работы

3.1.1 В работе не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;
- применять индексы стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р, ОСТ и т.п.) технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера;
- использовать в тексте математические знаки и знак $\varnothing$ (диаметр), а также знаки № (номер) и % (процент) без числовых значений.

Следует писать: «температура минус 20 °С»; «значение параметра больше или равно 35» (но не «температура -20 °С» или «значение параметра ≥ 35 »); «стержень диаметром 25 мм» (но не «стержень $\varnothing 25$ мм»); «изделие № 325», «номер опыта» (но не «№ опыта»); «влажность 98 %», «процент выхода» (но не «% выхода»).

3.1.2 Условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах.

В тексте работы перед обозначением параметра дают его наименование, например: «температура окружающей среды T »).

3.1.3 В работе следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417.

3.2 Деление текста

3.2.1 Текст работы разделяют на разделы, подразделы, пункты.

3.2.2 Разделы должны иметь порядковые номера в пределах работы, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Подразделы и пункты должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела или подраздела. Отдельные разделы могут не иметь подразделов и состоят непосредственно из пунктов.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, этот пункт также нумеруется.

Точка в конце номеров разделов, подразделов, пунктов не ставится. Подразделы нумеруются в пределах раздела (пункта) и их номер должен состоять из номера раздела (пункта) и номера подраздела, разделенных точкой.

Пример

Введение (без номера)

1 ТИПЫ И РАЗМЕРЫ (Номер и заголовок первого раздела)

1.1 Классификация типов (Номер единственного пункта первого раздела)

2 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ (Номер и заголовок второго раздела)

2.1 Материалы и реактивы (Номер и заголовок первого подраздела второго раздела)

2.1.1 |

2.1.2 } Нумерация пунктов первого подраздела второго раздела

2.1.3 |

3 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ (Номер и заголовок третьего раздела)

..... и т.д.

3.2.3 Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления.

Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте работы на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример:

1. _____
_____:

а) _____
_____;

б) _____:

- _____;

- _____;

- _____.

3.2.4 Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

3.3 Таблицы

3.3.1 Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

3.3.2 Графу «№ п/п/ (номер по порядку)» в таблицу включать не допускается.

3.3.3 Все таблицы нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Над левым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы, на пример: «Таблица 2.1» (первая таблица второго раздела).

3.3.4 Если таблица имеет название, то его помещают после номера таблицы через тире, с прописной буквы.

3.3.5 На все таблицы должны быть ссылки в тексте работы.

3.3.6 Таблицу следует располагать непосредственно после абзаца, где она упоминается впервые, или на следующем листе (странице).

3.4 Иллюстрации

3.4.1 Иллюстрации помещаются в работу для пояснения текста и должны быть выполнены в соответствии с требованиями государственных стандартов.

3.4.2 В тексте работы все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуется рисунками.

Рисунки нумеруются в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами, например: «рисунок 1.2» (второй рисунок первого раздела); «рисунок В.3» (третий рисунок приложения В).

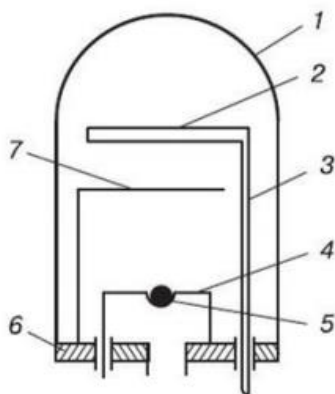
3.4.3 Иллюстрации при необходимости могут иметь на именование и пояснительные данные (подрисуночный текст).

Слово «рисунок», его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации, например: «Рисунок 1.3»; «Рисунок В.2 – Схема алгоритма».

3.4.4 На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте работы.

3.4.5 Иллюстрации должны размещаться сразу после ссылки или на следующем листе (странице).

Пример:



1 – колпак вакуумной камеры; 2 – подложка; 3 – держатель подложки;
4 – испаритель; 5 – испаряемое вещество; 6 – опорная плита; 7 – заслонка
Рисунок 3.2 – Схема установки для вакуумного напыления

3.5 Формулы

3.5.1 Формулы следует выделять из текста в отдельную строку и оформляются в редакторе формул.

3.5.2 Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него.

Пример:

Плотность в килограммах на кубический метр вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (5.1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объем образца, м^3 .

3.5.3 Формулы, следующие одна за другой, и не разделенные текстом, отделяют запятой.

3.5.4 Формулы должны нумероваться в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например: «(1.2)». Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

Примеры:

$$R = \frac{U}{I} \text{ или } R = U/I \quad (5.2)$$

$$P = U \cdot I. \quad (5.3)$$

3.6 Ссылки

3.6.1 В работе приводят ссылки:

- на данную работу;
- на использованные источники.

При ссылках на структурные части работы указывают номера разделов (со словом «раздел»), приложений (со словом «приложение»), подразделов, пунктов, перечислений, например: «... в соответствии с разделом 2», «... согласно 3.1», «... по 3.1.1»; «... в соответствии с 3.2.2, перечисление б»; (приложение В); «... как указано в приложении Г».

Ссылки в тексте на номер формулы дают в скобках, например: «... согласно формуле (8.1)»; «... как следует из выражения (2.5)».

Ссылки в тексте на таблицы и иллюстрации оформляют по типу: (таблица 4.3); «... в таблице 1.1, графа 4»; (рисунок (2.11)); «... в соответствии с рисунком 1.2»; «... как показано на рисунке Г.7, поз.12 и 13».

3.6.2 При ссылке в тексте на использованные источники следует приводить порядковые номера по списку использованных источников, заключенные в квадратные скобки, например: «... как указано в монографии [10]»; «... в работах [11, 12, 15-17]».

При необходимости в дополнение к номеру источника указывают номер его раздела, подраздела, страницы, иллюстрации, таблицы, например: [12, раздел 2]; [18, подраздел 1.3, приложение А], [19, с.35, табл.8.3].

3.7 Сокращения

3.7.1 При многократном упоминании устойчивых словосочетаний в тексте следует использовать аббревиатуры или сокращения.

3.7.2 При первом упоминании должно быть приведено полное название с указанием в скобках сокращенного названия или аббревиатуры, например: «фильтр высоких частот (ФВЧ)»; «амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)», а при последующих упоминаниях следует употреблять сокращенное название или аббревиатуру.

Расшифровку аббревиатур и сокращений, установленных государственными стандартами (ГОСТ 2.316, ГОСТ Р 7.0.12) и правилами русской орфографии, допускается не приводить, например: ЭВМ, НИИ, АСУ, с. (страница), т.е. (то есть) и др.

3.8 Оформление расчетов

3.8.1 Порядок изложения расчетов в работе определяется характером рассчитываемых величин.

3.8.2 Все расчеты, как правило, должны выполняться в СИ.

3.8.3 Запись числовых расчетов выполняют, как правило, в следующем порядке:

- формула;
- знак «=» (равно);
- подстановка числовых значений величин и коэффициентов (как правило, в основных единицах СИ) в последовательности буквенных обозначений в формуле и, через пробел - обозначение единицы физической величины результата;
- знак «=» (равно);
- результат с единицей физической величины.

Пример:

Запись пункта расчета:

3.4.3 Сопротивление рассчитываем по формуле [2, таблица 3.1, строка 3]:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{125}{16 \cdot 10^{-3}} \text{ Ом} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 7,8 \text{ кОм} \quad (3.5)$$

3.9 Нумерация листов

3.9.1 Все листы, включая приложения, должны иметь сквозную нумерацию.

Первым листом является титульный лист. На титульном листе номер не проставляется.

3.9.2 Страницы работы следует нумеровать арабскими цифрами. Номер страницы проставляется в центре нижнего поля листа (страницы) без точки.

3.10 Оформление проектных документов

3.10.1 КП и ДП должны включать в себя проектные документы (конструкторские, технологические, программные и т.п.), разработанные согласно заданию (ТЗ) и оформленные согласно требованиям соответствующих стандартов (ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД и др.) [1].

3.10.2 Конструкторские документы следует оформлять в виде приложений. Проектные документы следует распечатывать на стандартных листах белой бумаги и помещать в работе после озаглавленных приложений. Выполненный проектный документ большого формата рекомендуется выполнять на формате А3 без уменьшения и складывать «гармоникой» на формат А4 по ГОСТ 2.501 [6].

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ГИБРИДНЫХ ИМС

Основным завершающим этапом процесса конструирования гибридных ИМС является разработка топологического чертежа микросхемы и ее оптимизация. Топологический чертеж микросхемы представляет собой конструкторский документ, строго определяющий ориентацию и взаимное расположение всех элементов микросхемы на площади подложки, а также форму и размеры пассивных элементов. Его составляют с учетом ряда требований и ограничений, определяемых принципом работы и назначением микросхемы. Иначе говоря, топологический чертеж, или просто топология микросхемы, – это документ, предопределяющий оптимальное размещение элементов микросхемы на подложке и обеспечивающий изготовление микросхемы с заданными техническими и электрическими параметрами.

Разработку топологии рекомендуется проводить в такой последовательности: составление схемы соединения элементов на плате; расчет конструкций пленочных элементов; определение необходимой площади платы и согласование с типоразмером корпуса, выбранного для ГИС; разработка эскиза топологии; оценка качества разработанной топологии и при необходимости ее корректировка.

Для составления схемы соединений на принципиальной электрической схеме выделяют пленочные элементы и навесные компоненты, намечают порядок их расположения и проводят упрощение схемы соединений с целью уменьшения числа пересечений проводников и сокращения их длины.

Производят выбор материалов и расчет геометрических размеров пленочных элементов. Затем приступают к определению необходимой площади платы. Из технологических соображений элементы микросхемы располагают на некотором расстоянии от ее края. Промежутки между элементами определяются технологическими ограничениями и условиями теплоотвода.

Ориентировочную площадь платы определяют по формуле:

$$S = K (S_{\Sigma R} + S_{\Sigma C} + S_{\Sigma L} + S_{\Sigma K} + S_{\Sigma НК}),$$

где K – коэффициент запаса по площади, определяемый количеством элементов в схеме, их типом и сложностью связей между ними (для ориентировочных расчетов можно принимать $K=2-3$); $S_{\Sigma R}$, $S_{\Sigma C}$, $S_{\Sigma L}$, $S_{\Sigma K}$ – площади, занимаемые всеми резисторами, конденсаторами, индуктивностями, контактными площадками; $S_{\Sigma НК}$ – суммарная площадь навесных компонентов, которые не могут быть расположены над пленочными элементами и занимают площадь на плате.

После вычисления ориентировочной площади платы выбирают ее типоразмер [2, 3]. Одновременно выбирают способ защиты ГИС и в случае использования корпусов – типоразмер корпуса. Рекомендуемые размеры плат: 20x24, 20x16, 15x16, 15x8 мм и т.д.

Далее приступают к разработке эскиза топологии. На этом этапе решают задачу оптимального размещения на плате пленочных элементов, навесных компонентов и соединений между ними, а также между внешними контактными площадками на плате и выводами корпуса.

Для разработки эскизных топологических чертежей необходимо знать: схему электрическую принципиальную и схему соединения элементов; форму и геометрические размеры пленочных элементов и навесных компонентов; ориентировочные размеры и материал платы, предварительно выбранный метод индивидуальной герметизации, вид и размеры корпуса или метод установки платы в блоке при групповой герметизации; возможности производственной базы, предназначенной для изготовления разрабатываемой ГИС.

Начальный этап разработки топологии состоит в изготовлении эскизных чертежей, выполненных в масштабе 10:1 или 20:1. Масштаб выбирают, исходя из удобства работы, наглядности и точности. Эскизный чертеж варианта топологии ГИС выполняют совмещенным для всех слоев. Непосредственно перед разработкой топологии составляется схема расположения, называемая также коммутационной (рисунок 4.1).

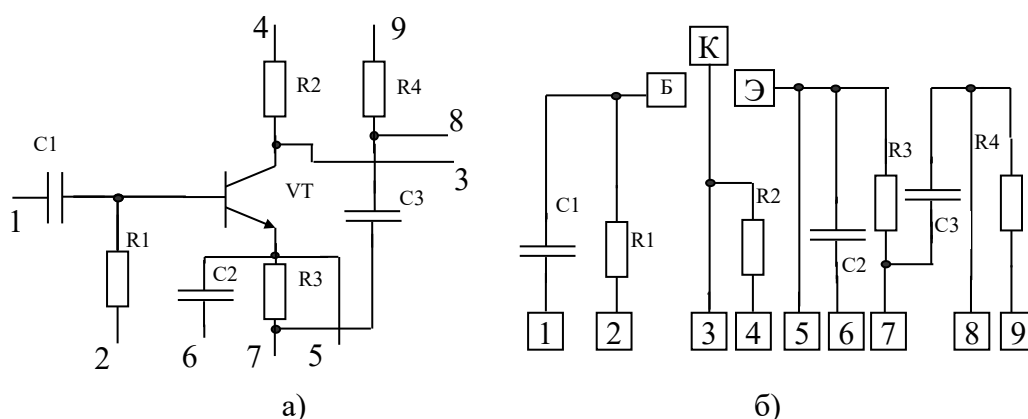


Рисунок 4.1 – Принципиальная электрическая (а) и коммутационная (б) схемы устройства

Навесные компоненты изображают с соблюдением порядка расположения выводов. Грани навесных компонентов располагают вдоль осей координатной сетки. Одновременно

с размещением элементов и компонентов проводят линии электрической связи (проводники). Расстояние между параллельными линиями, изображающими проводники, берут с учетом ширины проводников и расстояний между ними. Линии проводят параллельно осям координат. При вычерчивании необходимо следить за тем, чтобы пленочные проводники отличались от проволочных выводов навесных компонентов, навесных перемычек, места соединения их обозначают контактными площадками. Элементы ГИС, принадлежащие разным слоям, в первом эскизе рекомендуется изображать разными цветами.

При создании чертежа топологии необходимо обращать внимание на использование наиболее простых форм элементов, равномерность размещения элементов на плате, обеспечение удобств при выполнении сборочных операций, увеличение размеров контактных площадок, расширение допусков на совмещение слоев и т.д.

При вычерчивании элементов следует экономно использовать площадь, что достигается выбором конфигурации размещаемых пленочных элементов.

При разработке топологии нужно учитывать обеспечение возможности измерений электрических параметров пленочных элементов (резисторов, конденсаторов и т.д.). Если структура электрической схемы не позволяет этого сделать (например, параллельное соединение конденсатора и резистора), методика проверки узлов и требования к топологии, связанные с этой проверкой, должны быть определены до начала разработки топологии.

При разработке топологии необходимо обеспечить возможность выполнения требований к монтажу применяемых навесных компонентов, а также требования к сборке и защите микросхемы.

При проработке первого варианта топологии обычно не удается получить приемлемую конфигурацию слоев. Работа над следующими вариантами топологии сводится к устранению недостатков первого варианта для того, чтобы чертеж отвечал всем конструктивно-технологическим требованиям и ограничениям. После того как окончательно выбран вариант топологии, приступают к изготовлению чертежей слоев микросхемы по элементам (резисторы, проводники и контактные площадки, нижние обкладки конденсаторов, диэлектрики и т.д.). Эти чертежи – основа для изготовления комплекта фотошаблонов и масок.

Способ и последовательность работы по размещению и выбору формы пленочных элементов могут быть различными: эта работа во многом определяется опытом разработчика и носит индивидуальный характер. Для нахождения оптимального варианта размещения элементов на плате в настоящее время используют методы проектирования топологии с помощью прикладных программ.

Разработанная топология должна: соответствовать принципиальной электрической схеме; удовлетворять всем предъявленным конструктивным требованиям; быть составлена таким образом, чтобы для изготовления микросхемы требовалась наиболее простая и дешевая технология; обеспечить заданный тепловой режим и возможность проверки элементов в процессе изготовления. Емкостные и индуктивные связи не должны нарушать нормальную работу схемы при заданных условиях эксплуатации.

При проверке правильности разработки топологии ГИС принимают такой порядок. Проверяют соответствие принципиальной электрической схеме; внешних контактных площадок – выводам корпуса; конструктивно-технологическим требованиям; расчетным значениям длины, ширины и коэффициента формы резисторов и в случае необходимости производят корректировку размеров резисторов. Проверяют наличие в схеме пересечения пленочных проводников и защиту их диэлектриком, возможность контроля элементов, обеспечение нормального функционирования микросхемы при заданных условиях эксплуатации. При необходимости проводят оценку емкостных и индуктивных связей.

Проверка эскиза топологии сопровождается уточнением и корректировкой, в результате этого разрабатывается окончательный вариант топологии.

На рисунке 4.2 показана топология тонкопленочной гибридной схемы. На топологическом чертеже плату изображают со всеми нанесенными на нее слоями с указанием позиционных обозначений элементов в соответствии с принципиальной электрической схемой. Каждый слой обозначают соответствующей штриховкой. Вид штриховки расшифровывается в таблице, помещаемой в поле чертежа. Допускается на изображении нижних обкладок конденсаторов штриховать только участки, выступающие за края верхней обкладки. Наклон штриховки нижних и верхних обкладок должен быть различным. Контактные площадки нумеруются, начиная с левого нижнего угла чертежа, в направлении против часовой стрелки. Вначале нумеруются все внешние контактные площадки, а затем – внутренние (очередными порядковыми номерами). Нумерацию внутренних контактных площадок проводят с нижнего левого угла снизу вверх и слева направо [2].

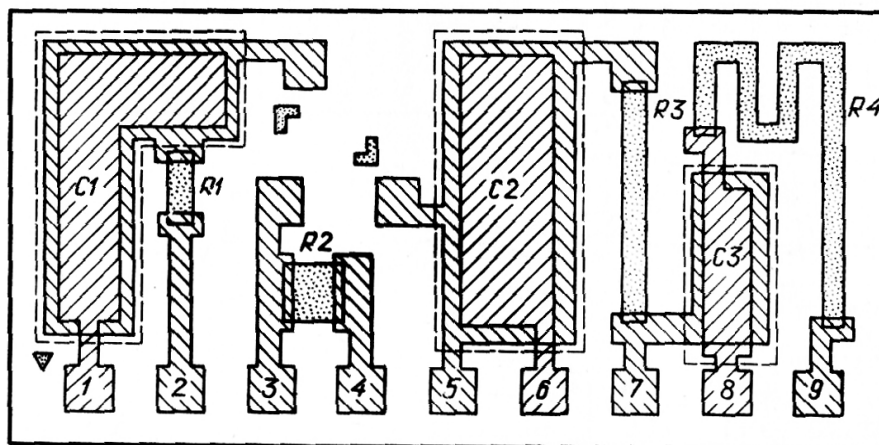
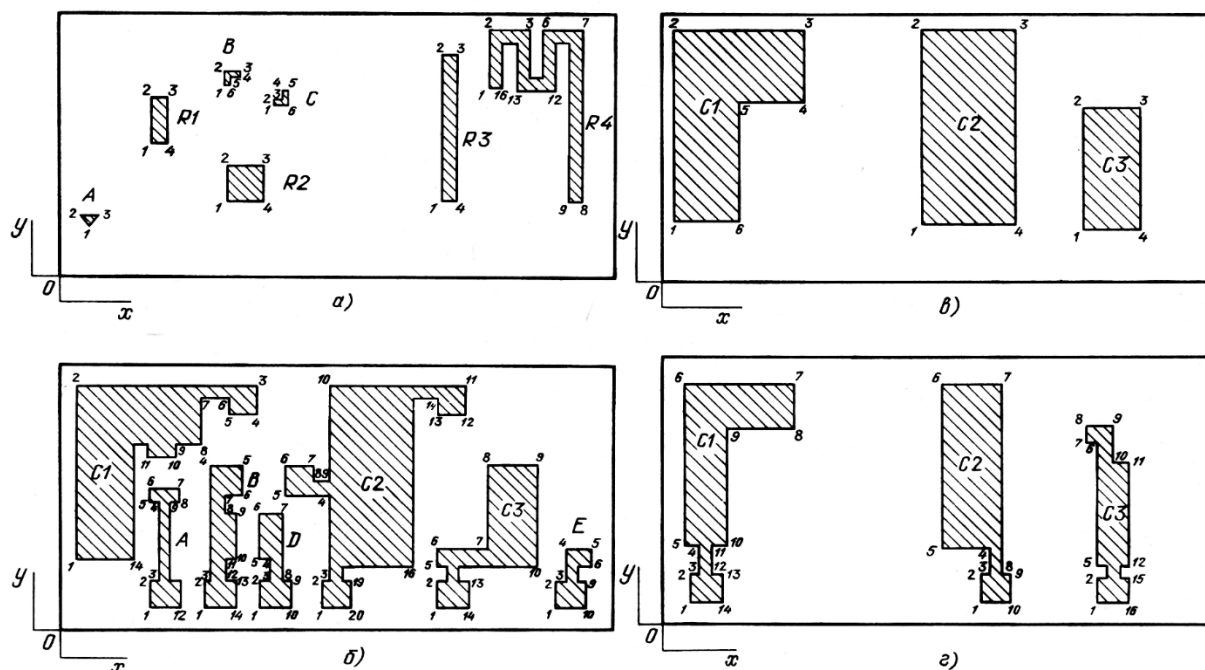


Рисунок 4.2 – Топология тонкопленочной гибридной схемы

На топологическом чертеже микросхемы обязательно должен указываться ключ – начало отсчета контактных площадок. Ключ может быть выполнен в виде какой-либо фигуры, например треугольника, нанесенной на свободное поле платы. Либо в виде увеличенной нижней левой периферийной контактной площадки.

Технические требования помещают на поле топологического чертежа микросхемы. Они включают требования, предъявляемые к качеству поверхности подложки, данные по напылению отдельных слоев, требования к точности размеров элементов и внешнему оформлению микросхемы. В специальную таблицу помещают данные о номинальных параметрах и допусках пленочных элементов и указания по измерению параметров.

На основании топологического чертежа выполняют послойные чертежи (отдельные чертежи на каждый слой) в том же масштабе, что и топологический чертеж. Эти чертежи, представленные на рисунке 5.3 – основа для изготовления технологической оснастки (фотошаблонов, масок). Размеры элементов каждого слоя задаются в прямоугольной системе координат и сводятся в таблицу, помещаемую на поле чертежа соответствующего слоя. Вершины фигур, очерчивающие пленочные слои, нумеруются. Нумерацию в пределах каждого элемента начинают с крайней левой нижней вершины, имеющей наименьшее значение координаты X, и продолжают по часовой стрелке; нумерацию вершин элементов в пределах слоя – с нижнего левого элемента с переходом к следующему ближнему по направлению снизу вверх и слева направо. Чертежи на отдельные слои помечают надписью с названием слоя (например, «Вид на резистивный слой») [2].



а – вид на резистивный слой; б – вид на проводящий слой (нижние обкладки конденсаторов, пленочные проводники и контактные площадки); в – вид на диэлектрический слой; г – вид на второй проводящий слой (верхние обкладки конденсаторов)

Рисунок 4.3 – Послойные чертежи тонкопленочной микросхемы

Завершающим этапом проектирования является разработка комплекта КД, включающей электрическую принципиальную схему, послойные чертежи для изготовления комплекта фотошаблонов и сборочный чертеж. Примеры оформления графических документов, составляющих КД приведены в приложениях Г, Д, Е, Ж, З, И

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гарипов И. Ф. Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники и микросистемной техники: учеб. пособие / И. Ф. Гарипов, Ю. С. Жидик. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 148 с.
2. Жигальский А.А. Проектирование и конструирование микросхем: учеб. пособие для вузов / А. А. Жигальский – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 195 с.
3. Конструирование и технология микросхем: Курсовое проектирование: Учебное пособие для вузов / Л. А. Коледов, В. А. Волков, Н. И. Докучаев и др.; Ред. Л. А. Коледов. - М. : Высшая школа, 1984. - 230 с.
4. Справочное пособие по конструированию микросхем : справочное издание / Э. А. Матсон, Д. М. Крыжановский. - Минск : Вышэйшая школа, 1982. - 224 с.
5. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебник для вузов / Л. А. Коледов. - М. : Радио и связь, 1989. - 400 с.
6. Образовательный стандарт вуза ОС ТУСУР 01-2021. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <https://regulations.tusur.ru/#/documents/87> (дата обращения: 01.09.2026)

Приложение А
(обязательное)
Пример задания на курсовой проект

Вариант №1

Тема проекта: Проектирование гибридной интегральной схемы К2УС371

Задание на курсовой проект

1. Провести анализ схемы, выявить ее функциональное назначение, электрические параметры и условия эксплуатации. Провести моделирование схемы, расчет пленочных элементов, выбор навесных компонентов и корпуса, а также конструктивно-технологического варианта ГИС.
2. Провести разработку топологии ГИС, а также ее верификацию с учетом паразитных связей, теплового расчета.
3. Оформить конструкторскую документацию, включающую топологический чертеж, комплект фотошаблонов и сборочный чертеж
4. При проектировании ИМС учитывать все конструктивные и технологические ограничения. Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с ОС ТУСУР-01-2021.

Перечень вопросов подлежащих рассмотрению:

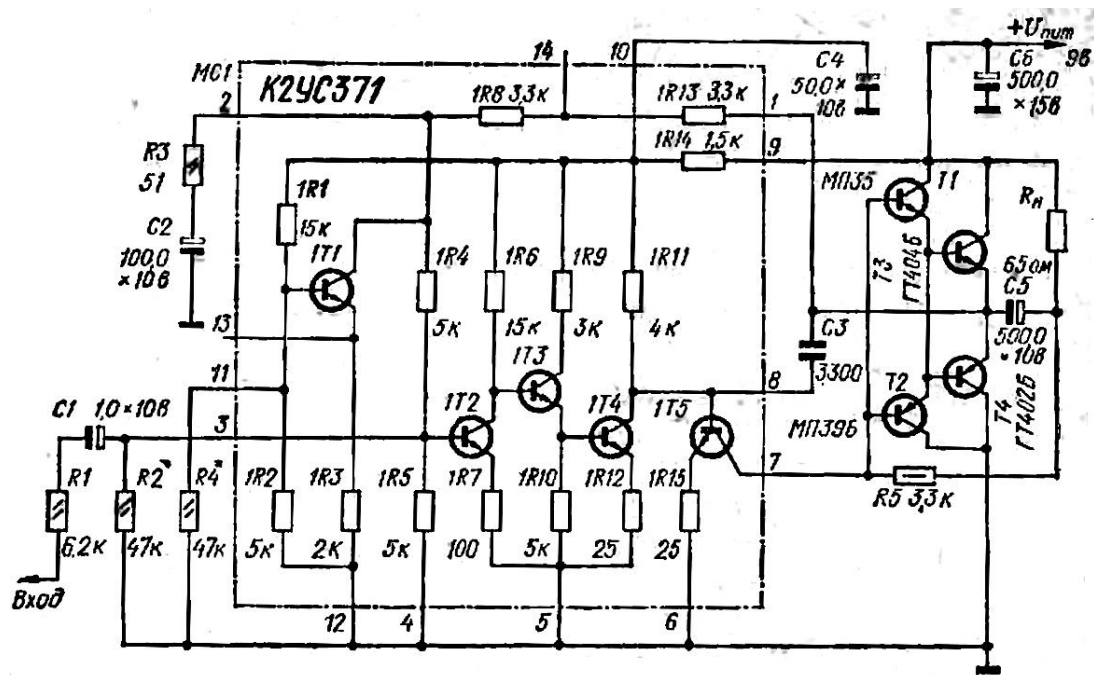
1. Анализ схемы: блок-схема, функциональная схема, функциональное назначение, схема подключения, электрические параметры, предельные эксплуатационные параметры и условия эксплуатации.
2. Методика проектирования и расчета элементов ИМС, присутствующих в схеме.
3. Конструктивные и технологические ограничения при проектировании.
4. Методика теплового расчета и паразитных связей.
5. Расчет элементов, включающий выбор материалов и технологию их изготовления.
6. Выбор навесных компонентов и способа их монтажа.
7. Выбор корпуса с учетом условий эксплуатации.

Исходные данные для расчета:

1. Схема электрическая принципиальная.
2. При расчете резисторов принять следующие допущения: $\gamma_{ps}=2\%$, $\gamma_{Rct}=1\%$, $\gamma_{Rk}=1\%$, допуск на номинал 10%. Мощность резисторов определить путем моделирования схемы при подаче на вход входного сигнала. При расчете конденсаторов $\gamma_{c0}=5\%$, погрешность старения $\gamma_{cct}=2\%$, допуск на номинал 20%.
3. Условия эксплуатации и электрические параметры взять из справочной литературы.

Перечень графического материала:

1. Чертеж электрической принципиальной схемы.
2. Топологический чертеж
3. Вид на слои присутствующие в топологическом чертеже.
4. Сборочный чертеж.



Приложение Б
(обязательное)

Пример оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ К2УС371

Курсовой проект по дисциплине
«Проектирование электронной компонентной базы
микроэлектроники и микросистемной техники»

ИРЭТ.КП.431.121.001.ПЗ

Студент гр. 312-1

_____ А.В. Иванов
(подпись)

« ____ » _____ 20__ г.
(дата)

Руководитель:

(должность, ученая степень, звание)

_____ (оценка) _____ (подпись) _____ (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20__ г.
(дата)

Томск 20__

Приложение В
(справочное)

Пример оформления оглавления

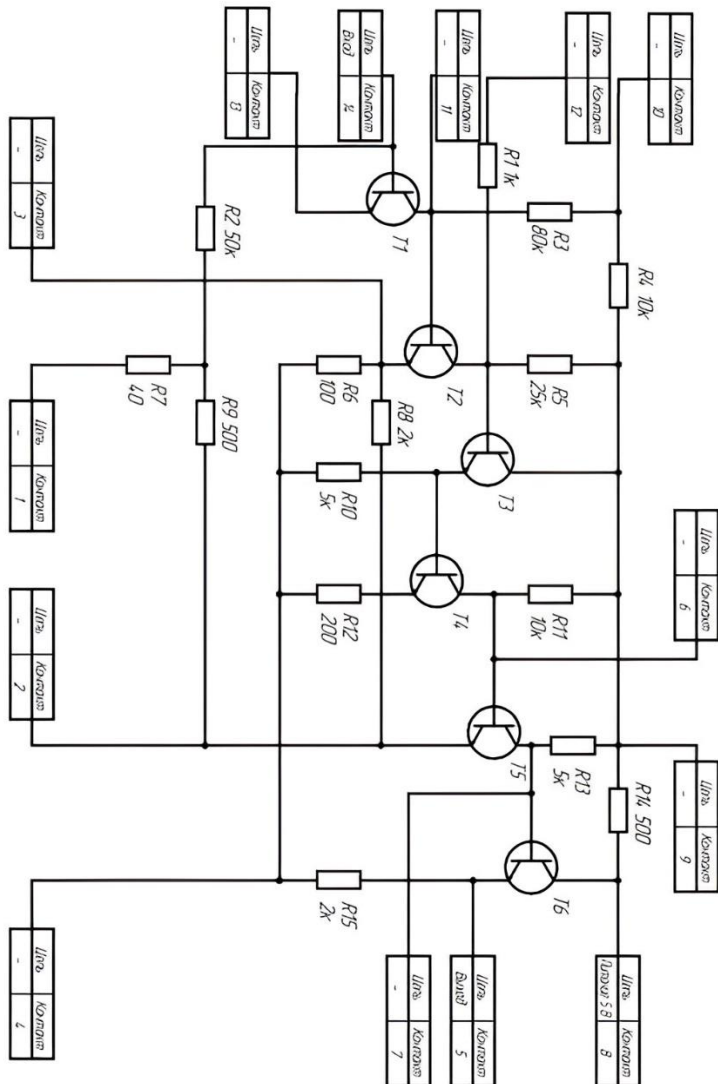
Оглавление

Введение.....	6
1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛИТЕЛЯ.....	7
2 РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЯ.....	12
2.1 Электрический расчет схемы изделия.....	12
2.2 Расчет надежности изделия.....	17
3 ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.....	23
Заключение.....	28
Список использованных источников.....	29
Приложение А (обязательное) Методика расчета надежности.....	30
Приложение Б (справочное) Программа расчета надежности усилителя..	32

Приложение Г (справочное)

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № подл.	Подл. и дата	Спрад. №	Перл. примеч.



Обозначение	Наименование	Количество
T1-T6	21324A1-1	6
R1	Резистор 1 кΩм 10%	1
R2	Резистор 50 кΩм 10%	1
R3	Резистор 80 кΩм 10%	1
R4, R11	Резистор 10 кΩм 10%	2
R5	Резистор 25 кΩм 10%	1
R6	Резистор 100 Ωм 10%	1
R7	Резистор 40 Ωм 10%	1
R8, R15	Резистор 2 кΩм 10%	2
R9, R14	Резистор 500 Ωм 10%	2
R10, R13	Резистор 5 кΩм 10%	2
R12	Резистор 200 Ωм 10%	1

Наименование и номиналы элементов схемы

[illegible]

Konurbidan

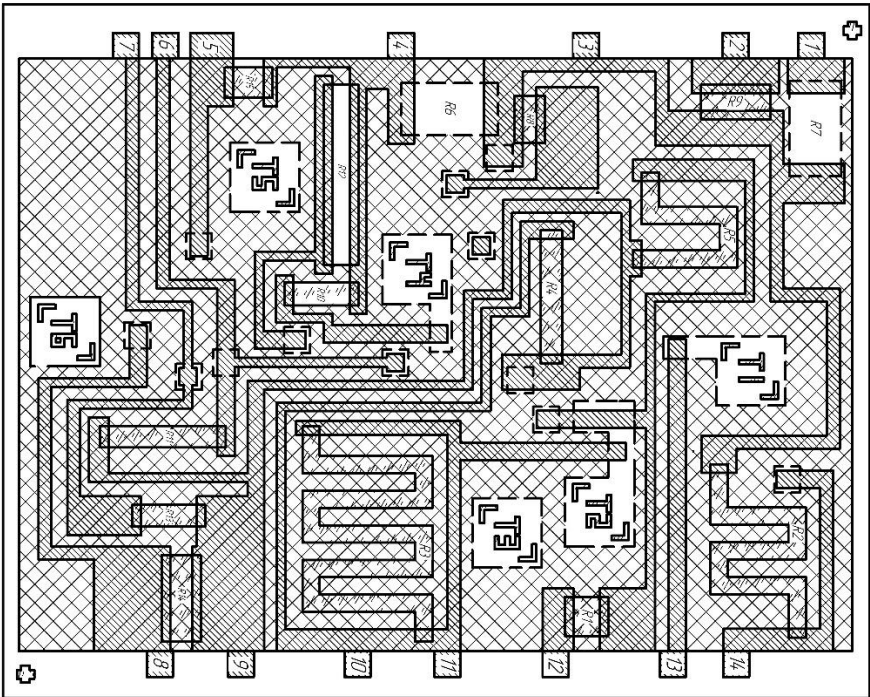
Формат А3

Приложение Д
(справочное)

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

20072122124.002



Графическое обозначение	Наименование	Материал / марка	Метод нанесения	R_s Ом/кВ	ТКС / ТКЕ
	Проводящий слой	Нихром	Термическое напыление	0,3	-
	Резистивный слой	РЗ3001	Механическое разбрызгивание	2000	$-0,2 \cdot 10^{-4}$
	Защитный слой	SiO ₂	ПХО	-	0,0003

ФЭТ4322124.002					
Топологический чертеж					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
Разработ.	Александр К. О.				201
Проб.	Сухарев Ю. В.				
Т. контур.					
Начерт.					
Утв.					
Приложение Б				Лист	Масса
				201	201
				Лист	Масса
				201	201

Не для коммерческого использования

Копировать

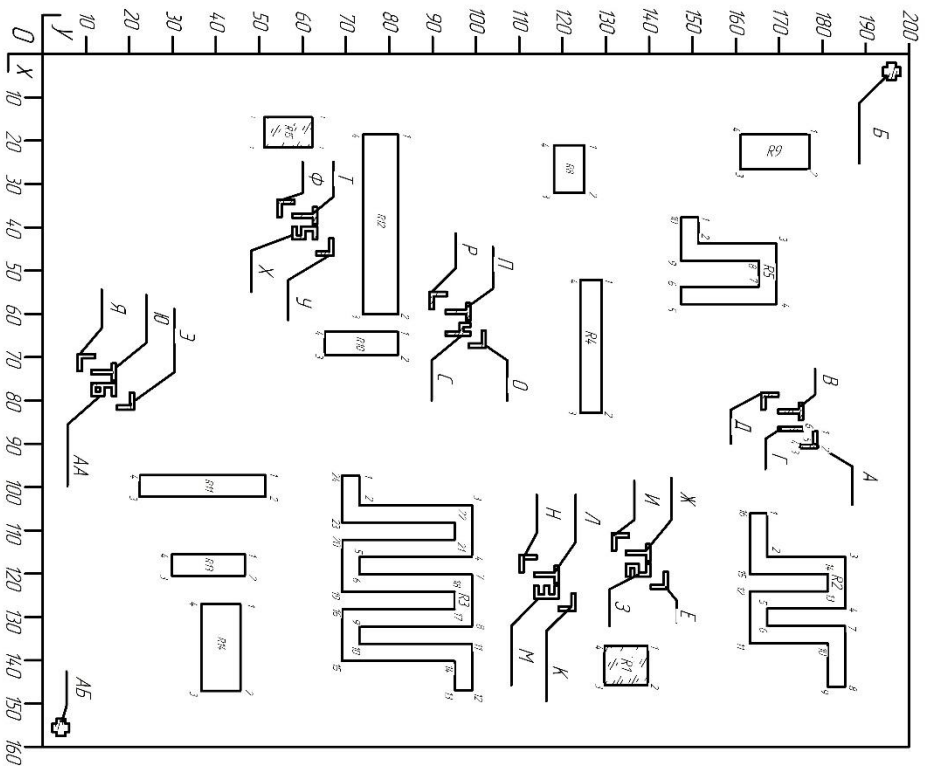
Формат А3

Приложение Е (справочное)

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

ΦΞΤ4322124.003



Обозначение элемента	Номер вершины	Координата	
		X,м	Y,м
А	1	87	179
	2	91	179
	3	91	175
	4	90	175
	5	90	178
	6	87	178
R15	1	17	62
	2	24	62
	3	24	51
	4	17	51

[illegible]

Конуробан

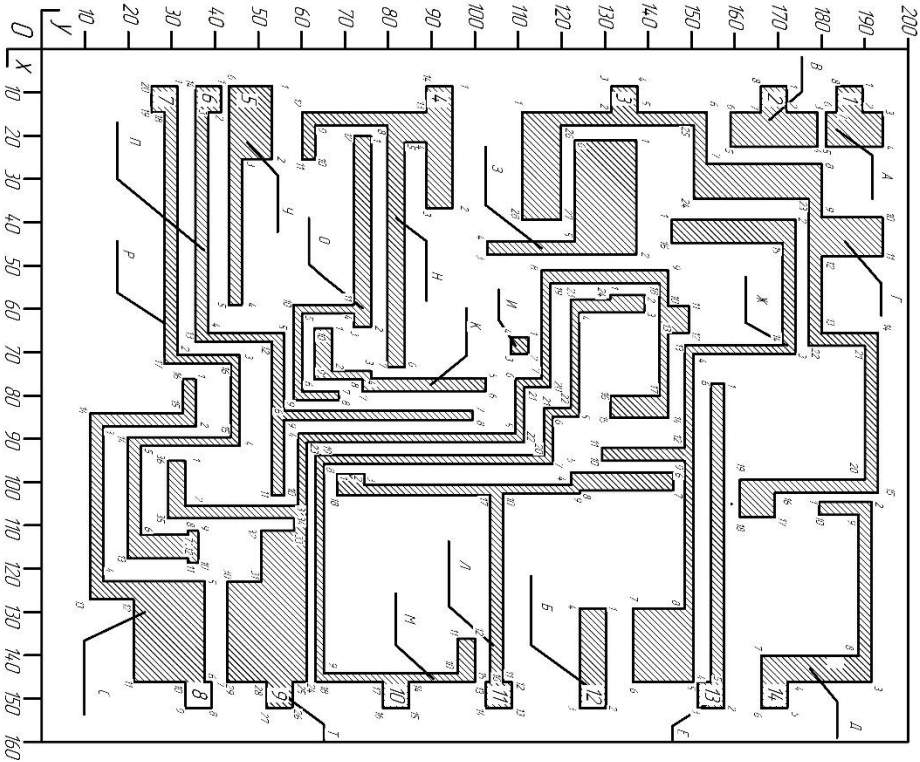
Формат А3

Приложение Ж
(справочное)

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

70072122124.004

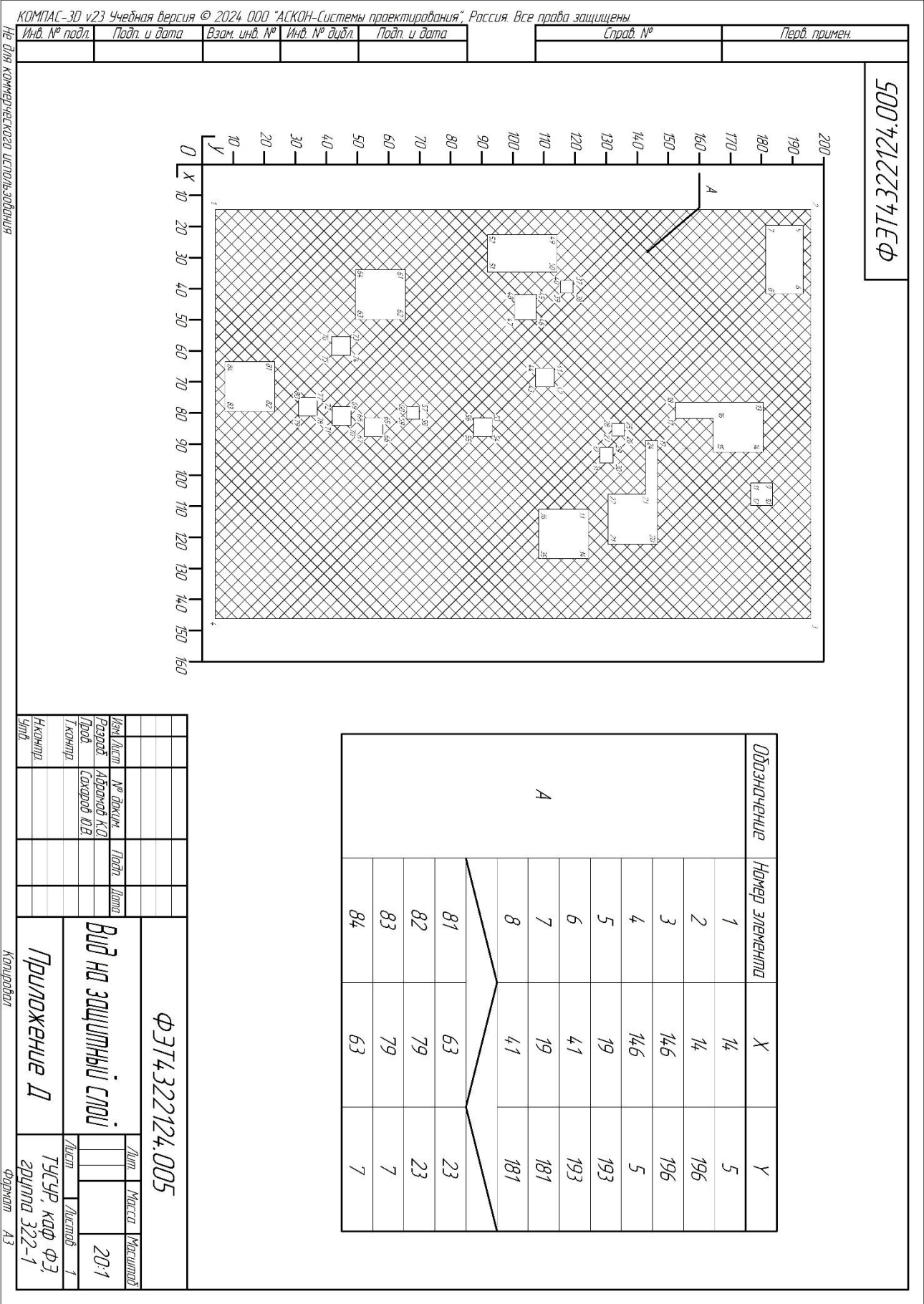


Обозначение	Номер вершины	X	Y
А	1	8	189
	2	14	189
	3	14	194
	4	22	194
	5	22	181
	6	14	181
	7	14	183
	8	8	183
Б	1	129	130
	2	152	130
	3	152	124
	4	129	124
У	1	8	53
	2	25	53
	3	25	46
	4	59	46
	5	59	43
	6	8	43

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЭТ4.322124.004		
Разработ.	Автомат К.О.						
Проект.	Складов О.В.						
Т. контрол.							
Начальник							
Упр.					ФЭТ4.322124.004		
Вид на проводящий слой					Лист	Масштаб	Масштаб
							20:1
					Лист	Листов	1
Приложение Г					Тусур, каф ФЭ, группа 322-1		
Копирован					Формат А3		

Не для коммерческого использования

Приложение 3
(справочное)

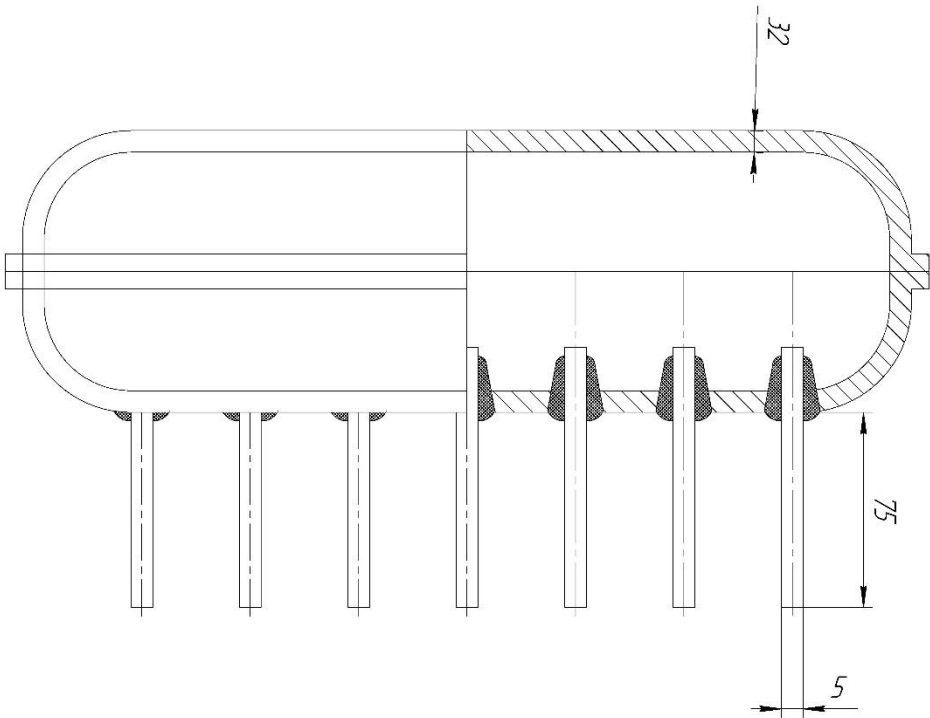
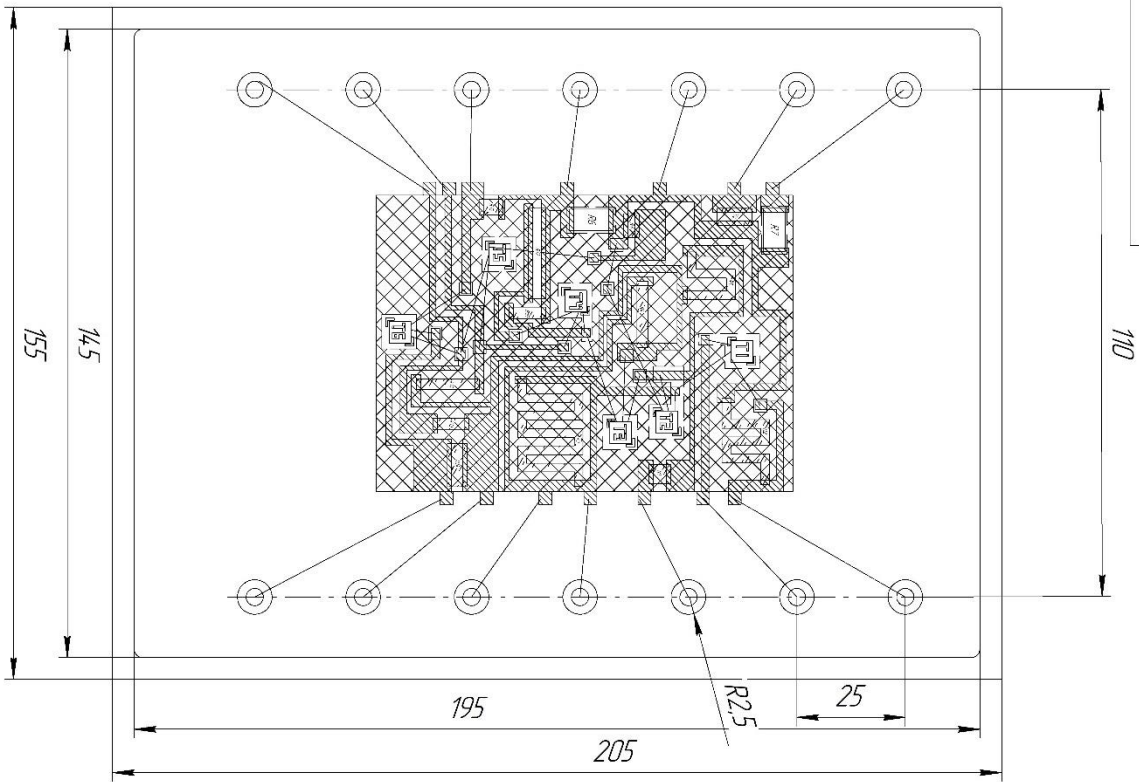


Приложение И
(справочное)

КОМПЛАС-30 v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

Не для коммерческого использования



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Копировать

Формат А3