

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

Курсовой проект по предмету:

«ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА РЭС»

на тему:

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
БОРТОВОГО БЛОКА РЭС**

Инв. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

Выполнил:
студент группы 14-402
Овчинникова О.А.

Проверил:
Умрихин О.Н.

Москва, 2009

Содержание

Лист

Введение	4
Задание на конструирование	5
1 Техническое задание на разработку блока полосовых фильтров с двойным Т-образным мостом	7
1.1 Наименование и область применения	7
1.2 Основание для разработки	7
1.3 Цель и задачи назначения разработки	7
1.4 Источник разработки	7
1.5 Технические (тактико-технические) требования	8
1.6 Стадии разработки	10
1.7 Комплектность документации, порядок приемки, сроки	10
1.8 Приложения	11
2 Анализ технического задания	13
2.1 Анализ электрической принципиальной схемы	13
2.2 Выбор элементной базы	17
3 Разработка конструкции микросборки (МСБ)	20
3.1 Разработка топологии платы МСБ	20
3.1.1 Разработка топологии платы	20
3.1.2 Расчет тонкопленочных резисторов	20
3.1.2.1 Расчет $R1$	23
3.1.2.2 Расчет $R2, R5$	25

Перв. примен. МАИ 467223.001

Справ. №

Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам.инв.№

Подп. и дата

Инв.№ подл.

					МАИ.467223.001 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">Блок ПФ-Т</div> Пояснительная записка			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Обчинникова								
Проб.		Умрихин							2	60
Согл.										
И.контр.										
Утв.		Умрихин								

3.1.2.3 Расчет $R3$	26
3.1.2.4 Результаты расчета тонкопленочных резисторов.....	28
3.1.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов	31
3.1.3.1 Расчет тонкопленочных конденсаторов.....	31
3.1.3.2 Расчет $C1, C3$	32
3.1.3.3 Результаты расчета тонкопленочных конденсаторов.....	34
3.1.4 Составление коммутационной схемы.....	36
3.1.5 Выбор типоразмера подложки	37
4 Разработка конструкции РЭС	38
4.1 Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока.....	38
4.2 Выбор системы охлаждения.....	38
4.3 Разработка конструкции функциональной ячейки.....	40
4.3.1 Расчет геометрических размеров функциональной ячейки	40
4.4 Разработка конструкции блока.....	41
4.5 Проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока.....	41
5 Оценка показателей качества конструкции	42
5.1 Оценочный расчет тепловых режимов конструкции	42
5.2 Оценка вибропрочности конструкции.....	48
5.3 Расчет надежности блока по внезапным отказам	50
6 Разработка технологического процесса платы МСБ	55
Заключение	58
Список литературы	59
Лист регистрации изменений	60

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					3

Введение

Целью данного курсового проекта является разработка конструкции бортового блока полосового фильтра с двойным Т-образным мостом.

Курсовой проект решает комплексную инженерно-техническую задачу, включающую анализ и обоснование основных элементов и узлов проектируемого блока, разработку конструкции, обоснование принятых расчетных нагрузок и технических решений.

Проектирование конструкции блока базируется на анализе электрической принципиальной схемы и технических требований, предъявляемых в задании на проектирование. Разработка конструкции сопровождается выбором элементной базы, компоновкой, разработкой сборочных и деталей чертежей, выбором материалов, покрытий, а также расчетами, проводимыми при конструировании, с технико-экономическими обоснованием предлагаемой конструкции. При этом большое внимание уделяется обеспечению требований комплексной миниатюризации, надежности, стандартизации и технологичности.

Основная задача курсового проекта – реализовать системный подход при проектировании конструкции блока.

Под конструкцией понимается состав и взаимное расположение частей какого-нибудь строения, сооружения механизма, а также само строение, сооружение, машина с таким устройством [2].

Конструировать – значит создавать конструкцию чего-либо, строить.

Конструирование современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) основано на модульном принципе на базе которого разработаны функционально-модульный, функционально-узловой и функционально-блочный методы конструирования.

Инв. № подл.	Подп. и дата								Лист
Взаим. инв. №	Инв. № дубл.								4
Подп. и дата									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

ЗАДАНИЕ на курсовое проектирование по дисциплине «Основы конструирования и технологии производства РЭС»

Студент Овчинникова О.А. группа 14-402

Руководитель Умрихин Олег Николаевич

Срок представления проекта 31.12.2009 г.

1 Тема проекта: Разработка конструкции и технологии изготовления полосового фильтра с двойным Т-образным мостом

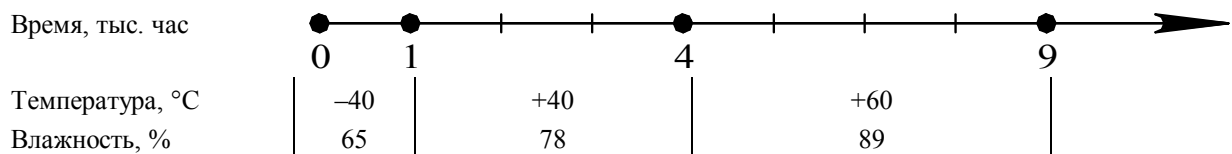
2 Исходные данные:

2.1 Технические требования

- 1) напряжение входного сигнала $U_{вх} = 0,4 \text{ В}$;
- 2) частота входного сигнала $f \leq 100 \text{ кГц}$;
- 3) напряжения питания $+U_{ип} = +12 \text{ В}$; $-U_{ип} = -12 \text{ В}$;
- 4) модель средней частоты в полосе пропускания фильтра $f = \frac{\sqrt{R7}}{2\pi \cdot R4 \cdot C2}$;
- 5) допуск $D_f \leq \pm 5\%$

2.2 Схема электрическая принципиальная (приведена в приложении)

2.3 Условия эксплуатации



2.4 Объект установки и область применения на самолете при высоте 17 км

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					5

3 Требования, предъявляемые к конструкции

3.1 Габариты и масса

Габаритные размеры блока (длина – ширина – высота) не должны превышать 150×100×50 мм

Масса блока должна быть не более 1,0 кг

3.2 Показатели надежности

Общая вероятность безотказной работы (ВБР) $p(t) \geq 0,999$

3.3 Технологические требования

Требования не предъявляются

4 Объем курсового проекта

4.1 Пояснительная записка, содержащая:

- техническое задание на разработку блока полосовых фильтров с двойным Т-образным мостом;
- разработку конструкции микросборки;
- разработку конструкции функциональной ячейки;
- разработку конструкции блока;
- оценку показателей качества конструкции блока

4.2 Перечень графического материала

- схема электрическая принципиальная;
- перечень элементов;
- сборочный чертеж блока;
- сборочный чертеж функциональной ячейки;
- сборочный чертеж микросборки;
- топологический чертеж платы микросборки

5 Рекомендуемая литература

5.1 Основы конструирования и технологии РЭС: учебное пособие для курсового проектирования /В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский и др. – М.: МАИ, 2000

2 Конструирование радиоэлектронных средств / В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. – М.: МАИ, 1996

Задание выдано « 15 » _____ сентября _____ 2009 г.

Подпись руководителя _____ /О.Н. Умрихин/

Подпись студента _____ /О.А. Овчинникова/

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					6

1 Техническое задание на разработку блока полосовых фильтров с двойным Т-образным мостом

1.1 Наименование и область применения

1.1.1 Наименование: блок полосовых фильтров с двойным Т-образным мостом.

1.1.2 Шифр: блок ПФ-Т.

1.1.3 Обозначение: МАИ.467223.001.

1.1.4 Область применения: на самолете при высоте 17 км.

1.2 Основание для разработки

1.2.1 Наименование документа: задание на курсовое проектирование, выданное кафедрой 404.

1.2.2 Дата утверждения: 15.09.2009 г.

1.3 Цель и задачи назначение разработки

1.3.1 Цель разработки: разработка комплекта конструкторской документации и технологического процесса изготовления блока полосовых фильтров с двойным Т-образным мостом.

1.3.2 Задачи разработки: выбрать конструктивный вариант, отвечающий требованиям технологичности, экономичности, серийноспособности конструкции при малых материалоемкости и потребляемой мощности.

1.4 Источник разработки

1.4.1 Схема электрическая принципиальная полосового фильтра с двойным Т-образным мостом, выданная кафедрой 404.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист 7
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	

1.5 Технические (тактико-технические) требования

1.5.1 Состав изделия и требования к конструкции

1.5.1.1 Блок ПФ-Т должен состоять из четырех функциональных ячеек и источника питания. Каждая функциональная ячейка должна включать в свой состав двенадцать бескорпусных микросборок, расположенных на общем металлическом основании.

1.5.1.2 Габаритные размеры блока не должны превышать 150×100×50 мм (длина – ширина – высота).

1.5.1.3 Масса блока должна быть не более 1,0 кг.

1.5.2 Показатели назначения

1.5.2.1 Напряжение входного сигнала $U_{ВХ} = 0,4 В$.

1.5.2.2 Частота входного сигнала не более 100 кГц.

1.5.2.3 Напряжения источников питания $+U_{ИП} = +12 В$; $-U_{ИП} = -12 В$.

1.5.3 Требования к надежности

1.5.3.1 Средняя наработка на отказ должна составлять не менее 30000 ч.

1.5.3.2 Вероятность безотказной работы $P = 0,999$.

1.5.3.3 Срок сохраняемости блока в неотапливаемых помещениях должен быть не менее 10 лет.

1.5.3.4 Блок должен быть прочным, стойким и устойчивым к внешним механическим и климатическим факторам в соответствии с ГОСТ16019-78 и ГОСТ 15150-69.

1.5.3.5 Требования устойчивости к воздействию внешних полей должны соответствовать ГОСТ 1320.307-76.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
										8

1.5.4 Требования к уровню унификации и стандартизации

1.5.4.1 Блок должен быть выполнен на основе базовых несущих конструкций (БНК).

1.5.4.2 Блок в части стандартизации и унификации должен удовлетворять требованиям ОТТ Т61-0015-504-02.

1.5.5 Требования безопасности

1.5.5.1 По электробезопасности блок должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.025-76.

1.5.5.2 Блок должен быть безопасным для обслуживающего персонала во время эксплуатации и выполнения ремонтных работ.

1.5.5.3 Блок не должен являться источником пожарной опасности во время эксплуатации и при проведении ремонтных работ.

1.5.6 Эстетические и эргономические требования

1.5.6.1 Внешний вид блока должен удовлетворять требованиям современной технической эстетики и эргономики.

1.5.7 Условия эксплуатации

1.5.7.1 Блок должен сохранять работоспособность в условиях воздействия повышенной влажности окружающей среды 82 %.

1.5.7.2 Блок должен сохранять работоспособность в условиях воздействия повышенной температуры окружающей среды +60 °С.

1.5.7.3 Блок должен сохранять работоспособность в условиях воздействия пониженной температуры окружающей среды минус 40 °С.

1.5.7.4 Блок должен быть стойким при воздействии синусоидальной вибрации, находящейся в диапазоне частот от 20 до 200 Гц, при амплитуде виброускорения 19,6 м/с².

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					9

1.5.8 Требования к транспортированию и хранению

1.5.8.1 Блок должен допускать транспортировку всеми видами транспорта, кроме морского, в соответствии с ГОСТ 20790-82.

1.5.8.2 Блок в процессе транспортирования должен быть стойким к воздействию температуры окружающей среды в соответствии с ГОСТ 16350-80.

1.5.8.3 Блок должен храниться в складских помещениях, защищающих блок от воздействия атмосферных осадков, на стеллажах или в упаковке изготовителя при отсутствии в воздухе паров кислот, щелочей и других агрессивных примесей, при температуре от +5 до +25 °С и влажности 65 %.

1.5.9 Конструктивные требования

1.5.9.1 Блок должен являться конструктивно-сменной единицей.

1.6 Стадии разработки

1.6.1 Выбор элементной базы и материалов.

1.6.2 Разработка конструкции микросборки.

1.6.3 Разработка конструкции функциональной ячейки.

1.6.4 Разработка конструкции блока.

1.7 Комплектность документации, порядок приемки, сроки

1.7.1 Схема электрическая принципиальная.

1.7.2 Перечень элементов.

1.7.3 Сборочный чертеж блока.

1.7.4 Сборочный чертеж функциональной ячейки.

1.7.5 Сборочный чертеж микросборки.

1.7.6 Топологический чертеж платы микросборки.

1.7.7 Чертежи деталей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Подп. и дата
						Инд. № дубл.
						Взаим. инд. №
						Подп. и дата
Инд. № подл.						

1.8 Приложения

1.8.1 Специальная литература, необходимая для разработки

1.8.1.1 Основы конструирования и технологии РЭС: учебное пособие для курсового проектирования / В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский и др. – М.: МАИ, 2000. – 128 с.: ил.

1.8.1.2 Конструирование радиоэлектронных средств / В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. – М.: МАИ, 1996. – 380 с.: ил.

1.8.1.4 Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.: ил.

1.8.1.4 Гимпельсон В.Д., Радионов Ю.А. Тонкопленочные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники. М.: Машиностроение, 1976.

1.8.1.5 Фрумкин Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 463 с.

1.8.1.6 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликова и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.: ил.

1.8.2 Перечень рекомендуемых стандартов

ГОСТ 21392-79. Изделия электронной техники для устройства широкого применения: механические и климатические воздействия. Классификация по условиям применения.

ГОСТ 21518-76. Изделия электронной техники производственно-технического назначения и народного потребления. Требования к сохраняемости и методы испытаний.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						11

ОСТ 107.460084.200-88. Микросборки. Общие требования и нормы конструирования

ОСТ 11.073.002-75. Микросхемы интегральные гибридные. Подложки и платы.

ОСТ 11.0.000.028-73. Микросхемы интегральные. Правила выполнения конструкторской документации.

ОСТ 4.ГО.010.009. Аппаратура радиоэлектронная. Блоки и ячейки на микросборках и микросхемах. Конструирование.

ОСТ 4.ГО.014.000. Покрyтия металлические и неметаллические органические. Выбор. Область применения и свойства.

ОСТ 4.ГО.029.204. Клеи. Выбор, свойства и область применения.

ОСТ 4.ГО.029.207. Материалы неорганические (стекло, керамика, ситаллы). Руководство по выбору.

ОСТ 4.ГО.054.204. Микросборки тонкопленочные. Типовые технологические процессы.

ОСТ 4.ГО.054.213. Герметизация изделий радиоэлектронной аппаратуры полимерными материалами. Типовые технологические процессы.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					12

2 Анализ технического задания

2.1 Анализ электрической принципиальной схемы

2.1.1 Описание электрической принципиальной схемы

Полосовой фильтр с двойным Т-образным мостом выполнен на операционном усилителе типа 140УД5А и предназначен для выделения сигнала в полосе частот и его усиления.

Принципиальная электрическая схема полосового фильтра с двойным Т-образным мостом приведена в приложении 1.

Настройка фильтра на резонансную частоту осуществляется резисторами R4, R7 и R8 и конденсаторами C2, C5, C6. Резистор R3 регулирует полосу пропускания и коэффициент усиления фильтра на резонансной частоте.

Резистор R1 регулирует входное напряжение.

Элементы R1C1, R5C3, C4 – корректирующие.

Операционный усилитель 140УД5А состоит из двух дифференциальных каскадов усиления по напряжению, схемы снижения уровня выходного напряжения и выходного каскада.

Принципиальная электрическая схема усилителя приведена на рисунке 1.

На выходе первого дифференциального каскада (транзисторы VT2, VT4) включены эмиттерные повторители (транзисторы VT1, VT5), которые обеспечивают высокое выходное сопротивление и малый входной ток. Ток покоя входного каскада задается с помощью генератора тока, выполненного на транзисторе VT3, который термостабилизирован транзистором VT7 в диодном включении. Транзистор VT6 служит для стабилизации режима работы дифференциального каскада.

Второй дифференциальный каскад с симметричным входом и несимметричным выходом (транзисторы VT8, VT10) кроме усиления по напряжению обеспечивает преобразование дифференциального входного

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
						13

сигнала в одиночный выходной. Ток покоя второго каскада задается с помощью генератора тока на транзисторе VT9.

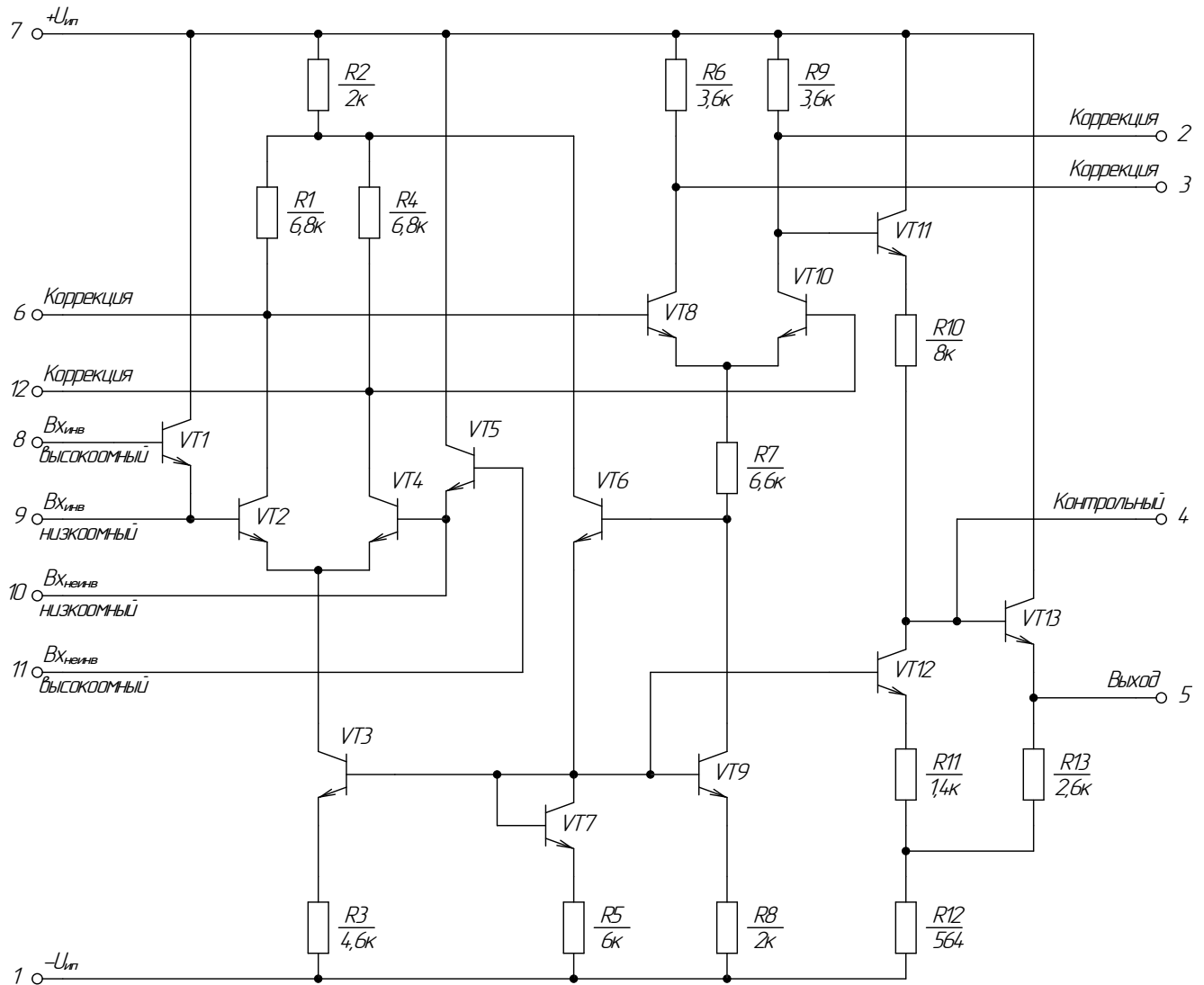


Рисунок 1 – Операционный усилитель 140УД5А.

Схема электрическая принципиальная

Схема снижения уровня выходного напряжения (транзисторы VT11, VT12) предназначена для снижения высокого потенциала коллектора транзистора VT10 до нулевого уровня на выходе операционного усилителя при отсутствии сигналов на входах. Снижение выходного уровня осуществляется на эмиттерном повторителе (транзистор VT11) за счет деления выходного потенциала эмиттерного повторителя на резисторах R10-R12.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	
Инд. № подл.	Подп. и дата
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

Транзистор VT12 задает ток покоя эмиттерного повторителя VT11, что позволяет не ослаблять коэффициент усиления по переменному току.

Эмиттерный повторитель на транзисторе VT13 является выходным каскадом.

2.1.2 Оценочный расчет по постоянному току

Постоянные напряжения на выводах микросхемы 140УД5А в линейном режиме приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер вывода	1	2	3	4	5	6
Напряжение, В	-12	+8,6	+8,6	+0,7	0	+6,3

Продолжение таблицы 1

Номер вывода	7	8	9	10	11	12
Напряжение, В	+12	-1,0	-	-1,7	-1,0	+6,3

Находим токи через резисторы и рассчитываем мощности, рассеиваемые резисторами схемы.

Определяем ток, протекающий через резистор R1, по формуле

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R1} = \frac{U_8 - U_{BX}}{R1} = \frac{-1,0 - 0,4}{22 \cdot 10^3} = -0,064 \text{ мА.} \quad (2.1)$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором R1, по формуле

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R1 = (-0,064 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 22 \cdot 10^3 = 0,089 \text{ мВт.} \quad (2.2)$$

Поскольку постоянные токи через резисторы R2 и R5 из-за наличия емкостей C1, C3 отсутствуют

$$I_{R2} = I_{R5} = 0,$$

то с учетом влияния переменного напряжения на выводах микросхемы принимаем

Инд. № подл.	
Взаим. инд. №	
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					15

$$P_{R2} = P_{R5} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мВт.}$$

Определяем ток, протекающий через резистор $R3$, по формуле (2.1)

$$I_{R3} = \frac{U_{R3}}{R3} = \frac{U_8 - U_5}{R3} = \frac{-1,0 - 0}{2 \cdot 10^6} = -0,0005 \text{ мА.}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором $R3$, по формуле (2.2)

$$P_{R3} = I_{R3}^2 \cdot R3 = (-0,0005 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,0005 \text{ мВт.}$$

Определяем ток, протекающий через резисторы $R4$, $R7$, по формуле (2.1)

$$I_{R4} = I_{R7} = \frac{U_8 - U_5}{R4 + R7} = \frac{-1,0 - 0}{200 \cdot 10^3} = -0,005 \text{ мА.}$$

Находим мощность, рассеиваемую резисторами $R4$, $R7$, по формуле (2.2)

$$P_{R4} = P_{R7} = I_{R4}^2 \cdot R4 = I_{R7}^2 \cdot R7 = (-0,005 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 \cdot 10^3 = 0,0025 \text{ мВт.}$$

Определяем ток, протекающий через резистор $R6$, по формуле (2.1)

$$I_{R6} = \frac{U_{R6}}{R6} = \frac{U_{11}}{R6} = \frac{-1,0}{15 \cdot 10^3} = -0,067 \text{ мА.}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором $R6$, по формуле (2.2)

$$P_{R6} = I_{R6}^2 \cdot R6 = (-0,067 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 15 \cdot 10^3 = 0,067 \text{ мВт.}$$

Поскольку постоянный ток через резистор $R8$ из-за наличия емкостей $C2$, $C6$ отсутствует

$$I_{R8} = 0,$$

то с учетом влияния переменного напряжения на выводах микросхемы принимаем

$$P_{R8} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мВт.}$$

Определяем ток, протекающий через резистор $R9$, по формуле (2.1)

$$I_{R9} = \frac{U_{R9}}{R9} = \frac{U_5}{R9} = \frac{0}{5,1 \cdot 10^3} = 0 \text{ мА.}$$

Принимаем мощность, рассеиваемую резистором $R9$, равной

$$P_{R9} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мВт.}$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					16

Определяем напряжения на обкладках конденсаторов схемы по формуле

$$U_C = U_B - U_H, \quad (2.3)$$

где U_B – напряжение, приложенное к верхней обкладке конденсатора;

U_H – напряжение, приложенное к нижней обкладке конденсатора.

Находим напряжения на конденсаторах схемы:

$$U_{C1} = U_3 - U_6 = 8,6 - 6,3 = 2,3 \text{ В};$$

$$U_{C2} = U_8 - 0 = 1 \text{ В};$$

$$U_{C3} = U_2 - U_{12} = 8,6 - 6,3 = 2,3 \text{ В};$$

$$U_{C4} = U_2 - U_4 = 8,6 - 0,7 = 7,9 \text{ В};$$

$$U_{C5} = U_{R4} = U_{R7} = 0,5 \text{ В};$$

$$U_{C6} = U_{R9} = 0 \text{ В}.$$

2.2 Выбор элементной базы

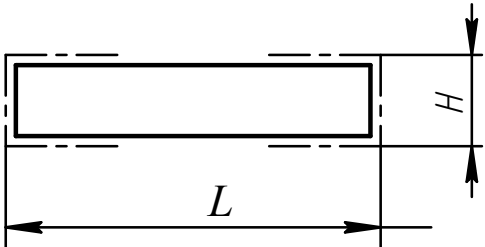
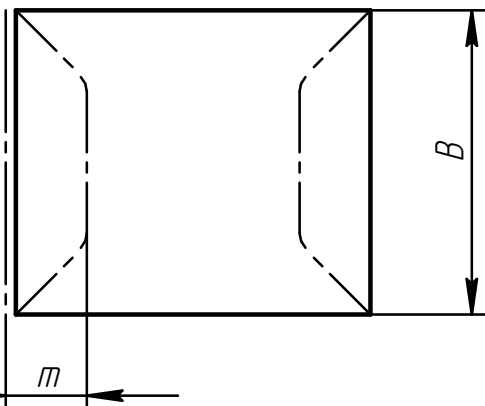
Поскольку в тонкопленочном варианте могут быть выполнены резисторы с номинальными сопротивлениями от 10 Ом до 10 Мом и конденсатор от 10 пФ до 0,01 мкФ, то к элементам микросборки (все элементы, которые могут быть выполнены в интегральном исполнении) можно отнести все резисторы схемы и конденсаторы $C1, C3 \dots C5$.

Конденсатор $C2, C5$ емкостью 0,047 мкФ относим к компонентам микросборки, так как их номинальная емкость лежит за пределами реализации в интегральном исполнении. Выбираем конденсаторы типа К10-17в, предназначенные для работы в цепях постоянного и переменного токов. Габаритные размеры конденсаторов приведены в таблице 2.

Изм. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					17

Таблица 2

Внешний вид	Габаритные размеры, мм			
	L	Bmax	Hmax	mmin
				
	2	1,8	1,4	0,2

Микросхему DA1 типа 140УД5А выбираем в бескорпусном исполнении. Габаритные размеры микросхемы DA1 и схема расположения выводов приведены в таблице 3.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					18

Таблица 3

Внешний вид и схема расположения ВЫВОДОВ	Габаритные размеры, мм		
	Lmax	Bmax	Hmax
	1,9	1,9	0,5

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Инв. № дудл.
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

3 Разработка конструкции микросборки (МСБ)

3.1 Разработка топологии платы МСБ

3.1.1 Разработку топологии платы будем производить в следующей последовательности:

- расчет тонкопленочных элементов (резисторов и конденсаторов);
- составление коммутационной схемы МСБ;
- выбор типоразмера подложки;
- оформление топологического чертежа.

3.1.2 Расчет тонкопленочных резисторов

Исходными данными для расчета являются:

- заданное в электрической принципиальной схеме номинальное сопротивление резистора R , Ом;
- заданная в электрической принципиальной схеме относительная погрешность сопротивления резистора γ_R , %;
- мощность рассеяния резистора P , мВт, полученная в результате расчета электрической принципиальной схемы;
- сопротивление квадрата резистивной пленки $\rho_{кв}$, Ом/кв;
- удельная мощность рассеяния резистивной пленки P_0 , мВт/мм²;
- минимальная технологически реализуемая длина и ширина резистора

$$l_{min}^T = b_{min}^T, \text{ мм};$$

- абсолютная производственная погрешность длины и ширины резистора при изготовлении $\Delta l = \Delta b$, мм.

По заданной относительной погрешности сопротивления резистора $\gamma_R = 10\%$ выбираем фотолитографический метод формирования конфигурации резисторов.

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					20

Расчет резисторов начинаем с выбора резистивного материала. Для этого определяем оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки $\rho_{\text{кв опт}}$. Поскольку в электрической принципиальной схеме полосового фильтра, приведенной в приложении 1, содержатся резисторы с широким диапазоном сопротивлений (от 51 Ом до 2 МОм), то, чтобы минимизировать площадь, занимаемую резисторами на плате, целесообразно выбрать два резистивных материала.

Разделяем резисторы в схеме на две группы:

- R1, R3, R4, R6, R7, R9;
- R2, R5, R8.

Определяем оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки для резисторов первой группы

$$\begin{aligned} \rho_{\text{кв опт}} &= \sqrt{\frac{\sum R_i}{\sum \left(\frac{1}{R_i}\right)}} = \sqrt{\frac{R1 + R3 + R4 + R6 + R7 + R9}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R6} + \frac{1}{R7} + \frac{1}{R9}\right)}} = \\ &= \sqrt{\frac{22 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3 + 5,1 \cdot 10^3}{\left(\frac{1}{22 \cdot 10^3} + \frac{1}{2 \cdot 10^6} + \frac{1}{100 \cdot 10^3} + \frac{1}{15 \cdot 10^3} + \frac{1}{100 \cdot 10^3} + \frac{1}{5,1 \cdot 10^3}\right)}} = \quad (3.1) \\ &= \sqrt{\frac{2242100}{3,287 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{6821170875,356} = 82590 \text{ Ом/кв}, \end{aligned}$$

где R_i – номинальное значение сопротивления i -го резистора.

По таблице 2.1 [1] выбираем материал с сопротивлением квадрата резистивной пленки $\rho_{\text{кв}} \approx \rho_{\text{кв опт}}$ и определяем параметры этого материала: удельную мощность рассеивания P_0 , температурный коэффициент сопротивления (ТКС) α_R .

Выбираем сплав РС-3001:

$$\rho_{\text{кв}} = 30000 \text{ Ом/кв};$$

$$P_0 = 2 \text{ Вт/см}^2;$$

$$\alpha_R = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}.$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					21

Определяем оптимальное значение квадрата резистивной пленки для резисторов второй группы

$$\rho_{\text{КВ опт}} = \sqrt{\frac{R2 + R5 + R8}{\left(\frac{1}{R2} + \frac{1}{R5} + \frac{1}{R8}\right)}} = \sqrt{\frac{820 + 820 + 51}{\left(\frac{1}{820} + \frac{1}{820} + \frac{1}{51}\right)}} = 276,948 \text{ Ом/кв.} \quad (3.2)$$

По таблице 2.1 [1] выбираем сплав PC-1734: $\rho_{\text{КВ}} = 500 \text{ Ом/кв};$
 $P_0 = 2 \text{ Вт/см}^2;$
 $\alpha_R = 1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}.$

Производим проверку правильности выбора резистивного материала. Для этого определяем допустимую относительную погрешность коэффициента формы по формуле

$$\gamma_K = \gamma_R - \gamma_{\rho_{\text{КВ}}} - \gamma_{Rt} - \gamma_{R\tau} - \gamma_{Rk}, \quad (3.3)$$

где γ_R – относительная погрешность сопротивления резистора, заданная в перечне элементов, $\gamma_R = 10 \%$;

$\gamma_{\rho_{\text{КВ}}}$ – относительная погрешность сопротивления квадрата резистивной пленки, которая зависит от условий напыления и материала резистивной пленки $\gamma_{\rho_{\text{КВ}}} \leq 5 \%$. Принимаем $\gamma_{\rho_{\text{КВ}}} = 5 \%$;

$\gamma_{Rt} = \alpha_R \cdot (t_{\text{max}} - 20^\circ\text{C}) \cdot 100$ – температурный коэффициент резистивного материала, $t_{\text{max}} = +60^\circ\text{C}$ – максимальная положительная температура окружающей среды, заданная в ТЗ. Вычисляем температурный коэффициент

$$\gamma_{Rt} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 40 \cdot 100 = 0,4 \%$$

$\gamma_{R\tau}$ – погрешность, обусловленная старением резистора $\gamma_{R\tau} \leq 3 \%$. Принимаем $\gamma_{R\tau} = 1 \%$;

γ_{Rk} – относительная погрешность сопротивления контактных переходов резистора $\gamma_{Rk} = 1...2 \%$. Принимаем $\gamma_{Rk} = 1 \%$.

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					22

Вычисляем допустимую относительную погрешность коэффициента формы по формуле (3.3) для резистивных материалов *РС-3001* и *РС-1734*:

$$\gamma_K = 10 - 5 - 0,4 - 1 - 1 = 2,6 \text{ \%}.$$

Поскольку $\gamma_K > 0$, то резистивные материалы выбраны верно.

3.1.2.1 Расчет R1

- номинальное сопротивление $R1 = 22 \text{ кОм}$;
- относительная погрешность сопротивления $\gamma_R = 10 \text{ \%}$;
- мощность рассеяния $P = 0,089 \text{ мВт}$;
- сопротивление квадрата резистивной пленки $\rho_{\text{кв}} = 30000 \text{ Ом/кв}$;
- удельная мощность рассеяния резистивной пленки $P_0 = 20 \text{ мВт/мм}^2$;
- минимальная технологически реализуемая длина и ширина резистора при фотолитографическом методе $l_{\text{min}}^T = b_{\text{min}}^T = 0,1 \text{ мм}$;
- абсолютная производственная погрешность длины и ширины резистора при изготовлении $\Delta l = \Delta b = 0,005 \text{ мм}$.

Последовательность расчета параметров резистора зависит от значения коэффициента формы k резистора, который вычисляем по формуле

$$k = \frac{R}{\rho_{\text{кв}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3} = 0,733. \quad (3.4)$$

При $k < 1$ расчет начинаем с определения расчетной длины резистора.

Расчетное значение длины резистора $l_{\text{расч}}$ должно быть не менее наибольшего значения одной из трех величин в соответствии с формулой

$$l_{\text{расч}} \geq \max \{ l_{\text{min}}^T ; l_{\text{min}}^{\text{II}} ; l_{\text{min}}^P \}, \quad (3.5)$$

где $l_{\text{min}}^T = 0,1 \text{ мм}$ – минимальная технологически реализуемая длина резистора;

$l_{\text{min}}^{\text{II}}$ – минимальная длина резистора с учетом предельных отклонений на сопротивление резистора и сопротивление квадрата резистивного материала

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					23

$$l_{min}^{\Pi} = \frac{\Delta l + \Delta b \cdot k}{\gamma_k} = \frac{0,005 + 0,005 \cdot 0,733}{0,026} = 0,333 \text{ мм}; \quad (3.6)$$

l_{min}^P – минимальная длина резистора, обеспечивающая заданную мощность рассеяния

$$l_{min}^P = \sqrt{\frac{P \cdot k}{P_0}} = \sqrt{\frac{0,089 \cdot 0,733}{20}} = 0,057. \quad (3.7)$$

Из условия (3.5) определяем расчетную длину резистора $l_{расч} \geq \max\{0,1; 0,333; 0,057\} = 0,33 \text{ мм}$.

Находим полную длину резистора по формуле

$$l_{\Pi} = l_{расч} + 2h_l = 0,33 + 2 \cdot 0,1 = 0,53 \text{ мм}, \quad (3.8)$$

где $h_l = 0,1 \text{ мм}$ – необходимое перекрытие резистивного и проводящего слоев, при котором выполняется требование к относительной погрешности сопротивления контактных переходов.

Определяем расчетную ширину резистора по формуле

$$b_{расч} = \frac{l_{расч}}{k} = \frac{0,33}{0,733} = 0,45 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

Производим проверку правильности расчета сопротивления резистора по формуле

$$R_{расч} = \frac{\rho_{кв} \cdot l_{расч}}{b_{расч}} = \frac{30000 \cdot 0,33}{0,45} = 22000 \leq R1 \text{ Ом}. \quad (3.10)$$

Определяем фактическое значение удельной мощности, рассеиваемой резистором, по формуле

$$P_0^{\Phi} = \frac{P}{S} \leq P_0, \quad (3.11)$$

где S – площадь, занимаемая резистором, вычисляем по формуле

$$S = l \cdot b = 0,33 \cdot 0,45 = 0,148 \text{ мм}^2. \quad (3.12)$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					24

Находим P_0^Φ по формуле (3.11)

$$P_0^\Phi = \frac{0,089}{0,148} = 0,6 < 20 \text{ мВт.}$$

Поскольку $R_{\text{расч}} \leq R1$, $P_0^\Phi \leq P_0$, то расчет произведен верно.

3.1.2.2 Расчет R2, R5

Исходными данными для расчета являются:

- номинальное сопротивление $R2 = R5 = 820 \text{ Ом}$;
- относительная погрешность сопротивления $\gamma_R = 10 \%$;
- мощность рассеяния $P = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мВт}$;
- сопротивление квадрата резистивной пленки $\rho_{\text{кв}} = 500 \text{ Ом/кв}$;
- удельная мощность рассеяния резистивной пленки $P_0 = 20 \text{ мВт/мм}^2$;
- минимальная технологически реализуемая длина и ширина резистора при фотолитографическом методе $l_{\text{min}}^T = b_{\text{min}}^T = 0,1 \text{ мм}$;
- абсолютная производственная погрешность длины и ширины резистора при изготовлении $\Delta l = \Delta b = 0,005 \text{ мм}$.

Вычисляем коэффициент формы k резисторов по формуле (3.4)

$$k = \frac{820}{500} = 1,64 .$$

При $k > 1$ расчет начинаем с определения расчетной ширины резистора.

Расчетную ширину резисторов $b_{\text{расч}}$ определяем из условия (3.13)

$$b_{\text{расч}} \geq \max \{ b_{\text{min}}^T ; b_{\text{min}}^{\Pi} ; b_{\text{min}}^P \}, \quad (3.13)$$

где $b_{\text{min}}^T = 0,1 \text{ мм}$ – минимальная технологически реализуемая ширина резистора;

b_{min}^{Π} – минимальная ширина резистора с учетом предельных отклонений на сопротивление резистора и сопротивление квадрата резистивного материала

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					25

$$b_{min}^{\Pi} = \left(\Delta b + \frac{\Delta l}{k} \right) \cdot \gamma_K = \left(0,005 + \frac{0,005}{1,64} \right) \cdot 0,026 = 0,0002 \text{ мм}; \quad (3.14)$$

b_{min}^P – минимальная ширина резистора, обеспечивающая заданную мощность рассеяния

$$b_{min}^P = \sqrt{\frac{P}{P_0 \cdot k}} = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 1,64}} = 0,0017 \text{ мм}. \quad (3.15)$$

Из условия (3.13) определяем расчетную ширину резисторов $b_{расч} \geq \max\{0,1; 0,0002; 0,0017\} = 0,1 \text{ мм}$.

Определяем расчетную длину резисторов по формуле

$$l_{расч} = b_{расч} \cdot k = 0,1 \cdot 1,64 = 0,16 \text{ мм}. \quad (3.16)$$

Находим полную длину резисторов по формуле (3.8)

$$l_{\Pi} = 0,16 + 2 \cdot 0,1 = 0,36 \text{ мм}.$$

Производим проверку правильности расчета сопротивления резисторов по формуле (3.10)

$$R_{расч} = \frac{500 \cdot 0,16}{0,1} = 800 \text{ Ом}.$$

Определяем площадь, занимаемую резистором, по формуле (3.12)

$$S = l \cdot b = 0,16 \cdot 0,1 = 0,016 \text{ мм}^2.$$

Определяем фактическое значение удельной мощности, рассеиваемой резистором, по формуле (3.11)

$$P_0^{\Phi} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,016} = 6,25 \cdot 10^{-3} < 20 \text{ мВт}.$$

Поскольку $R_{расч} \leq R2 = R5$, $P_0^{\Phi} \leq P_0$, то расчет произведен верно.

3.1.2.3 Расчет R3

Исходными данными для расчета являются:

- номинальное сопротивление $R3 = 2 \text{ МОм}$;
- относительная погрешность сопротивления $\gamma_R = 10 \%$;

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					26

- мощность рассеяния $P = 0,5 \cdot 10^{-3}$ мВт;
- сопротивление квадрата резистивной пленки $\rho_{\text{кв}} = 30000$ Ом/кв;
- удельная мощность рассеяния резистивной пленки $P_0 = 20$ мВт/мм²;
- минимальная технологически реализуемая длина и ширина резистора при фотолитографическом методе $l_{\text{min}}^T = b_{\text{min}}^T = 0,1$ мм;
- абсолютная производственная погрешность длины и ширины резистора при изготовлении $\Delta l = \Delta b = 0,005$ мм.

Вычисляем коэффициент формы k резистора по формуле (3.4)

$$k = \frac{2 \cdot 10^6}{30 \cdot 10^3} = 66,667.$$

Так как $k \gg 1$, то выбираем резистор в форме меандра и начинаем расчет с определения ширины резистора.

Вычисляем b_{min}^{Π} по формуле (3.14)

$$b_{\text{min}}^{\Pi} = \left(\Delta b + \frac{\Delta l}{k} \right) \cdot \gamma_{\text{к}} = \left(0,005 + \frac{0,005}{66,667} \right) \cdot \gamma_{\text{к}} = 0,00013 \text{ мм.}$$

Вычисляем b_{min}^P по формуле (3.15)

$$b_{\text{min}}^P = \sqrt{\frac{P}{P_0 \cdot k}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 66,667}} = 0,0006 \text{ мм.}$$

Из условия (3.13) определяем расчетную ширину резистора $b_{\text{расч}} \geq \max\{0,1; 0,00013; 0,0006\} = 0,1$ мм.

Определяем среднюю длину резистора по формуле (3.16)

$$l_{\text{расч}} = 0,1 \cdot 66,667 = 6,67 \text{ мм.}$$

Находим полную длину резистора по формуле (3.8)

$$l_{\text{п}} = 6,67 + 2 \cdot 0,1 = 6,87 \text{ мм.}$$

Рассчитываем количество звеньев резистора по формуле

$$n = \sqrt{\frac{a^2}{4t^2} + \frac{l_{\text{ср}}}{t}} - \frac{a}{2t}, \quad (3.17)$$

где $t = a + b$ – "шаг" меандра;

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	
Взаим. инд. №	
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					27

a – расстояние между соседними звеньями. Для минимизации площади резистора полагаем $a = b$;

$$n = \sqrt{\frac{0,1^2}{4 \cdot 0,2^2} + \frac{6,67}{0,2}} - \frac{0,1}{2 \cdot 0,2} = 5,53,$$

Полагаем число звеньев $n = 6$.

Определяем размеры контура резистора $R3$ по формулам (3.18) и (3.19)

$$L = n(a + b) = 6 \cdot (0,1 + 0,1) = 1,2 \text{ мм}; \quad (3.18)$$

$$B = \frac{l_{\text{ср}} - a \cdot n}{n} = \frac{6,67 - 0,1 \cdot 6}{6} = 1,01 \text{ мм}. \quad (3.19)$$

Производим проверку правильности расчета сопротивления резистора по формуле (3.10)

$$R_{\text{расч}} = \frac{30000 \cdot 6,67}{0,1} = 2 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Определяем площадь, занимаемую резистором, по формуле (3.12)

$$S = l \cdot b = 6,67 \cdot 0,1 = 0,667 \text{ мм}^2.$$

Определяем фактическое значение удельной мощности, рассеиваемой резистором, по формуле (3.11)

$$P_0^\phi = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,667} = 0,75 \cdot 10^{-3} < 20 \text{ мВт}.$$

Поскольку $R_{\text{расч}} \leq R3$, $P_0^\phi \leq P_0$, то расчет произведен верно.

3.1.2.4 Результаты расчета тонкопленочных резисторов схемы представляем в виде таблицы 4.

Инд. № подл.	Подп. и дата						Лист
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Инд. № дубл.	Подп. и дата						28
Взаим. инд. №							

И-в. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	И-в. № дудл.	Подп. и дата

Таблица 4

Позиционное обозначение	Номинальное сопротивление, допустимое отклонение, мощность	Материал	$\rho_{\text{кв}}$, Ом/кв	k	$b_{\text{min}}^{\text{П}}$, мм	$b_{\text{min}}^{\text{Р}}$, мм	$l_{\text{min}}^{\text{П}}$, мм	$l_{\text{min}}^{\text{Р}}$, мм	n
R1	22 кОм±10%, 0,089 мВт	PC-3001	30000	0,733	—	—	0,333	0,057	—
R2, R5	820 Ом±10%, 0,1·10 ⁻³ мВт	PC-1734	500	1,64	2·10 ⁻⁴	0,002	—	—	—
R3	2 МОм±10%, 0,5·10 ⁻³ мВт	PC-3001	30000	66,667	1,3·10 ⁻⁴	6·10 ⁻⁴	—	—	6
R4, R8	100 кОм±10%, 2,5·10 ⁻³ мВт	PC-3001	30000	3,333	1,6·10 ⁻⁴	0,006	—	—	—
R6	15 кОм±10%, 0,067 мВт	PC-3001	30000	0,5	—	—	0,288	0,04	—
R7	51 Ом±10%, 0,1·10 ⁻³ мВт	PC-1734	500	0,102	—	—	0,212	7,1·10 ⁻⁴	—
R9	5,1 кОм±10%, 0,1·10 ⁻³ мВт	PC-3001	30000	0,17	—	—	0,225	9,2·10 ⁻⁴	—

Изм.
Лист
№ докум.
Подп.
Дата

МАИ.4.67223.001 ПЗ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Продолжение таблицы 4

Позиционное обозначение	$b_{расч}$, мм	$l_{расч}$, мм	$l_{п}$, мм	$R_{расч}$, Ом	B , мм	L , мм	K_H
R1	0,45	0,33	0,53	22000	—	—	$2,9 \cdot 10^{-2}$
R2, R5	0,1	0,16	0,36	800	—	—	$3,1 \cdot 10^{-4}$
R3	0,1	6,67	6,87	$2 \cdot 10^6$	1,01	1,2	$3,7 \cdot 10^{-5}$
R4, R8	0,1	0,33	0,53	99000	—	—	$3,8 \cdot 10^{-3}$
R6	0,58	0,29	0,49	15000	—	—	$2,0 \cdot 10^{-2}$
R7	2,16	0,22	0,42	50,9	—	—	$1,1 \cdot 10^{-5}$
R9	1,3	0,22	0,42	5077	—	—	$1,7 \cdot 10^{-7}$

Изм.	
Лист	
№ докум.	
Подп.	
Дата	
МАИ.4.67223.001 ПЗ	
Лист	30

Копирдан

Формат А4

3.1.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов

3.1.3.1 Расчет тонкопленочных конденсаторов начинаем с выбора материала диэлектрика. Для того, чтобы изготовить все конденсаторы платы МСБ в одном технологическом цикле, необходимо использовать для всех конденсаторов один и тот же материал диэлектрика при одинаковой толщине диэлектрического слоя. Поэтому расчет материала диэлектрика будем проводить для конденсатора, имеющего наименьшее номинальное значение емкости.

Для схемы полосового фильтра это конденсатор $C3 = 27$ пФ,

$$U_p = 2,3 \text{ В.}$$

По значению номинальной емкости C и рабочего напряжения U_p из таблицы 2.3 [1] выбираем материал диэлектрика и представляем его параметры в виде таблицы 5.

Таблица 5

Наименование материала диэлектрика	C_0 , пФ/см ²	U_p , В	$\frac{E \cdot 10^{-6}}{6}$, В/см	ϵ	$\alpha_C \cdot 10^{-4}$, 1/°C	ТУ на материал
Стекло	$15 \cdot 10^3$	12,6				
электро-вакуумное	$20 \cdot 10^3$	10...12,6	3...4	5,2	1,5...1,8	НПО.027.600 ТУ
S41-1	$30 \cdot 10^3$	6,3...10				
	$40 \cdot 10^3$	6,3				

Определяем допустимую относительную погрешность площади верхней обкладки конденсатора по формуле

$$\gamma_s = \gamma_C - \gamma_{C0} - \gamma_{Ct} - \gamma_{C\tau}, \quad (3.20)$$

где γ_C – относительная погрешность емкости конденсатора, заданная в перечне элементов, $\gamma_C = 20$ %;

γ_{C0} – относительная погрешность удельной емкости диэлектрика $\gamma_{C0} = 3...5$ %.

Принимаем $\gamma_{C0} = 5$ %;

$\gamma_{Ct} = \alpha_C \cdot \Delta t$ – относительная температурная погрешность емкости.

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата	Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						31

Вычисляем температурную погрешность емкости

$$\gamma_{Ct} = \alpha_C \cdot \Delta t = 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 40 = 0,0072 = 0,72 \text{ \%};$$

$\gamma_{C\tau}$ – относительная погрешность старения емкости $\gamma_{C\tau} = 1 \text{ \%}$.

Вычисляем допустимую относительную погрешность площади верхней обкладки конденсатора по формуле (3.20)

$$\gamma_S = 20 - 5 - 0,72 - 1 = 13,28 \text{ \%}.$$

3.1.3.2 Расчет C1, C3

Исходными данными для расчета являются:

– заданная в электрической принципиальной схеме номинальная емкость конденсаторов $C1 = C3 = 27 \text{ пФ}$;

– заданное в электрической принципиальной схеме рабочее напряжение на обкладках конденсаторов $U_p = 2,3 \text{ В}$;

– относительная погрешность емкости конденсатора $\gamma_C = 20 \text{ \%}$.

Находим толщину диэлектрического слоя, обеспечивающую электрическую прочность конденсаторов, по формуле

$$d_{\text{расч}} = \frac{(2 \div 4) \cdot U_p}{E} = \frac{4 \cdot 2,3}{3 \cdot 10^6} = 3,067 \cdot 10^{-6} \text{ см}, \quad (3.21)$$

где E – диэлектрическая прочность диэлектрика, приведенная в таблице 5.

Принимаем толщину диэлектрика $d = 0,3 \text{ мкм}$.

Определяем удельную емкость диэлектрика, при которой выполняется требование к электрической прочности конденсаторов, по формуле

$$C_0^E = \frac{0,0885 \cdot \varepsilon}{d} = \frac{0,0885 \cdot 5,2}{3 \cdot 10^{-5}} = 15,34 \cdot 10^3 \text{ пФ/см}^2. \quad (3.22)$$

Определяем удельную емкость материала диэлектрика, обусловленную требованием точности номинала емкости конденсаторов по формуле

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						32

$$C_0^P = C \cdot \left(\frac{\gamma_S}{\Delta L} \right)^2 \cdot \frac{K_C}{(1 + K_C)^2} = 27 \cdot \left(\frac{0,1328}{5 \cdot 10^{-4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{4} = 476,17 \cdot 10^3 \text{ пФ/см}^2, \quad (3.23)$$

где $K_C = \frac{L}{B}$ – коэффициент формы конденсатора. Так как нет особых требований к форме конденсатора, полагаем $K_C = 1$;

ΔL – абсолютная погрешность выполнения размера, характерная для фотолитографического метода изготовления конденсаторов, $\Delta L = 5$ мкм.

Определяем расчетное значение удельной емкости материала диэлектрика из условия

$$C_0^P \leq \min\{C_0^E; C_0^P\} \leq \min\{15,34 \cdot 10^3; 476,17 \cdot 10^3\} = 15,34 \cdot 10^3 \text{ пФ/см}^2. \quad (3.24)$$

Расчетное значение C_0^P , отвечающее технически реализуемым значениям для выбранного материала диэлектрика, $C_0^P = 15 \cdot 10^3 \text{ пФ/см}^2$.

Находим фактическое значение толщины диэлектрического слоя по формуле

$$d^\Phi = \frac{0,0885 \cdot \varepsilon}{C_0^P} = \frac{0,0885 \cdot 5,2}{15000} = 3,068 \cdot 10^{-5} \text{ см}. \quad (3.25)$$

Находим площадь верхней обкладки конденсатора по формуле

$$S = \frac{C}{C_0^P} = \frac{27}{15000} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 = 0,18 \text{ мм}^2. \quad (3.26)$$

Определяем размеры верхней обкладки конденсатора по формулам

$$L = \sqrt{K_C \cdot S} = 0,42 \text{ мм}; \quad (3.27)$$

$$B = \sqrt{\frac{S}{K_C}} = 0,42 \text{ мм}. \quad (3.28)$$

Определяем размеры нижней обкладки конденсатора по формулам

$$L_1 = L + 2(\Delta L + h_l) = 0,42 + 2 \cdot (0,005 + 0,1) = 0,63 \text{ мм}; \quad (3.29)$$

$$B_1 = B + 2(\Delta B + h_b) = 0,42 + 2 \cdot (0,005 + 0,1) = 0,63 \text{ мм}, \quad (3.30)$$

где $\Delta L = \Delta B = 0,005$ мм – абсолютные погрешности выполнения размера;

$h_l = h_b = 0,1$ мм – припуски на совместимость слоев.

Инд. № подл.	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата			
Инд. № подл.	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						33

Определяем размеры диэлектрического слоя по формулам

$$L_2 = L_1 + 2(\Delta L + h_l) = 0,63 + 2 \cdot (0,005 + 0,1) = 0,84 \text{ мм}; \quad (3.31)$$

$$B_2 = B_1 + 2(\Delta B + h_b) = 0,63 + 2 \cdot (0,005 + 0,1) = 0,84 \text{ мм}. \quad (3.32)$$

Производим проверку правильности расчета номинальной емкости конденсатора по формуле

$$C = C_0 \cdot S = 15 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 27 \text{ пФ}. \quad (3.33)$$

Определяем фактическое значение напряженности электрического поля в конденсаторе по формуле

$$E^\Phi = \frac{U_p}{d_\Phi} = \frac{2,3}{3 \cdot 10^{-5}} = 76667 \leq E \text{ В/см}. \quad (3.33)$$

Так как $E^\Phi < E$, то расчет произведен верно.

3.1.3.3 Результаты расчета тонкопленочных конденсаторов схемы представляем в виде таблицы 6.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дудл.	Подп. и дата						Лист
										34
					МАИ.467223.001 ПЗ					
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Таблица 6

Позиционное обозначение	Номинальная емкость, допустимое отклонение, рабочее напряжение	$d_{расч},$ см	$d,$ см	$C_0^E,$ пФ/см ²	$C_0^П,$ пФ/см ²	$C_0^P,$ пФ/см ²	$d^φ,$ см	$S,$ мм ²	$L,$ $B,$ мм	$L_1,$ $B_1,$ мм	$L_2,$ $B_2,$ мм
C1, C3	27 пФ±20%, 2,3 В	$3,07 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	15340	476170	15000	$3,07 \cdot 10^{-5}$	0,18	0,42	0,63	0,84
C4	51 пФ±20%, 7,9 В	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	15340	899428	15000	$3,07 \cdot 10^{-5}$	0,34	0,58	0,79	1,0
C5	100 пФ±20%, 0,5 В	$6,67 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-5}$	15340	1763584	15000	$3,07 \cdot 10^{-5}$	0,67	0,82	1,03	1,24

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.4.67223.001 ПЗ

3.1.4 Составление коммутационной схемы

Коммутационная схема представляет собой графическое изображение электрического соединения элементов и компонентов микросборки. Внешние электрические цепи и компоненты микросборки заменяем контактными площадками.

Коммутационная схема платы ПФ-Т представлена на рисунке 2.

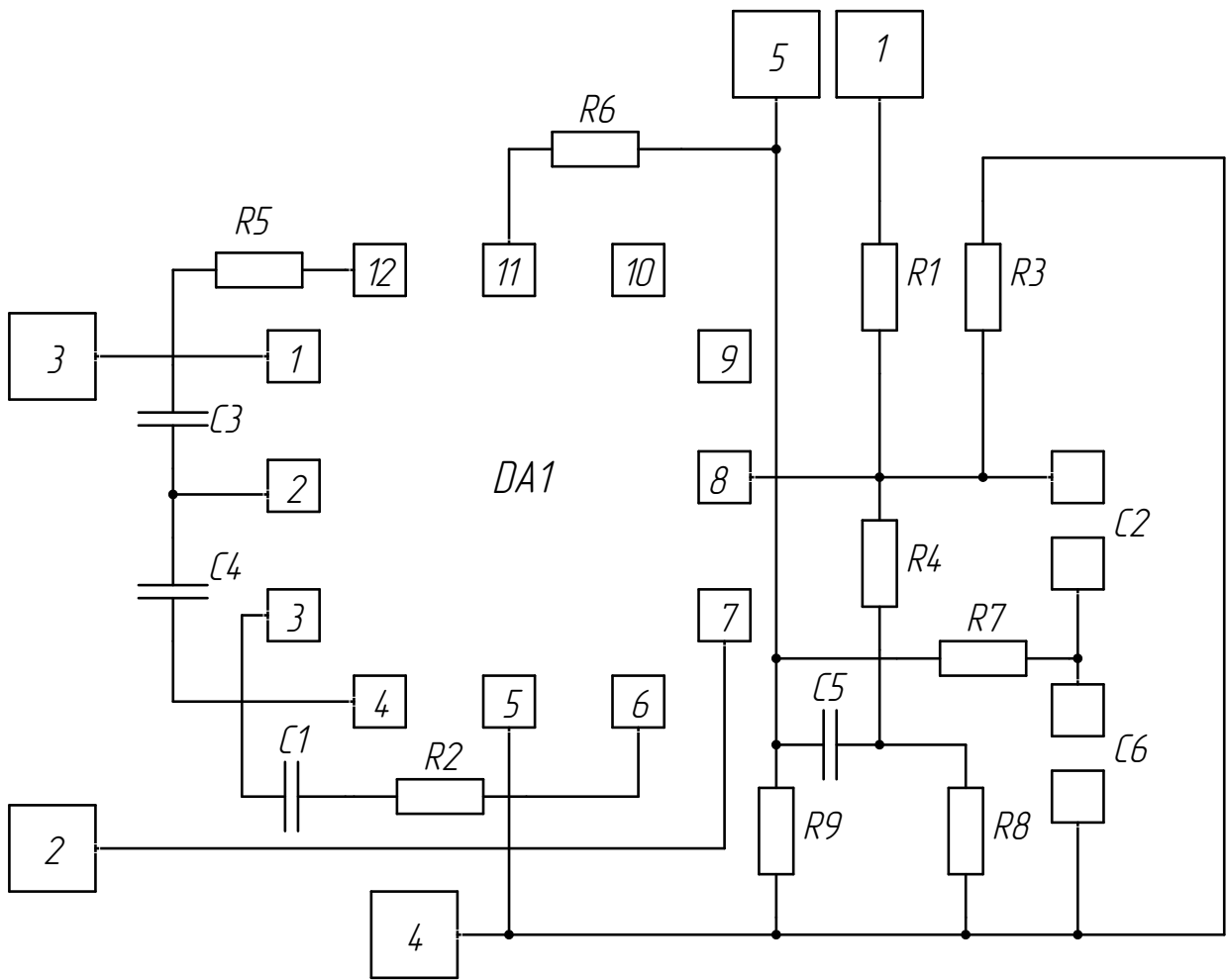


Рисунок 2 – Коммутационная схема платы ПФ-Т

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

36

3.1.5 Выбор типоразмера подложки

Для выбора типоразмера подложки необходимо найти ее площадь по формуле

$$S_{\Pi} = q_s \cdot (S_R + S_C + S_H + S_K), \quad (3.34)$$

где q_s – коэффициент дезынтеграции площади $q_s = 1,5...2,5$,

S_R , S_C , S_H , S_K – площади, занимаемые тонкопленочными резисторами, тонкопленочными конденсаторами, навесными элементами и контактными площадками, соответственно.

Площади S_R и S_C определяем в результате расчета тонкопленочных элементов; S_H – по данным, приведенным в таблицах 2 и 3. Площадь контактных площадок S_K находим исходя из того, что размеры внешних контактных площадок должны быть не менее $0,4 \times 0,4$ мм, а контактных площадок для присоединения выводов компонентов не менее $0,3 \times 0,3$ мм.

Результаты расчета площади подложки платы ПФ-Т представляем в таблице 7.

Таблица 7

$S_R, \text{мм}^2$	$S_C, \text{мм}^2$	$S_H, \text{мм}^2$	$S_K, \text{мм}^2$	$S_{\Pi}, \text{мм}^2$
1,8429	3,9488	12,25	1,88	49,8

По рассчитанной площади подложки из таблицы 2.4 [1], в которой приведены рекомендуемые габаритные размеры подложек, выбираем типоразмер с площадью $S > S_{\Pi}$. Выбираем типоразмер №16 с размерами 8×10 мм.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Таблица 7					Лист
					$S_R, \text{мм}^2$	$S_C, \text{мм}^2$	$S_H, \text{мм}^2$	$S_K, \text{мм}^2$	$S_{\Pi}, \text{мм}^2$	
					1,8429	3,9488	12,25	1,88	49,8	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ					37

4 Разработка конструкции РЭС

Исходя из требований технического задания по заданным габаритным размерам блока определяем параметры входящих в блок функциональных ячеек.

Разработку конструкции блока будем производить в следующей последовательности:

- выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока;
- выбор системы охлаждения;
- разработка конструкции функциональной ячейки;
- разработка конструкции блока;
- проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока.

4.1 Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока

Поскольку блок предназначен для установки на самолете, то для защиты от воздействия внешних дестабилизирующих факторов необходимо выполнить его в герметичном корпусе книжной конструкции с горизонтальным расположением функциональных ячеек.

4.2 Выбор системы охлаждения

При выборе системы охлаждения используем следующие исходные данные:

- тепловой поток, рассеиваемый поверхностью корпуса конструкции $P_{\text{п}} = 250$ мВт;
- площадь поверхности теплообмена $S_K = 0,00178$ м²;
- допустимая рабочая температура наименее теплостойкого элемента $t_{\text{эл min}} = 80$ °С;
- максимальная температура окружающей среды $t_{\text{ср max}} = 60$ °С;

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

38

– минимальное давление окружающей среды $H_{cp\ min} = 645$ мм рт. ст.

Значение теплового потока определяем через потребляемую от источника питания мощность $P_{п}$ и коэффициент полезного действия $\eta = 0,4$ по формуле:

$$P = P_{п} \cdot (1 - \eta) = 150 \text{ мВт.} \quad (4.1)$$

Чтобы выбрать систему охлаждения находим поверхностную плотность теплового потока по формуле

$$P_{OS} = K_H \cdot P / S_K = 91,43 \text{ Вт/м}^2, \quad (4.2)$$

где $K_H = \frac{1}{\sqrt{H_{cp\ min} / 760}} = 1,085$ – поправочный коэффициент на давление окружающей среды.

Определяем допустимый перегрев конструкции по формуле

$$\Delta t_{доп} = t_{эл\ min} - t_{ср\ max} = 80 - 60 = 20 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (4.3)$$

Значения P_{OS} и $\Delta t_{доп}$ являются координатами точки, положение которой на диаграмме, приведенной на рисунке 3, определяет систему охлаждения блока. Из анализа диаграммы видно, что для конструкции разрабатываемого блока достаточно естественного воздушного охлаждения. Однако, для обеспечения нормального теплового режима в блоке зазоры между функциональными ячейками должны быть не менее 5 мм.

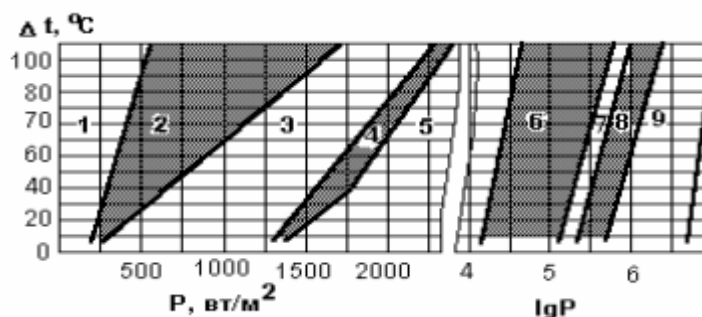


Рисунок 3 – Диаграмма для определения системы охлаждения

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

МАИ.467223.001 ПЗ

Копировал

Формат А4

Лист

39

4.3 Разработка конструкции функциональной ячейки

4.3.1 Расчет геометрических размеров функциональной ячейки

Функциональные ячейки на бескорпусных микросборках в конструкции блока книжного типа представляют собой металлическую рамку с поперечными и продольными ребрами жесткости. Для установки бескорпусных микросборок в рамке имеются планки.

Для соединения выводов микросборки с внешними контактными площадками функциональной ячейки служит печатная плата, которая приклеивается к нижней плоскости рамки.

Высоту односторонней функциональной ячейки находим по формуле

$$h_{я} = h_{МСБ} + h_{пл} + h_{пп} + h_{кл} + h_{заз}, \quad (4.4)$$

где $h_{МСБ} = 2$ мм – высота микросборки, $h_{пл} = 0,5$ мм – толщина планки, $h_{пп} = 1$ мм – толщина печатной платы, $h_{кл} = 0,2$ мм – толщина клеевой прослойки, $h_{заз} = 1,5$ мм – толщина суммарного воздушного зазора.

Тогда $h_{я} = 5,2$ мм.

Расчет длины и ширины рамки производим по спроектированным геометрическим размерам микросборки и количеству микросборок в функциональной ячейке, заданных в ТЗ. По размерам и числу микросборок, устанавливаемых на одной планке, находим размеры планок.

Поскольку в ТЗ требуется разместить в одной функциональной ячейке 12 микросборок, то на одной планке будем располагать три микросборки, а рамка будет состоять из четырех планок.

Ширину планки определяем по формуле

$$b_{пл} = b_{МСБ} - 2 = 10 - 2 = 8 \text{ мм}, \quad (4.5)$$

где $b_{МСБ}$ – ширина подложки микросборки.

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						40

Длину планки определяем по формуле

$$l_{пл} = nl_{МСБ} + (n + 1)l_3 = 32 \text{ мм}, \quad (4.6)$$

где $n=3$ – число микросборок на планке, $l_{МСБ} = 8$ мм – длина подложки микросборки, $l_3 = 2$ мм – расстояние между микросборками и между микросборками и ребрами жесткости рамки.

4.4 Разработка конструкции блока

На основании спроектированной конструкции функциональной ячейки, чертежи которой приведены в приложении, и требований ТЗ разрабатываем блок книжной конструкции, состоящий из четырех функциональных ячеек и источника питания.

4.5 Проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока

В результате разработки конструкции габаритные размеры блока равны $114 \times 74 \times 37$ мм (длина – ширина – высота), а масса – 0,7 кг, что не превышает заданные в ТЗ требования.

Следовательно, выбранный тип конструкции и компоновочная схема блока удовлетворяют требованиям ТЗ.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						41

5 Оценка показателей качества конструкции

5.1 Оценочный расчет тепловых режимов конструкции

Тепловой режим разработанной конструкции должен удовлетворять следующему требованию: температура в любой точке конструкции не должна превышать допустимой рабочей температуры наименее теплостойкого элемента $t_{эл\ min} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Процессы теплообмена в блоке книжного типа можно представить тепловой моделью конструкции с источниками тепла, распределенными в объеме. Нагретая зона представляет собой объем, занимаемый собранными в блок функциональными ячейками. Самая «горячая» точка конструкции – центр нагретой зоны.

Схематическое изображение конструкции приведено на рисунке 4.

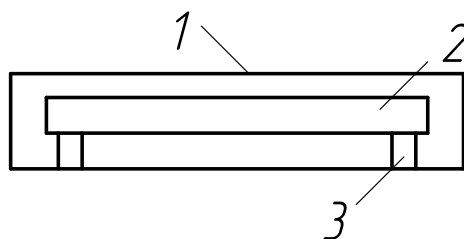


Рисунок 4 – Схематическое изображение конструкции

Пакет из четырех функциональных ячеек (нагретая зона) 2 размещен в корпусе 1 и закрепляется на корпусе с помощью втулок 3.

При построении тепловой модели принимаем следующие допущения:

- нагретая зона является однородным анизотропным телом;
- источники тепла в нагретой зоне распределены равномерно;
- поверхности нагретой зоны и корпуса – изотермические со среднеповерхностными температурами t_3 , $t_{кв}$, $t_{кн}$ соответственно.

В процессе работы блока элементы плат микросборок выделяют тепло, которое от поверхности нагретой зоны посредством конвективной $\sigma_{зк}$ и лучевой

Инд. № подл.	Подп. и дата				Лист			
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.					42		
Подп. и дата		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.		Дата	МАИ.467223.001 ПЗ

$\sigma_{3Л}$ теплопередачи через воздушные прослойки, теплопроводностью контакта нагретая зона – установочные втулки ($\sigma_{ТК}$) и сами втулки ($\sigma_{ЗТ}$) передается на внутреннюю поверхность корпуса блока. За счет теплопроводности стенок $\sigma_{СК}$ тепло выводится на наружную поверхность корпуса, откуда конвекцией $\sigma_{КК}$ и излучением $\sigma_{КЛ}$ передается в окружающее пространство.

Тепловая модель, отражающая процесс теплообмена в конструкции блока, приведена на рисунке 5.

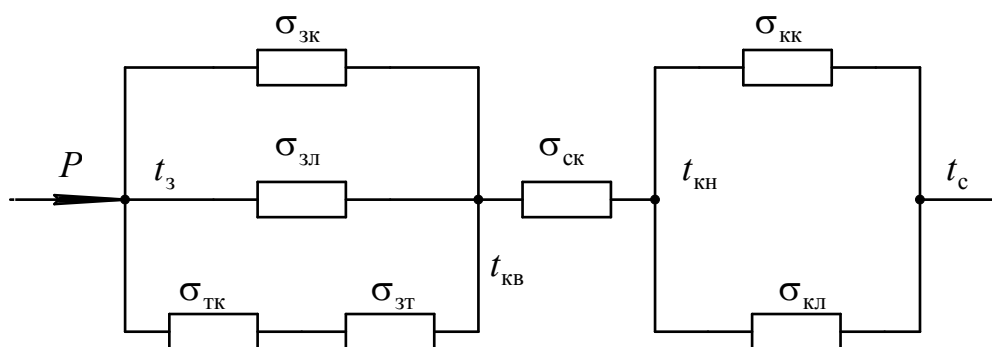


Рисунок 5 – Тепловая модель блока

Критерием оценки теплового режима конструкции блока является температура в центре нагретой зоны t_{30}

$$t_{30} = t_3 + P / \sigma_3, \quad (5.1)$$

$$t_3 = t_{КВ} + \frac{P}{\sigma_{3К} + \sigma_{3Л} + \frac{\sigma_{ТК}\sigma_{ЗТ}}{\sigma_{ТК} + \sigma_{ЗТ}}}, \quad (5.2)$$

$$t_{КВ} = t_{КН} + P / \sigma_{СК}, \quad (5.3)$$

$$t_{КН} = t_с + \frac{P}{\sigma_{КК} + \sigma_{КЛ}}, \quad (5.4)$$

где P – тепловой поток, рассеиваемый конструкцией;

$\sigma_3 = \frac{4\lambda_z l_x l_y}{cl_z}$ – тепловая проводимость нагретой зоны от центра к ее поверхности;

Инд. № подл.	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Инд. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
												43
											Копировал	Формат А4

λ_z – эквивалентный коэффициент теплопроводности нагретой зоны по направлению z ;

l_x, l_y, l_z – приведенные геометрические размеры нагретой зоны по соответствующим направлениям осей координат;

c – коэффициент формы нагретой зоны, определяемый по графикам рис.4.2 [1];

$\sigma_{зк} = \frac{k\lambda_{в} \cdot S_3 + S_{кв}}{l_{ср}}$ – конвективно-кондуктивная тепловая проводимость между

нагретой зоной и внутренними стенками корпуса;

k – поправочный коэффициент на конвективный теплообмен в условиях ограниченного пространства;

$\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воздуха для среднего значения температуры воздуха в прослойке;

$l_{ср}$ – среднее расстояние между нагретой зоной и кожухом блока;

S_3 – площадь поверхности нагретой зоны;

$S_{кв}$ – площадь внутренней поверхности корпуса;

$\sigma_{зл} = \alpha_{лз} \cdot S_3$ – тепловая проводимость теплопередачи от нагретой зоны к внутренней стенке корпуса излучением;

$\alpha_{лз}$ – коэффициент теплопередачи излучением;

$\sigma_{тк}$ – тепловая проводимость контакта между нагретой зоной и установочными элементами;

$\sigma_{зт} = \frac{n\lambda}{l} S_{ср}$ – тепловая проводимость установочных элементов;

n – число установочных элементов;

λ – коэффициент теплопроводности материала;

l – длина установочных элементов по направлению теплового потока;

$S_{ср}$ – площадь средней изотермической поверхности, перпендикулярной направлению теплового потока;

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						44

$$\sigma_{\text{СК}} = \frac{\lambda_{\text{СК}} \cdot (S_{\text{КВН}} + S_{\text{КН}})}{\delta_{\text{СК}}} - \text{тепловая проводимость стенок корпуса};$$

$\lambda_{\text{СК}}$ – коэффициент теплопроводности материала корпуса;

$\delta_{\text{СК}}$ – толщина стенки;

$S_{\text{КВН}}, S_{\text{КН}}$ – площади внутренней и наружной поверхностей корпуса;

$\sigma_{\text{КК}} = \alpha_{\text{К}} \cdot S_{\text{КН}}$ – тепловая проводимость от наружной поверхности корпуса к среде для конвективной теплопередачи;

$\alpha_{\text{К}}$ – коэффициент конвективной теплопередачи;

$\sigma_{\text{КЛ}} = \alpha_{\text{Л}} \cdot S_{\text{КН}}$ – тепловая проводимость от наружной стенки корпуса к среде для теплопередачи излучением;

$\alpha_{\text{Л}}$ – коэффициент теплопередачи излучением.

Для определения конвективного и лучевого коэффициентов теплопередачи $\alpha_{\text{К}}$ и воспользуемся номограммами, приведенными на рисунках 6 и 7.

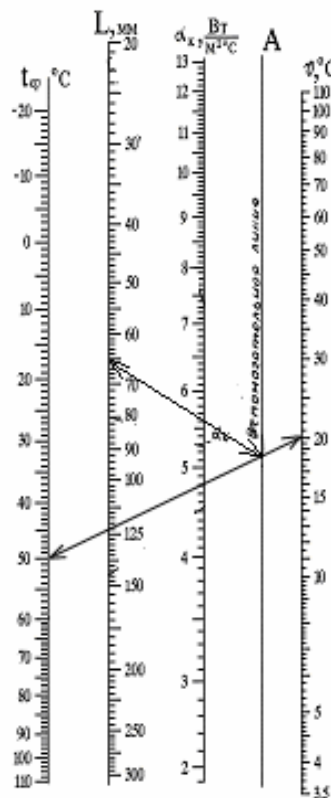


Рисунок 6 – Номограмма для определения конвективного коэффициента теплопередачи $\alpha_{\text{К}}$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Копировал

Формат А4

Лист

45

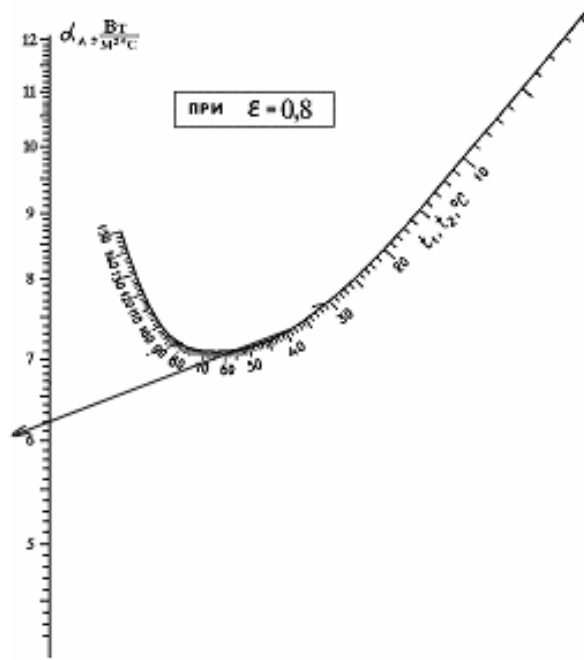


Рисунок 7 – Номограмма для определения лучевого коэффициента теплопередачи $\alpha_{л}$

Для определения $\alpha_{к}$ задаем начальный перегрев поверхности $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определяем температура на поверхности теплообмена по формуле

$$t_{п} = t_{с} + \Delta t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (5.5)$$

где $t_{с}$ – температура окружающей среды.

Вычисляем среднее значение температуры окружающей среды по формуле

$$t_{ср} = 0,5(t_{п} + t_{с}) = 70\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (5.6)$$

Находим определяющий размер нагретой конструкции по формуле

$$L = \sqrt{\frac{S}{6}} = 71,6\text{ мм}, \quad (5.7)$$

где $S = 2lb + 2lh + 2bh = 30734\text{ мм}^2$ – площадь поверхности теплообмена (l , b , h – габаритные размеры блока).

По номограмме (рисунок 6) находим значение конвективного коэффициента теплопередачи $\alpha_{к} = 5,35\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Инд. № подл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

46

По номограмме, приведенной на рисунке 7, определяем лучевой коэффициент теплопередачи $\alpha_{л} = 7,5 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$.

Пересчитываем коэффициент теплопередачи $\alpha_{л}$ на реальную степень черноты поверхности теплообмена по формуле

$$\alpha_{л} = \alpha_{лн} \varepsilon / \varepsilon_{н} = 3,75 \text{ Вт/м}^2\text{°С}, \quad (5.8)$$

где $\alpha_{лн}$ – значение коэффициента теплопередачи, определенного по номограмме; $\varepsilon = 0,4$ – степень черноты поверхности корпуса; $\varepsilon_{н} = 0,8$ – степень черноты поверхности теплообмена на номограмме.

Площадь наружной поверхности корпуса $S_{кн} = 0,031 \text{ м}^2$.

Площадь внутренней поверхности корпуса $S_{квн} = 0,029 \text{ м}^2$.

Определяем тепловую проводимость от наружной поверхности корпуса к среде для конвективной теплопередачи $\sigma_{кк} = 5,35 \cdot 0,031 = 0,166 \text{ Вт/°С}$.

Определяем тепловую проводимость от наружной стенки корпуса к среде для теплопередачи излучением $\sigma_{кл} = 3,75 \cdot 0,029 = 0,109 \text{ Вт/°С}$.

Вычисляем тепловую проводимость стенок корпуса

$$\sigma_{ск} = \frac{160}{0,003} \cdot \frac{0,029 + 0,031}{2} = 1600 \text{ Вт/°С} \quad (\lambda_{ск} = 160 \text{ Вт/м}^2\text{°С}, \delta_{ск} = 3 \text{ мм}).$$

Определяем среднеповерхностную температуру на внешней поверхности корпуса $t_{кн} = 60 + \frac{150 \cdot 10^{-3}}{0,166 + 1600} = 60 \text{ °С}$.

Определяем среднеповерхностную температуру на внутренней поверхности корпуса $t_{квн} = 60 + \frac{150 \cdot 10^{-3}}{1600} = 60 \text{ °С}$.

Вычисляем конвективно-кондуктивную тепловую проводимость между нагретой зоной и внутренними стенками корпуса

$$\sigma_{зк} = \frac{0,0297}{0,007} \cdot \frac{0,025 + 0,031}{2} = 0,119 \text{ Вт/°С}$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Инд. № подл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						47

Для условий теплообмена в ограниченном пространстве коэффициент теплопередачи излучением принимаем $\alpha_{лз} = 7 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$.

Находим тепловую проводимость теплопередачи от нагретой зоны к внутренней стенке корпуса излучением $\sigma_{зл} = 7 \cdot 0,025 = 0,175 \text{ Вт/°С}$.

Определяем тепловую проводимость установочных элементов $\sigma_{зт} = \frac{2 \cdot 160}{0,01} \cdot 0,025 = 800 \text{ Вт/°С}$.

Вычисляем температуру на поверхности рабочей зоны $t_3 = 60 + \frac{150 \cdot 10^{-3}}{0,119 + 0,175 + 800} = 60,0002 \text{ °С}$.

Поскольку температура на поверхности рабочей зоны практически равна температуре окружающей среды, то, следовательно, выбранная конструкция блока обеспечивает нормальный тепловой режим.

5.2 Оценка вибропрочности конструкции

Конструкция считается вибропрочной, если в ней отсутствуют механические резонансы, а допустимая виброперегрузка на резонансной частоте превышает перегрузку, указанную в техническом задании на изделие.

Отсутствие в конструкции механических резонансов характеризуется соотношением частот свободных колебаний f_0 любого элемента конструкции и верхней частоты f_B диапазона внешних вибрационных воздействий: $f_0 \geq 2f_B$.

Критериями оценки вибропрочности конструкции являются частота свободных колебаний f_0 и допустимая величина виброперегрузки.

Функциональную ячейку на металлической рамке, закрепляемую в четырех точках по углам, представляем расчетной моделью пластины, равномерно нагруженной элементами, со свободным опиранием всех сторон.

Расчетная модель для оценки вибропрочности конструкции представлена на рисунке 8.

Инд. № подл.	Инд. № докл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						48

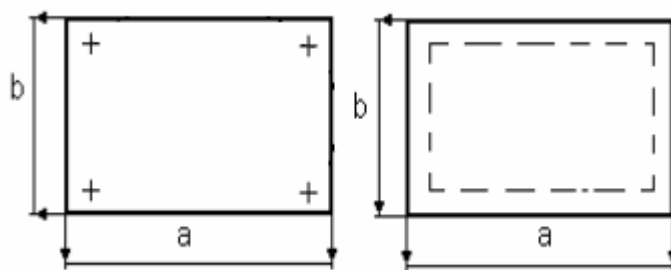


Рисунок 8 – Расчетная модель для оценки вибропрочности конструкции

Принятый способ закрепления обосновывается тем, что при изгибных колебаниях основного тона вдоль каждой из сторон пластины укладываются полволны, узлы перемещения совпадают с точками крепления платы. Поэтому наличие точек закрепления не сказывается на параметрах колебания.

Частоту свободных колебаний основного тона прямоугольной пластины определяем по формуле

$$f_0 = \frac{C \cdot h}{a^2} \cdot K_M \cdot K_3 \cdot 10^5, \quad (5.9)$$

где $C = 76$ – частотная составляющая; $h = 1$ мм – толщина пластины; $a = 74$ мм –

большая сторона пластины; $K_M = \sqrt{\frac{E \cdot \rho_c}{E_c \cdot \rho}} = 0,799$ – поправочный коэффициент на

материал пластины, здесь $E = 30,2 \cdot 10^9$ Па, $E_c = 200 \cdot 10^9$ Па – модули упругости материала пластины (СФ-1-50) и стали, $\rho = 1,85$ г/см³, $\rho_c = 7,82$ г/см³ – плотности

материала пластины и стали; $K_3 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_3}{m_{\Pi}}}} = 0,28$ – поправочный коэффициент

на нагружение пластины равномерно размещенными на ней элементами, здесь $m_3 = 12 \cdot m_{\text{МСБ}} = 84$ г, $m_{\Pi} = \rho \cdot V = 7,4$ г – массы элементов и пластины ($m_{\text{МСБ}}$ – масса микросборки, ρ [г/см³] и V [см³] – плотность и объем пластины, соответственно).

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
											49

Определяем по формуле (4.15) частоту свободных колебаний основного тона $f_0 = \frac{76 \cdot 1}{74^2} \cdot 0,799 \cdot 0,28 \cdot 10^5 = 310,5$ Гц.

Находим допустимую величину вибрационной перегрузки по формуле

$$n_{\text{вд}} = \frac{(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 \cdot z_{\text{доп}}}{g \cdot \mu} = 19,4, \quad (5.10)$$

где $z_{\text{доп}} = 0,5$ мм – допустимая величина прогиба упругого элемента конструкции, $\mu = 10$ – коэффициент динамичности, $g = 9815$ мм/с² – ускорение свободного падения.

Поскольку частота свободных колебаний основного тона $f_0 = 310,5$ Гц, а наиболее разрушительное влияние на конструкцию оказывают частоты в диапазоне до 60 Гц, то выбранный вариант конструкции вибропрочен.

5.3 Расчет надежности блока по внезапным отказам

Надежность – это свойство изделия выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации при сохранении значений основных параметров в заранее установленных пределах.

К качественным показателям надежности относят:

- *безотказность* – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Отказом называется такое событие, при котором происходит частичная или полная потеря работоспособности изделия. Отказы делятся на:

а) постепенные, которые вызываются постепенным изменением параметров элементов схемы и конструкции ("старение" элементов);

б) внезапные, которые проявляются в виде скачкообразного изменения параметров аппарата (например, перегорание резистора, пробой конденсатора и т. д.)

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						50

- *ремонтпригодность* – свойство изделия, заключающееся в том, что изделие приспособлено:

- а) к предупреждению возможных причин возникновения отказа;
- б) к обнаружению причин возникшего отказа или повреждения;
- в) к устранению последствий возникшего отказа или повреждения путем ремонтов или технического обслуживания;

- *долговечность* – свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельно состояния при условии выполнения установленных требований по техническому обслуживанию и ремонту. *Предельное состояние изделия* – это такое состояние, при котором его дальнейшее применение по назначению или же восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно;

- *сохраняемость* – свойство изделия непрерывно находиться в исправном состоянии при хранении или транспортировании.

К количественным показателям надежности относят:

- *интенсивность отказов* показывает, какая доля элементов данного типа в среднем выходит из строя за 1 час работы. Она определяется на основании экспериментов и выражается формулой:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)},$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших изделий в интервале времени Δt ; $N_{cp}(\Delta t)$ – среднее число изделий, непрерывно работающих в интервале времени Δt ;

$$N_{cp}(\Delta t) = \frac{N_i + N_{i+1}}{2},$$

где N_i – количество изделий, исправно работающих в начале интервала Δt ;
 N_{i+1} – количество изделий, исправно работающих в конце интервала Δt .

Инд. № подл.	Инд. № докл.	Взаим. инд. №	Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						51

Интенсивность отказов изделия, состоящего из различных элементов, определяют как:

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – интенсивности отказов первого, второго и n -ого элементов изделия.

▪ *вероятность безотказной работы* показывает, какая часть изделий будет исправно работать в течение заданного времени t_p ($0 < P(t_p) < 1$). Вероятность безотказной работы по статическим данным, полученным в результате испытаний аппаратуры, выражается формулой:

$$\overline{P(t)} = \frac{N - n(t)}{N},$$

где N – количество изделий, исправно работающих в начале испытания; $n(t)$ – количество изделий, отказавших за время t .

Вероятность безотказной работы подчиняется закону распределения интенсивности отказов

$$P(t) = e^{-\Lambda t_p},$$

где e – основание натуральных логарифмов; t_p – интервал работы;

▪ *вероятность отказа* – вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникнет хотя бы один отказ:

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы.

$P(t)$ и $Q(t)$ события несовместимые и противоположные.

▪ *средняя наработка до первого отказа* – математическое ожидание времени работы изделия до первого отказа:

$$T_{cp} = \frac{1}{\Lambda}, \text{ где } \Lambda \text{ – интенсивность отказов изделия.}$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						52

Расчет надежности будем выполнять на основе логической модели безотказной работы блока. При составлении модели полагаем, что отказы элементов независимы, а элементы и блок в целом могут находиться в одном из двух состояний: работоспособным или неработоспособным. Поскольку в ТЗ не предъявляются требования к резервированию, то используем последовательную схему надежности, когда отказ любого элемента приводит к отказу блока.

Для последовательной логической схемы надежности

$$\lambda_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{э}i}$$

где $\lambda_{\text{э}i}$ – эксплуатационное значение интенсивности отказов i -го элемента, учитывающее внешние воздействия, влияние тепловых и электрических нагрузок элементов, n – число элементов.

Расчет $\lambda_{\text{э}i}$ производим по формуле

$$\lambda_{\text{э}i} = \lambda_{0i} \cdot a_i \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_{0i}, \quad (5.11)$$

где λ_{0i} – интенсивность отказов элементов в номинальном режиме работы; a_i – поправочный коэффициент на температуру и электрическую нагрузку элемента; k_1 – коэффициент, учитывающий влияние механических воздействий; k_2 – коэффициент, учитывающий воздействие климатических факторов (температура, влажность); k_3 – коэффициент, отражающий условия работы при пониженном атмосферном давлении.

Определяем по справочным данным [1] значения коэффициентов: $k_1 = 1,65$ (для самолетных условий эксплуатации при суммарных воздействиях), $k_2 = 1,0$ (для температуры 20...40°C и влажности 60...70%), $k_3 = 1,4$ (при высоте 15...30 км).

Определяем интенсивность отказов блока по формуле

$$\lambda_{\text{бл}} = 4 \cdot \lambda_{\text{фя}} + 3 \cdot \lambda_{\text{соед}} + n \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (5.12)$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

53

где $\lambda_{\text{фя}} = 12 \cdot \lambda_{\text{МСБ}} + \lambda_{\text{пп}} + n \cdot \lambda_{\text{п}} =$

$= 12 \cdot 0,02 \cdot 10^{-6} + 0,7 \cdot 10^{-6} + 60 \cdot 0,005 \cdot 10^{-6} = 1,24 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Здесь $\lambda_{\text{МСБ}}$, $\lambda_{\text{пп}}$, $\lambda_{\text{п}}$ – интенсивность отказов микросборки, печатной платы и паек, соответственно; n – количество паек; $\lambda_{\text{соед}} = 0,065 \cdot 10^{-6}$ 1/ч – интенсивность отказов соединителя блока.

По формуле (5.12) вычисляем интенсивность отказа блока

$$\lambda_{\text{бл}} = 4 \cdot 1,24 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 0,065 \cdot 10^{-6} + 500 \cdot 0,005 \cdot 10^{-6} = 7,655 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Определяем эксплуатационную интенсивность отказов по формуле (5.11)

$$\lambda_{\text{э}} = 7,655 \cdot 10^{-6} \cdot 1,65 \cdot 1,0 \cdot 1,4 = 17,68 \cdot 10^{-6}$$

Находим время наработки на отказ блока по формуле

$$T = \frac{1}{\lambda_{\text{э}}} = 56560 \text{ ч.} \quad (5.13)$$

Определяем вероятность безотказной работы в течение 9000 ч по формуле

$$P(t) = e^{-17,68 \cdot 10^{-6} \cdot 9000} = 0,853. \quad (5.14)$$

Так как вероятность безотказной работы, заданная в ТЗ, больше значения, полученного при расчете, то, следовательно, разработанная конструкция не удовлетворяет требованиям надежности. Для выполнения требований ТЗ следует применить резервирование.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инд. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
						54

6 Разработка технологического процесса платы МСБ

Технологический процесс изготовления платы микросборки приведен в таблице 8.

Таблица 8

Операция	Материал	Оборудование	Инструмент	Приспособления	Режимы	Контроль
Контроль входного материала	Ситалл СТ-50-0,5					Контроль отсутствия механических повреждений и электрических параметров
Разрезать на заготовки		Универсальный станок	Алмазный диск			Контроль геометрических размеров подложек
Отшлифовать поверхность подложки	Эмульсия	Шлифовальный станок	Шлифовальный диск			Контроль шероховатости Rz = 5 мкм, неплоскостности 0,1 мкм на 1 мм длины
Отполировать поверхность подложки	Эмульсия	Полировальный станок	Бязевый полировальный круг			Контроль шероховатости Rz = 0,1 мкм, неплоскостности 1,25 мкм на 1 мм длины
Прокипятить подложку	Раствор перекиси водорода и аммиака	Ванна			t=100°C, t= 10 мин	Контроль температуры раствора и времени кипячения
Промыть подложку	Дистиллированная вода	Ванна			t= 3 мин	
Прокипятить подложку	Дистиллированная вода	Ванна			t=100°C, t= 10 мин	Контроль температуры раствора и времени кипячения
Просушить подложку		Сушильная камера, содержащая пары			t=60°C, t= 2 мин *хранить в эксикаторе	Контроль температуры камеры и времени сушки

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

55

Операция	Материал	Оборудование	Инструмент	Приспособления	Режимы	Контроль
		изопропилового спирта			не более 3 суток	
Изготовить оригинал топологии	Жесткий полупрозрачный пластик	Прецизионная резательная машина				Контроль соответствия оригинала и топологии на ЭВМ
Изготовить фотошаблон	Полиэтилен, специальная краска	Печатная установка				Контроль соответствия фотошаблона оригиналу на ЭВМ
Изготовить маски	Бериллиевая бронза	Установка для фототравления		Фотошаблон		Контроль соответствия маски фотошаблону на ЭВМ
Очистить поверхность подложки		Установка ионной бомбардировки				
Нанести резистивный слой	Сплав РС-3001	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести резистивный слой	Сплав РС-1734	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести слой проводников и контактных площадок	Нихром Х20Н80-Н, золото Зл 999,9	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести слой нижних обкладок конденсаторов	Алюминий А995	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести слой диэлектрика	Стекло электровакуумное С41-1	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок

Инд. № подл.	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

56

Копировал

Формат А4

Операция	Материал	Оборудование	Инструмент	Приспособления	Режимы	Контроль
		устройством				
Нанести слой проводников и контактных площадок	Нихром Х20Н80-Н, золото Зл 999,9	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести слой верхних обкладок конденсаторов	Алюминий А995	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Нанести защитный слой	Фоторезист негативный ФН-11-СК	Многооперационная установка с карусельным устройством				Контроль толщины пленок
Приклеить DA1 к подложке	Клей ВК-9			Пинцет, кисточка		Контроль соответствия ориентации сборочному чертежу
Припаять выводы DA1 к контактным площадкам на подложке	Припой ПОСК50-18	Паяльная станция				Контроль соответствия сборочному чертежу
Припаять конденсаторы С2, С6 к контактным площадкам на подложке	Припой ПОСК50-18	Паяльная станция				Контроль соответствия сборочному чертежу
Провести проверку и испытания платы		Испытательный стенд				Контроль основных электрических параметров

Инд. № подл.	Взаим. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МАИ.467223.001 ПЗ

Лист

57

Заключение

В курсовом проекте была спроектирована конструкция бортового блока и разработан комплект конструкторской документации на него.

Исходя из требований ТЗ был выбран герметичный блок книжной конструкции с горизонтальным расположением функциональных ячеек.

На основании анализа электрической принципиальной схемы была разработана топология бескорпусной микросборки, входящей в состав функциональных ячеек блока.

После разработки топология МСБ была разработана конструкция функциональной ячейки и блока.

Затем была выбрана система охлаждения блока. Расчет показал, что для охлаждения разработанного блока достаточно естественного охлаждения.

Также были произведены оценочные расчеты тепловых режимов конструкций РЭС, вибропрочности и надежности.

В результате анализа требований ТЗ и данных, полученных в результате расчета показателей качества конструкции блока, видно, что разработанный блок всем удовлетворяет требованиям ТЗ, кроме требования к вероятности безотказной работы блока.

Для обеспечения заданного значения целесообразно применить резервирование функциональных ячеек в блоке.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ	Лист
											58

Список литературы

1 Основы конструирования и технологии РЭС: учебное пособие для курсового проектирования / В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский и др. – М.: МАИ, 2000. – 128 с.: ил.

2 Конструирование радиоэлектронных средств / В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. – М.: МАИ, 1996. – 380 с.: ил.

3 Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.: ил.

4 Гимпельсон В.Д., Радионов Ю.А. Тонкопленочные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники. М.: Машиностроение, 1976.

5 Фрумкин Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 463 с.

6 Микросборки. Общие требования и нормы конструирования ОСТ 107.460084.200-88.

7 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликова и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.: ил.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Инв. № докл.	Подп. и дата				Взаим. инв. №	Подп. и дата				Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист
	Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата				
	Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата				
	Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата					Подп. и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001 ПЗ										59					

Перв. примен.		Обозначение			Наименование			Кол.	Примечание						
Формат	Зона	Поз.													
МАИ.467223.001					<u>Документация</u>										
		АЗ	МАИ.467223.001 СБ		Сборочный чертеж										
Справ. №					<u>Сборочные единицы</u>										
		АЗ	1	МАИ.467223.002	Функциональная ячейка		4								
			3	МАИ.434774.001	Источник питания		1								
						<u>Детали</u>									
Подл. и дата			5	МАИ.741172.001	Корпус		1								
			7	МАИ.741125.001	Крышка		1								
			9	МАИ.714143.001	Штенгель		1								
Инв. № дубл.			11	МАИ.71314.1001	Втулка		4								
			13	МАИ.71134.1001	Скоба		1								
Взам инв. №															
Подл. и дата															
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">МАИ.467223.001</p> <p style="text-align: center; font-size: 20px; font-weight: bold;">Блок ПФ-Т</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Лит</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </table>			Лит	Лист	Листов		1	3
		Лит	Лист	Листов											
			1	3											
		Разраб	Обчинникова												
		Проб	Умрихин												
Н. контр.															
Утв.	Умрихин														

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Стандартные изделия</u>		
		13		Винт М2-6дх30.36.013		
				ГОСТ 1491-80	4	
		15		Винт М1,6-6дх6.36.016		
				ГОСТ 17475-80	4	
		17		Шайба С 2.04.016		
				ГОСТ 10450-78	4	
		19		Шайба С 1,6.04.016		
				ГОСТ 10450-78	4	
		21		Шайба 2 65Г 016		
				ГОСТ 6402-70	4	
		23		Шайба 1,6 45Г 016		
				ГОСТ 6402-70	4	
				<u>Прочие изделия</u>		
		25		Вилка СНЦ42		
				ОЖО.460.107 ТУ	3	

Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата

МАИ.467223.001

Лист

2

Формат	Зона	Паз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Материалы</u>		
		27		Провод МС 16-13 0,12 б		
				ТУ 16-505.083-78	2,5м	
		29		Провод МС 16-13 0,12 ч		
				ТУ 16-505.083-78	2,5м	
		31		Провод ММ 0,5		
				ТУ 16-171.087-90	0,4м	
		33		Плетенка ПМЛ 2x4 УЗ		
				ТУ 22-3708-76	0,4м	
		35		Прокладка резиновая 0,5		
				ГОСТ 2435-76	0,4м	
		37		Лента ПВХ 1,5x0,20 1 сорта		
				ГОСТ 16241-86	0,4м	
		39		Нитки х/б черные 12 сл. №00		
				ГОСТ 6309-80	0,5м	

Изд. № докум.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изд. № докум.
Подп. и дата	Подп. и дата
Изд. № докум.	Изд. № докум.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МАИ.467223.001	Лист
						3

МАИ.467223.001 СБ

Перв. примен.
МАИ.467223.001

Справ. №

- 1 *Размеры для справок.
- 2 Припой ПОС61 ГОСТ 21931-76.
- 3 Припой ПОСК50-18 ГОСТ 21931-76.
- 4 Монтаж блока проводить по МАИ.467223.001 СБ.
- 5 Монтаж цепей блока, кроме корпусных, выполнять проводом поз.27.
Монтаж корпусных цепей выполнять проводом поз.29.
- 6 Скобу поз.11 обмотать лентой поз.37.
- 7 После монтажа жгут проводов крепить к скобе поз.11 и к элементам конструкции нитками поз.39.
- 8 Жгут проводов, идущий от скобы поз.11, и одиночные провода, идущие к вилкам поз.25, крепить к дну корпуса клеем ВК-9 ОСТ 107.460007.009-2002.
Расположение точек крепления произвольное.
- 9 После настройки крышку поз.7 опаять герметичным швом припоем №3.
- 10 Блок заполнить аргоном высшего сорта.
- 11 После герметизации штенгель поз.9 опаять герметичным швом припоем №3.
После опайки штенгель не должен увеличивать габаритные размеры блока.

Подп. и дата

Ил.№ № д.д.д.

Взаим ил.№ №

Подп. и дата

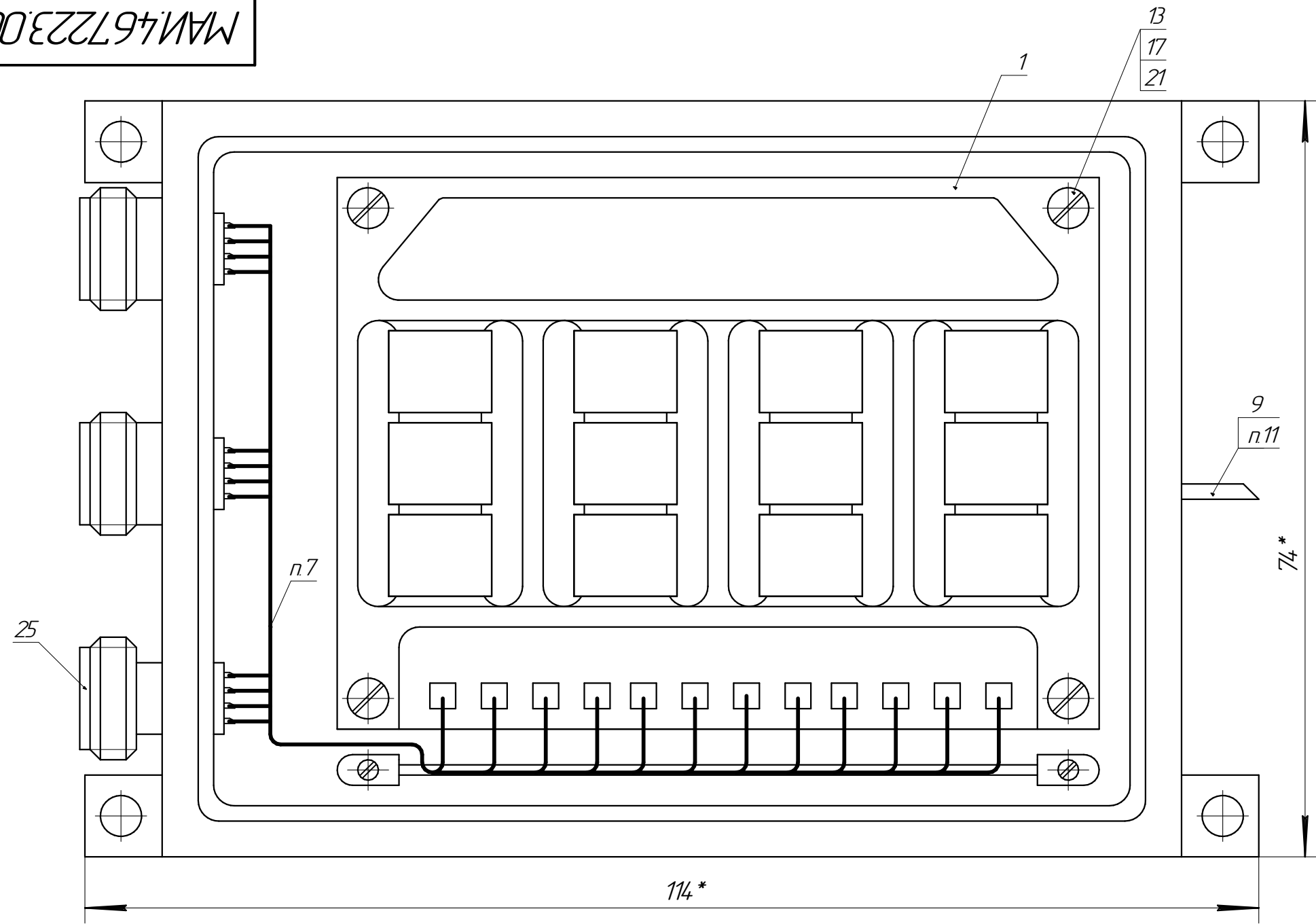
Ил.№ № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Обчинникова		
Пров.		Умрихин		
Т. контр.				
Соглас.				
Н. контр.				
Утв.		Умрихин		

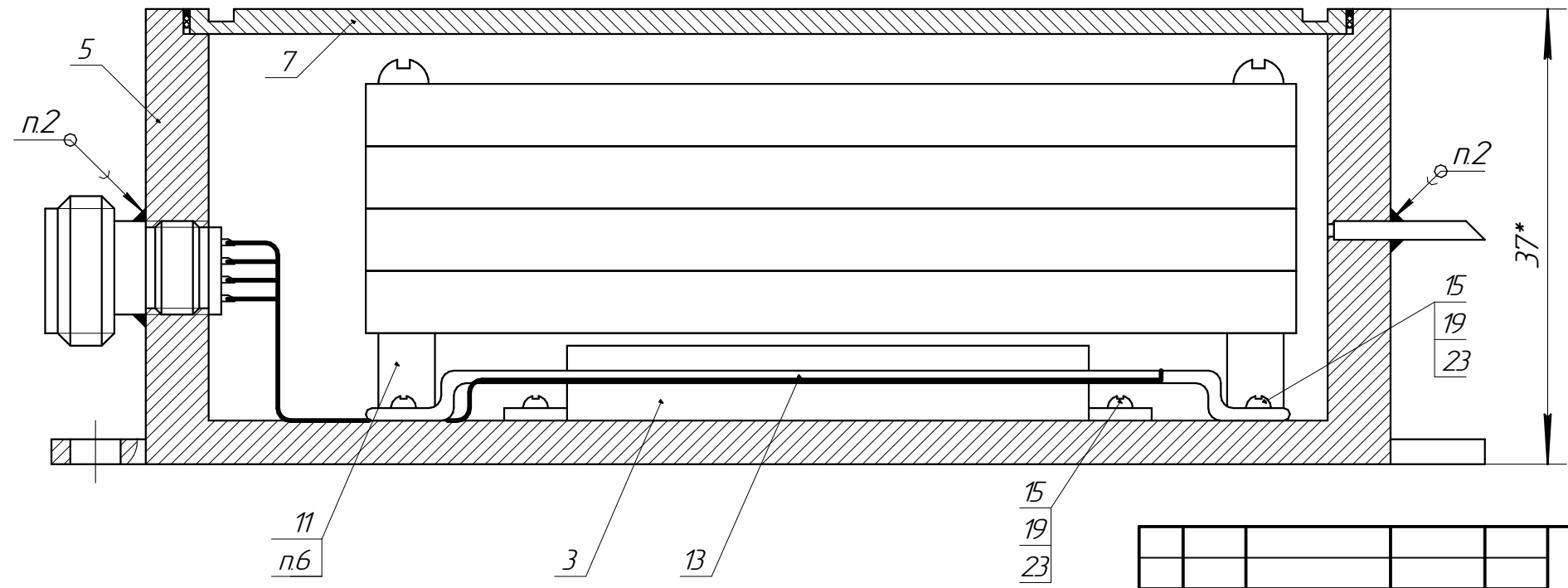
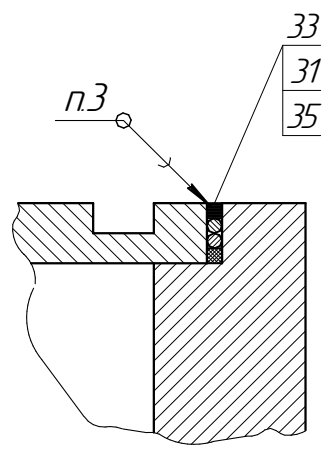
МАИ.467223.001 СБ

Блок ПФ-Т
Сборочный чертеж

Лит	Масса	Масштаб
	0,7кг	2:1
Лист 1	Листов 2	



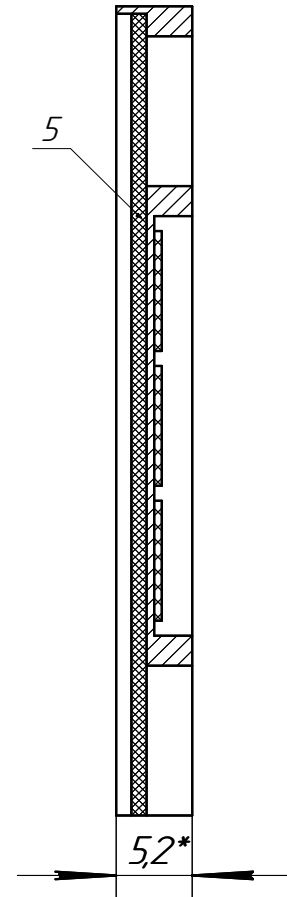
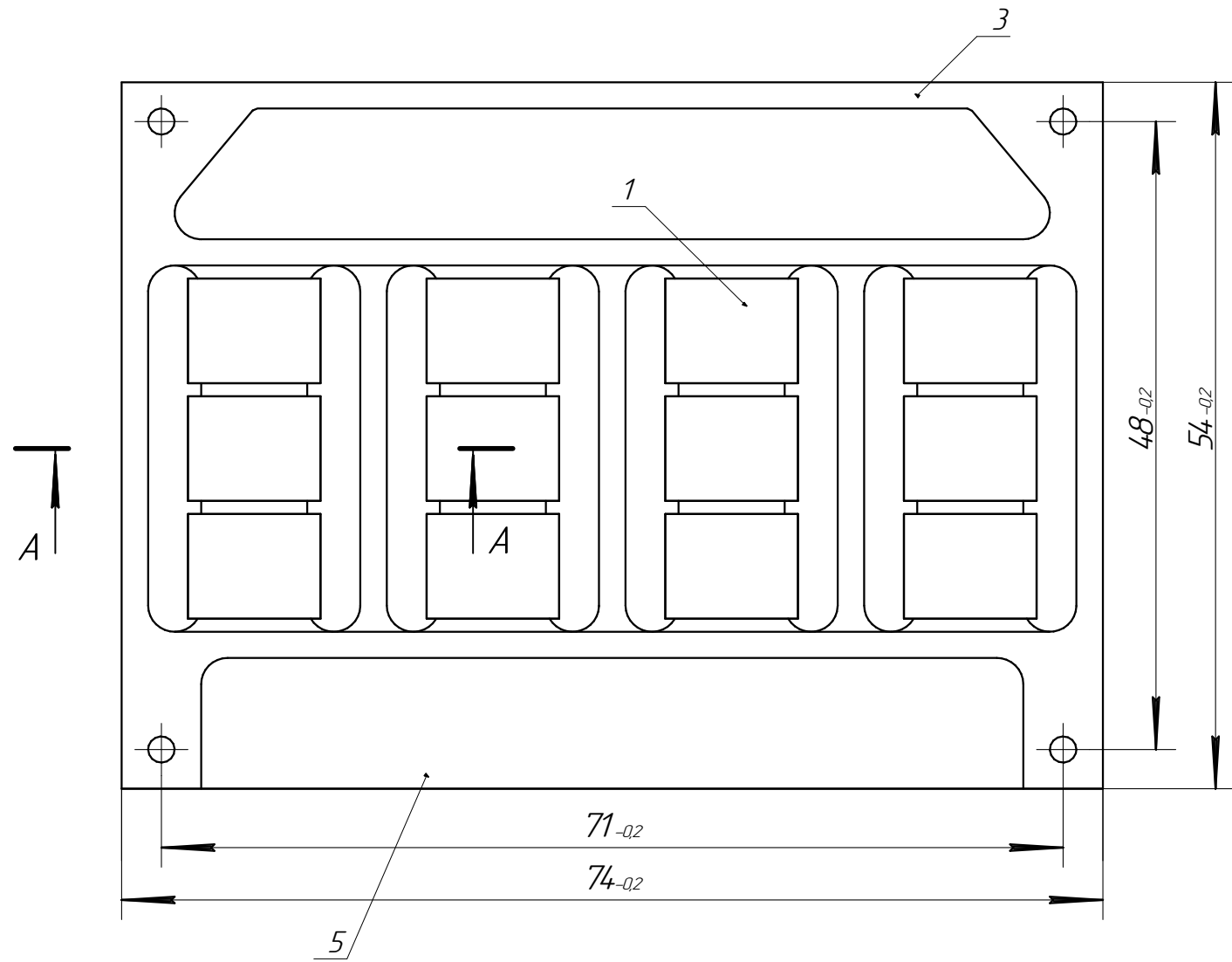
Установка крышки поз. 7



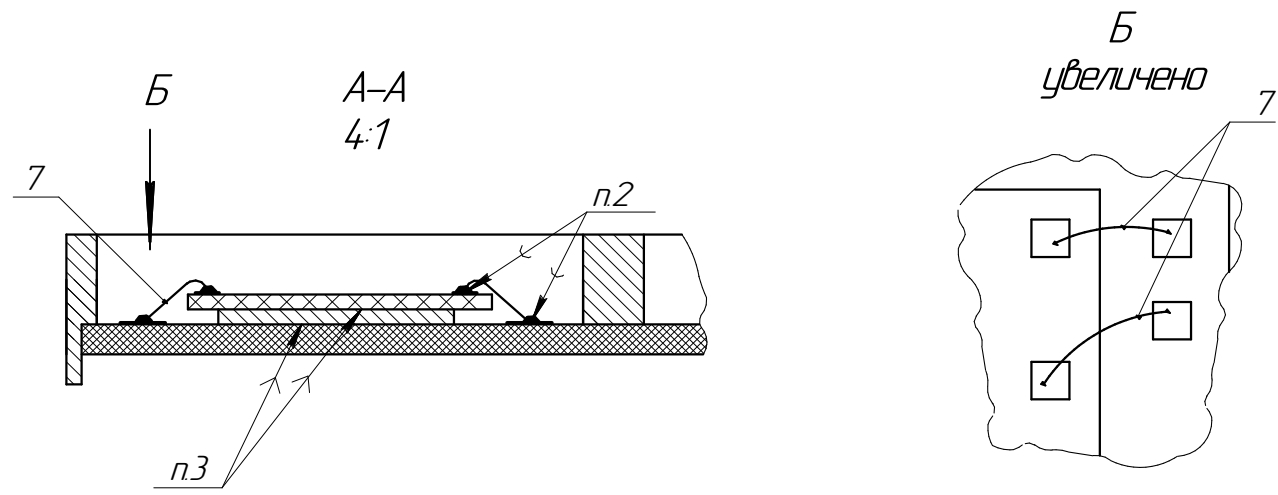
Изм. №	Подп.	Дата
Взам.И.№	И.И.№	Д.Д.Д.
Подп.	Дата	
И.И.№	Подп.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Изм. № ауд.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Изм. № подл.		Изм. № подл.		Изм. № подл.		
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов				
МАИ.467223.001																		
A3			МАИ.467223.002 СБ	Сборочный чертеж														
<u>Документация</u>																		
<u>Сборочные единицы</u>																		
A3		1	МАИ.467223.003	Плата ПФ-Т	12													
<u>Детали</u>																		
A3		3	МАИ.4694.12.001	Рамка	1													
A3		5	МАИ.4694.33.001	Плата печатная	1													
<u>Материалы</u>																		
		7		Провод ПЭГ/ЮТ 0,16														
				ТУ 16-502.017-82	0,2М													
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <h2 style="text-align: center;">МАИ.467223.002</h2> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Функциональная ячейка</p> </div>																		
			Разраб.	Обчинникова														
			Проб.	Умрихин														
			И контр.															
			Утв.	Умрихин														



- 1 *Размеры для справок
- 2 Припой ПОСК50-18 ГОСТ 21931-76
- 3 Клей ВК-9 ОСТ 107.460007.009-2002



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Обвинникова		
Проб.		Урихин		
Т. контр.				
Соглас.				
И. контр.				
Утв.		Урихин		

МАИ.467223.002 СБ

Функциональная ячейка
Сборочный чертеж

Лит.	Масса	Масштаб
	110г	2:1
Лист	Листов 1	

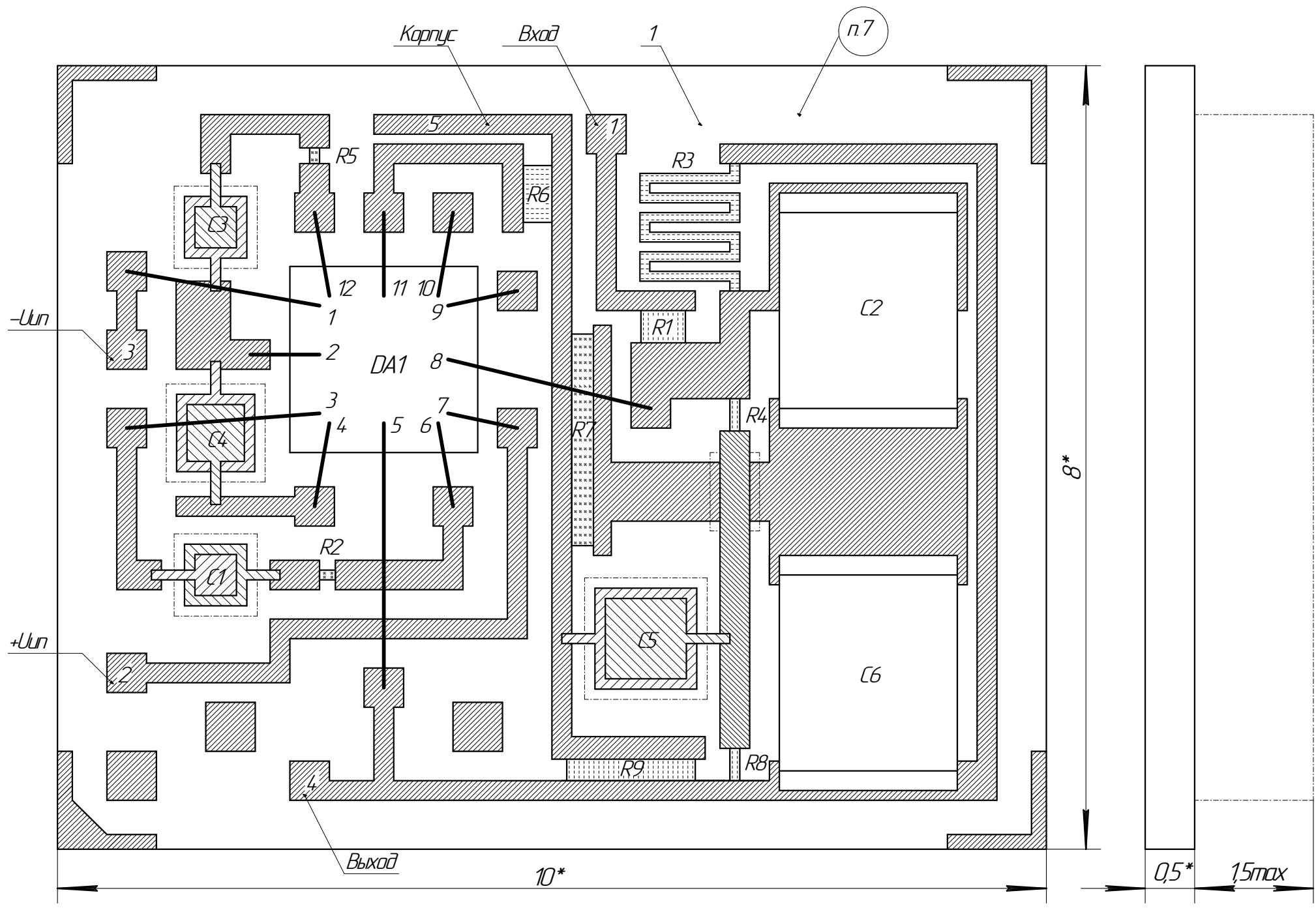
Перв. примен МАИ467223.002	Справ. №	Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		A3			МАИ467223.003 СБ	Сборочный чертеж			
		A4			МАИ467223.003 ЭБ	Схема электрическая принципиальная			
		A4			МАИ467223.003 ПЭБ	Перечень элементов			
		*)			МАИ.758773.001 ДЭБ	Плата Данные проектирования		*) МД	
		<u>Документация</u>							
		<u>Детали</u>							
		A3		1		МАИ.758773.001	Плата	1	

Подп. и дата	Изм. № докум.	Взам. инв. №	Подп. и дата					

Подп. и дата							
					МАИ.467223.003		
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата			
Разраб	Овчинникова						
Проб	Умрихин						
Плата ПФ-Т					Лист	Лист	Листов
						1	2
И. контр.							
Утв.	Умрихин						

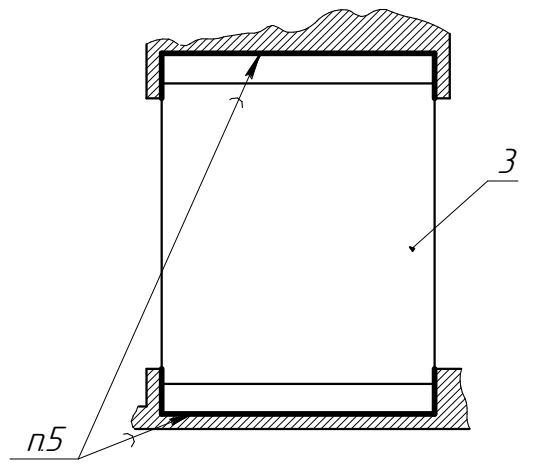
Формат	Зона	Паз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Прочие изделия</u>		
		3		Конденсатор К10-17В-Н90-0,047 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	2	С2, С6
		5		Микросхема 140УД5А БК0.34.7.011 ТУЗ	1	DA1

Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Изм. №	Лист	№ докум	Подп.	Дата

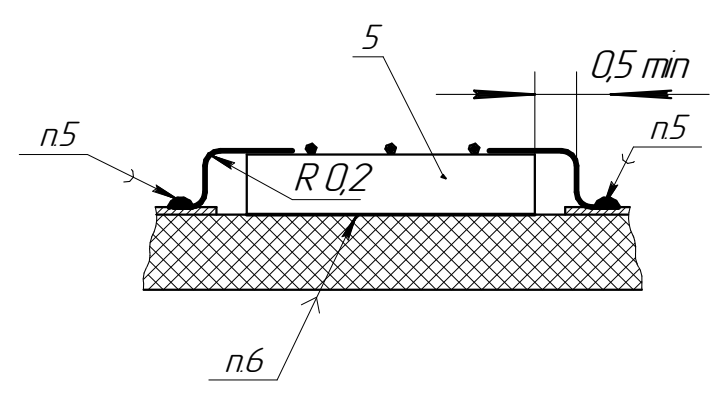


- 1 *Размеры для справок.
- 2 Схемные позиционные обозначения элементов, номера контактных площадок 1..5, номера выводов микросхемы DA1 показаны условно.
- 3 Установку конденсаторов C2, C6 и микросхемы DA1 производить по чертежу.
- 4 Микросхему DA1 при установке ориентировать по пленочным элементам платы.
- 5 Припой ПОСК50-18 ГОСТ 21931-76.
- 6 Клей ВК-9 ОСТ 107.460007.009-2002.
- 7 Маркировать заводской номер эмалью ЭП-572 черная О2 ТУ6-10-1539-76 шрифт 1,5-Пр3 ГОСТ 26.008-85. Построение надписи производить в соответствии с требованиями РД107.26.001-90.
- 8 Остальные ТТ по ОСТ 4ГО.070.015.

Установка конденсаторов C2, C6



Установка микросхемы DA1



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Обвинникова		
Проб.		Урихин		
Т. кантр.				
Соглас.				
Н. кантр.				
Утв.		Урихин		

МАИ.467223.003 СБ

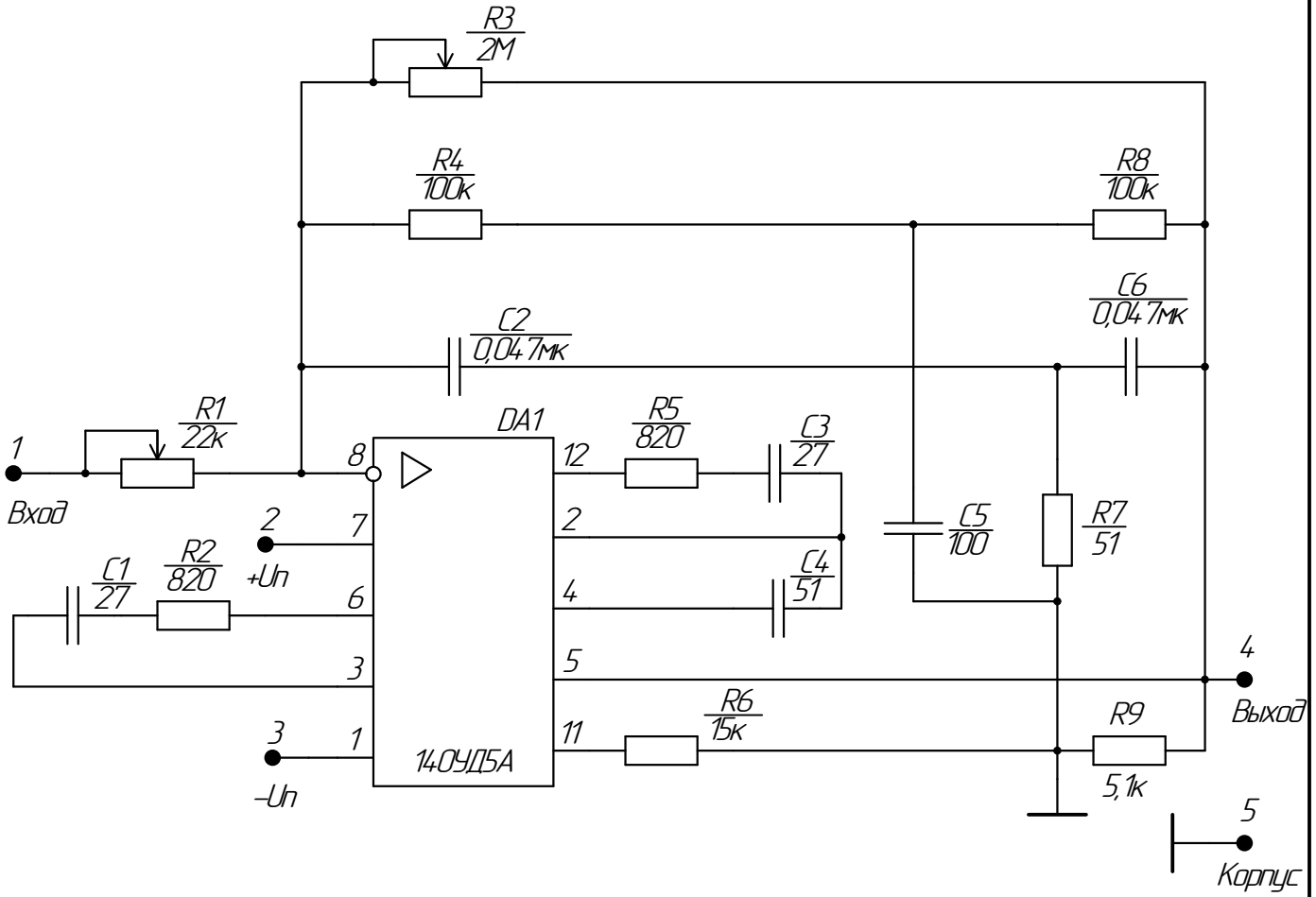
Плата ПФ-Т
Сборочный чертеж

Лит	Масса	Масштаб
	7г	20:1
Лист	Листов	1

МАИ.467223.003 ЭЗ

Перв. примен
МАИ.467223.003

Стр. №



Подп. и дата

И-в. № дудл

Взаим. и-в. №

Подп. и дата

И-в. № подл

Перечень элементов МАИ.467223.003 ПЭЗ

МАИ.467223.003 ЭЗ

Плата ПФ-Т
Схема электрическая
принципиальная

Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Разраб		Овчинникова		
Проб.		Умрихин		
Т. контр.				
Соглас.				
И. контр.				
Утв.		Умрихин		

Лит	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

Зона		Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание
Перв. примен.	МАИ.467223.003	C1	Конденсатор 27 пФ+20% 2,3 В	1	Напыленный
		C2	Конденсатор К10-17В-Н90-0,047 мкФ ОЖО.460.107 ТУ	1	
		C3	Конденсатор 27 пФ+20% 2,3 В	1	Напыленный
		C4	Конденсатор 51 пФ+20% 7,9 В	1	Напыленный
		C5	Конденсатор 100 пФ+20% 0,5 В	1	Напыленный
		C6	Конденсатор К10-17В-Н90-0,047 мкФ ОЖО.460.107 ТУ	1	
Справ. №		DA1	Микросхема 140УД5А ДКО.347.011 ТУЗ	1	
		R1	Резистор 22 кОм +10% - 0,089 мВт	1	Напыленный
		R2	Резистор 820 Ом +10% - 0,0001 мВт	1	Напыленный
		R3	Резистор 2 МОм +10% - 0,0005 мВт	1	Напыленный
		R4	Резистор 100 кОм +10% - 0,0025 мВт	1	Напыленный
		R5	Резистор 820 Ом +10% - 0,0001 мВт	1	Напыленный
		R6	Резистор 15 кОм +10% - 0,067 мВт	1	Напыленный
		R7	Резистор 51 Ом +10% - 0,0001 мВт	1	Напыленный
		R8	Резистор 100 кОм +10% - 0,0025 мВт	1	Напыленный
R9	Резистор 5,1 кОм +10% - 0,0001 мВт	1	Напыленный		
Подп. и дата					
Инд. № докл.					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инд. № подл.		Разраб.	Обчинникова		
		Проб.	Умрихин		
		Соглас.			
		Н. контр.			
		Утв.	Умрихин		
		МАИ.467223.003 ПЭЗ			
		Плата ПФ-Т			Лит
		Перечень элементов			Лист
					Листов
					1

MAI.758773.001

Перв. примен.

MAI.467223.003

Справ. №

- 1 *Размеры для справок.
- 2 Размеры без допуска обеспечиваются инструментом и контролю не подлежат.
- 3 Плату изготовить фотолитографическим методом.
- 4 Материалы слоев см. таблицу 1.
- 5 Параметры резисторов см. таблицу 2.
- 6 Параметры конденсаторов см. таблицу 3.
- 7 Обозначение и нумерация точек контроля резисторов и конденсаторов показаны условно.
- 8 Металлические участки А, Б, В не контролировать. Допускается отсутствие площадок А, Б, В.
- 9 Допускаются следы от контактирования при гальваническом наращивании.
- 10 Фотошаблон изготавливается по MAI.758773.001 ДЗЗ.
- 11 Топология платы должна соответствовать фотошаблону MAI.758773.001.
- 12 Металлизированный слой с торцев не допускается.
- 13 Плата должна соответствовать ОСТ107.750871.001-86.

Подп. и дата

И-в. № дубл.

Взаим. и-в. №

Подп. и дата

И-в. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб		Овчинникова		
Пров.		Умрихин		
Т. контр.				
Соглас.				
И. контр.				
Утв.		Умрихин		

MAI.758773.001				
Плата		Лит	Масса	Масштаб
		Лист	Листов	
Сумалл СТ50-0,5 ТХО.735.062 ТУ		1	62	20:1
		1	10	

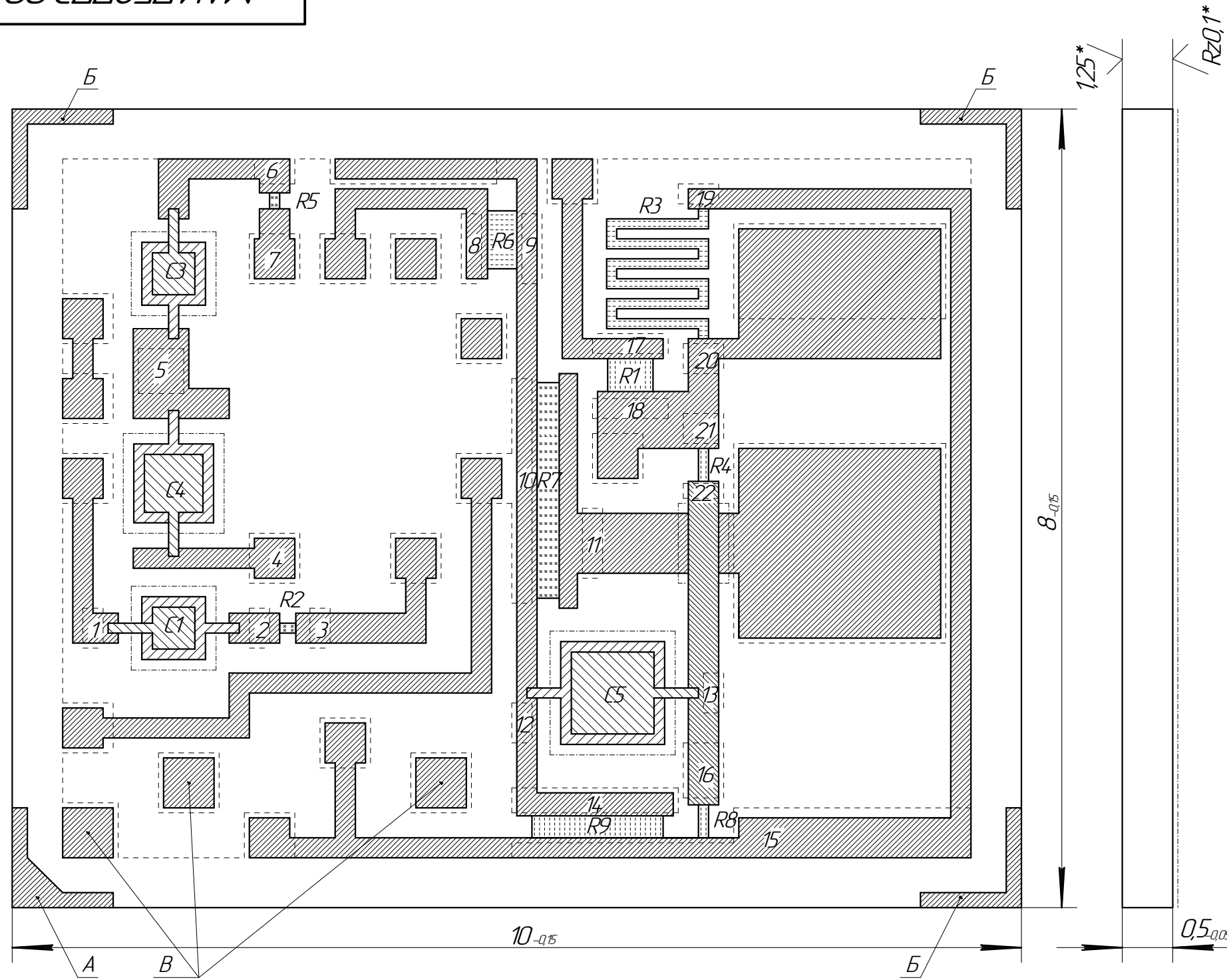


Таблица 1

Ном. слоя	Материал слоя		Характеристика слоя		Пленочный элемент			Ном. листа
	Наименов. марка	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Толщина	Rкв, Ом	Наименование	Поз. обозначение	Условное обозначение	
1	РС-3001	ЕТО.032547 ТУ		30000	Резисторы	R1, R3, R4, R6, R9		3
2	РС-1734	ГОСТ 22025-76		500	Резисторы	R2, R5, R8		4
3	Нихром Х20Н80-Н	ГОСТ 12766.2-77		0,05 max	Проводники, контактные площадки	—		5
	Золото 3л 999,9	ГОСТ 6.835-72						
4	Алюминий А995	ГОСТ 11069-74		0,1 max	Нижняя обкладка конденсат	C1, C3, C5		6
5	Стекло электровакуумное С4-1	НПО.027600 ТУ		—	Диэлектрик	C1, C3, C5		7
6	Нихром Х20Н80-Н	ГОСТ 12766.2-77		0,05 max	Проводники, контактные площадки	—		8
	Золото 3л 999,9	ГОСТ 6.835-72						
7	Алюминий А995	ГОСТ 11069-74		0,1 max	Верхняя обкладка конденсат	C1, C3, C5		9
8	Фоторезист негативный ФН-11-СК	ТУ 6-14-788		—	Защитный слой	—		10

Таблица 2

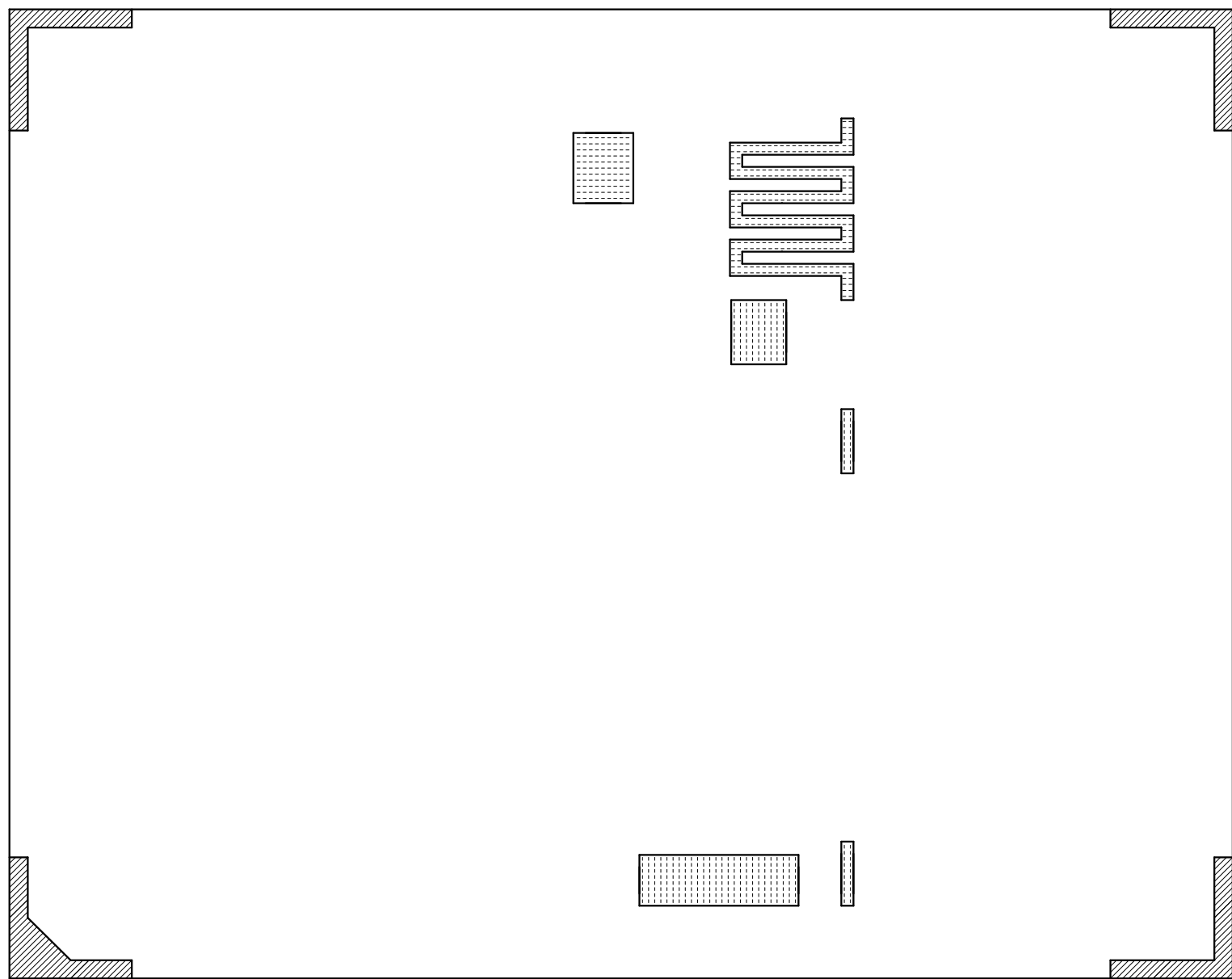
Поз. обознач.	Сопротивление, Ом	Точки контроля	Размеры, мм		Коэффициент электрической нагрузки
			Длина условная	Ширина условная	
R1	22 кОм +10%	17-18	0,33	0,45	$2,9 \cdot 10^{-2}$
R2	820 Ом +10%	2-3	0,16	0,10	$3,1 \cdot 10^{-4}$
R3	2 МОм +10%	19-20	6,67	0,10	$3,7 \cdot 10^{-5}$
R4	100 кОм +10%	21-22	0,33	0,10	$3,8 \cdot 10^{-3}$
R5	820 Ом +10%	6-7	0,16	0,10	$3,1 \cdot 10^{-4}$
R6	15 кОм +10%	8-9	0,29	0,58	$2,0 \cdot 10^{-2}$
R7	51 Ом +10%	10-11	0,22	2,16	$1,1 \cdot 10^{-5}$
R8	100 кОм +10%	15-16	0,33	0,10	$3,8 \cdot 10^{-3}$
R9	5,1 кОм +10%	14-15	0,22	1,30	$1,7 \cdot 10^{-5}$

Таблица 3

Поз. обознач.	Номинальная емкость, пФ	Точки контроля	Размеры, мм			Рабочее напряжение, В
			верхней обкладки	нижней обкладки	диэлектрика	
C1	27 пФ +20%	1-2	0,42	0,63	0,84	2,3
C3	27 пФ +20%	5-6	0,42	0,63	0,84	2,3
C4	51 пФ +20%	4-5	0,58	0,79	1,0	7,9
C5	100 пФ +20%	12-13	0,82	1,03	1,24	0,5

Изм. № подл. / Взам. № / ИФ. № докл. / Подп. и дата.

MAN.758773.001



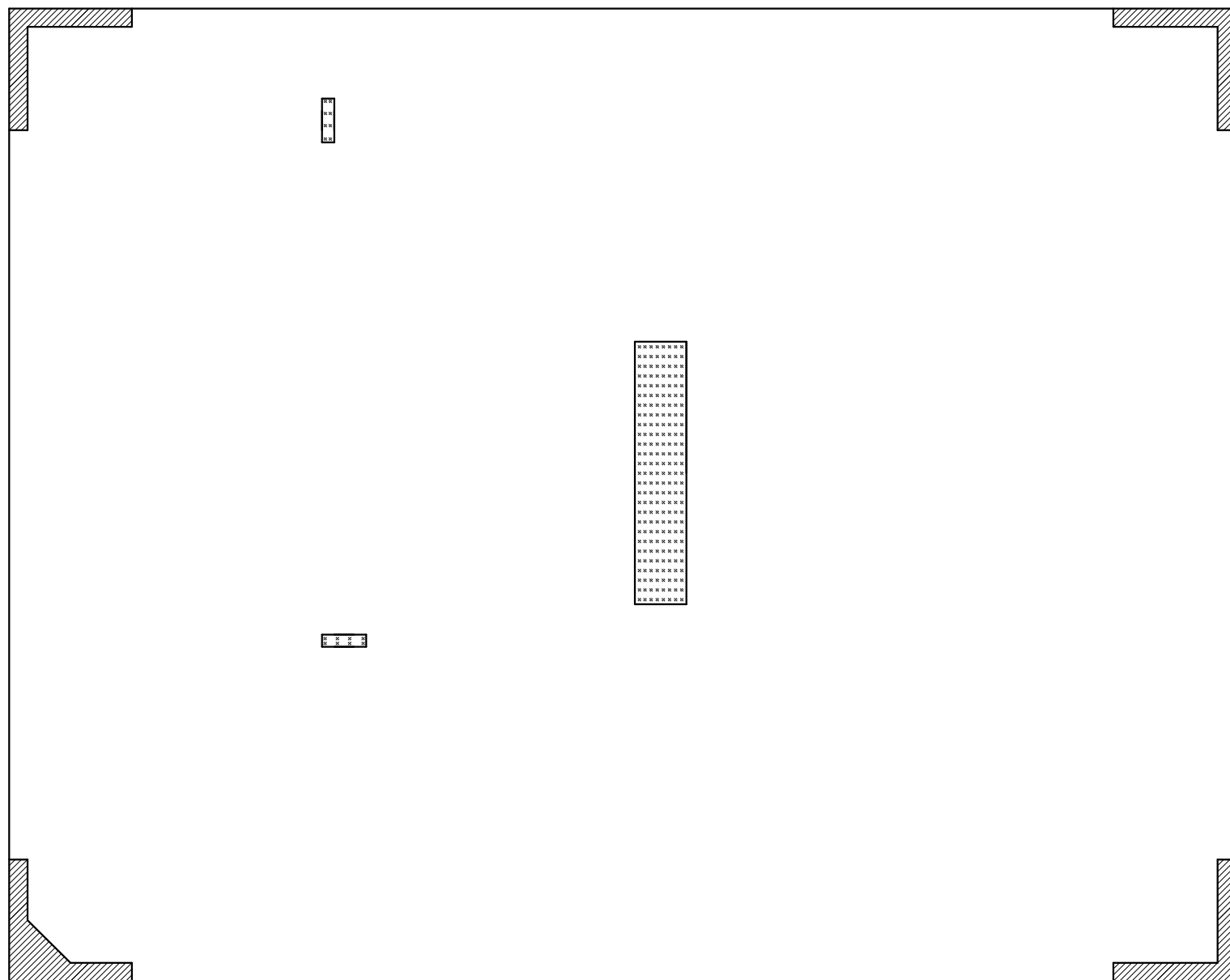
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№

№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№
№№№№	№№№№	№№№№	№№№№	№№№№

MAN.758773.001

Формат А3

MAN.758773.001



ИФ.№ подл.	Подп. и дата
Взам.ИФ.№	ИФ.№ подл.
Подп. и дата	Взам.ИФ.№
ИФ.№ подл.	Подп. и дата

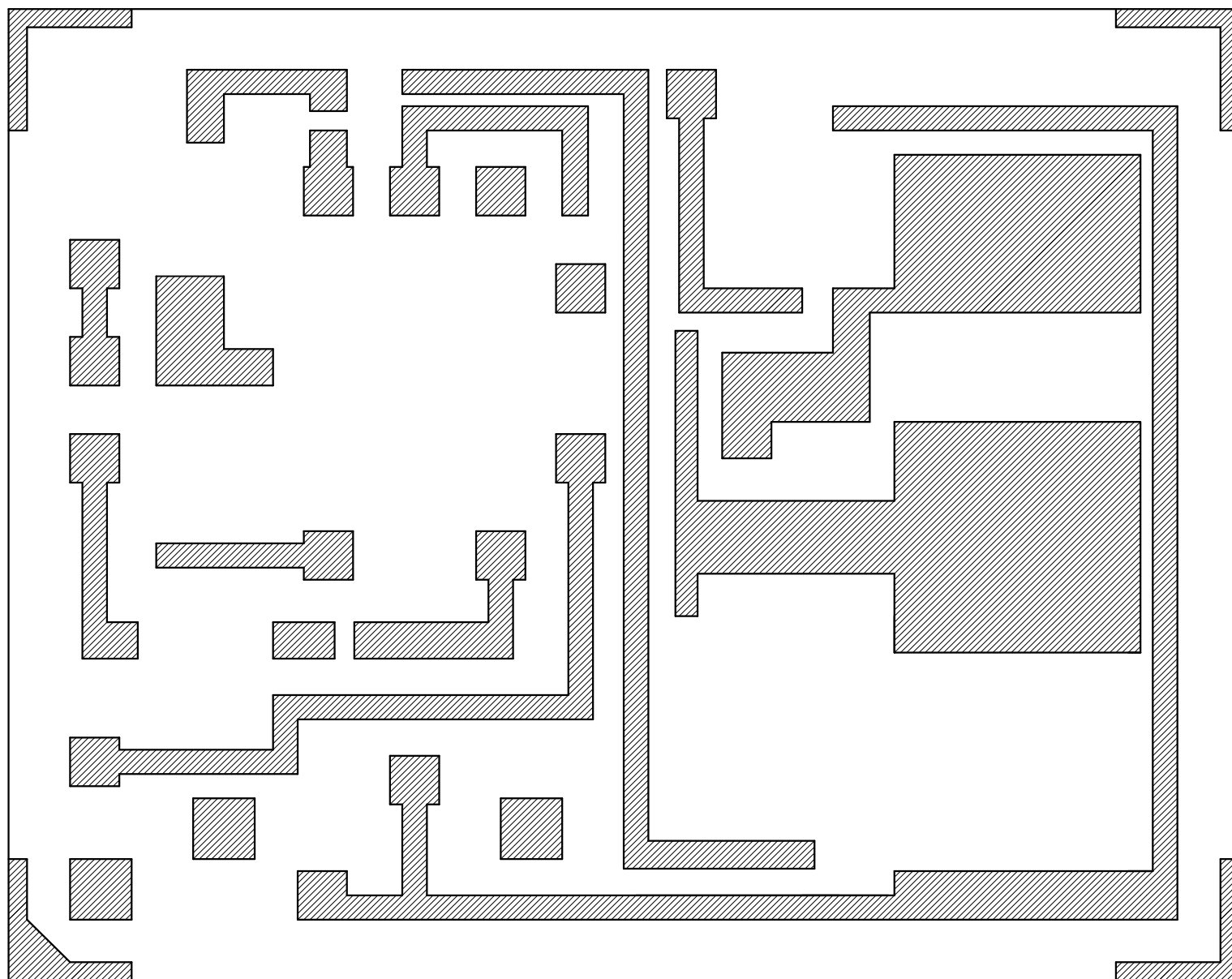
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата

MAN.758773.001

Лист
4

Формат А3

MAN.758773.001



ИИВ № подл	Подп. и дата
Взам.ИИВ №	ИИВ № д.р.п.
Подп. и дата	Подп. и дата

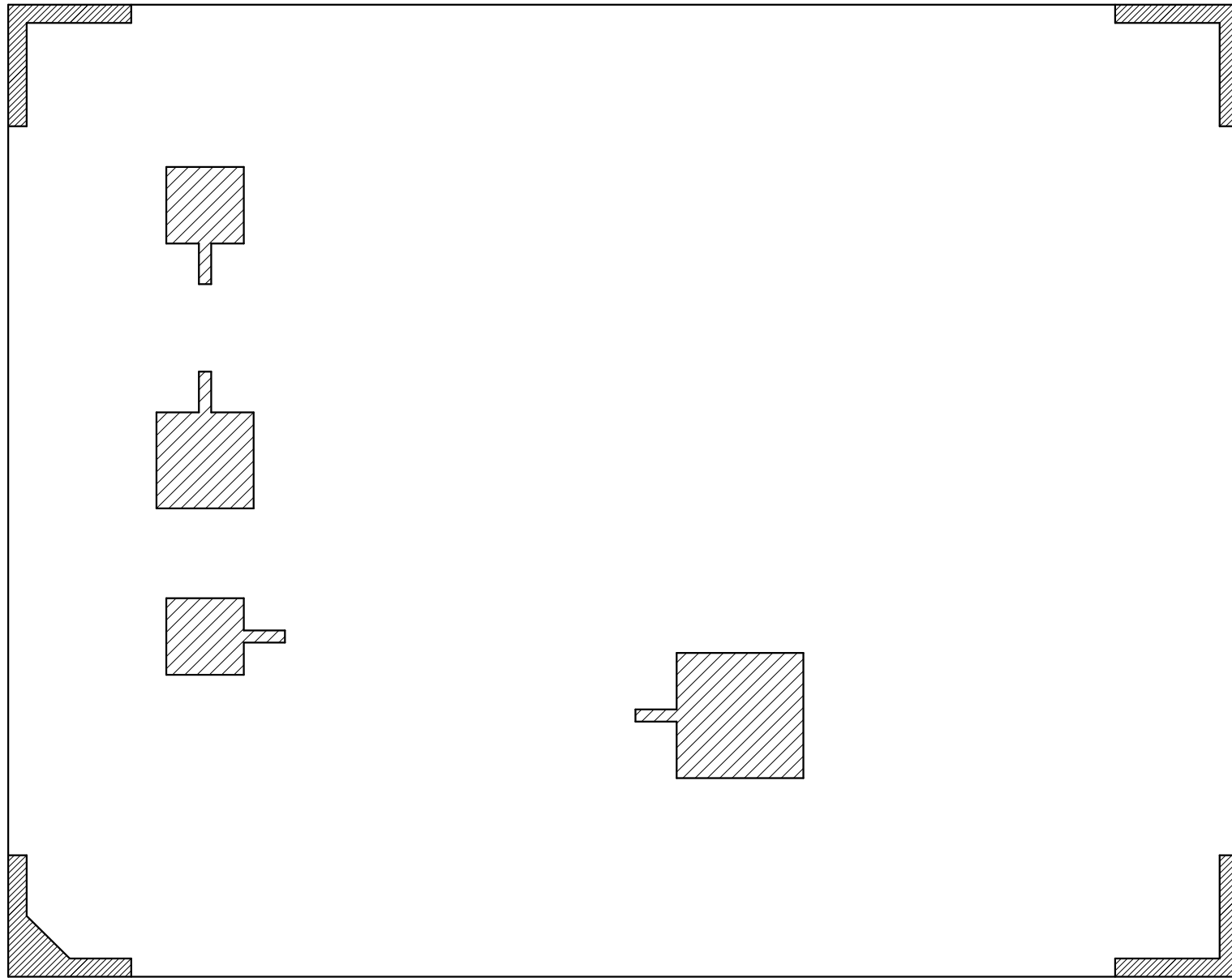
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата

MAN.758773.001

Лист
5

Формат А3

MAN.758773.001



И-В.№ подл.	Подп. и дата
Взам.И-В.№	И-В.№ д.ф.р.
Подп. и дата	Подп. и дата

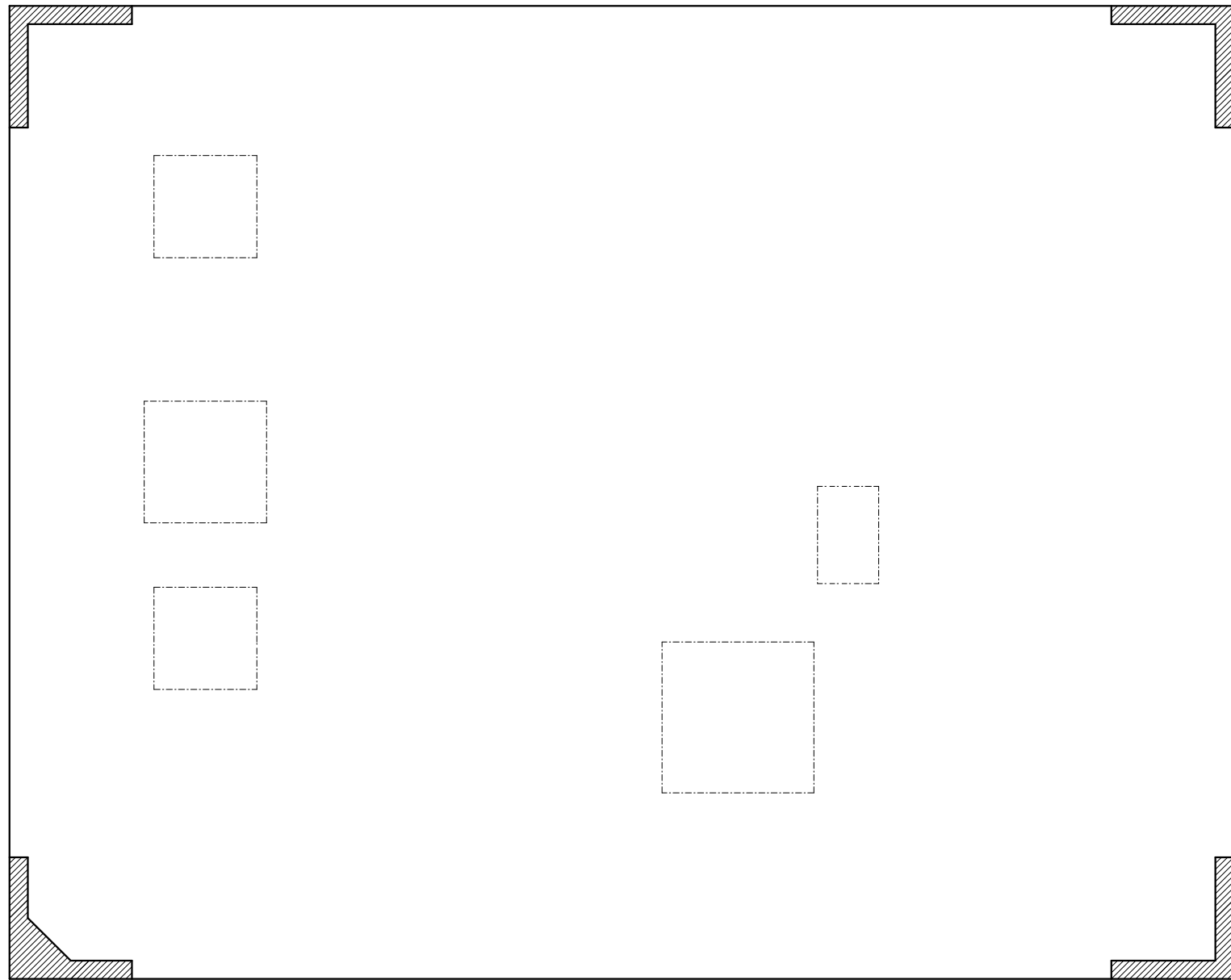
И-В.№ подл.	Подп.	Дата
И-В.№ подл.	Подп.	Дата

MAN.758773.001

Лист
6

Формат А3

MAN.758773.001



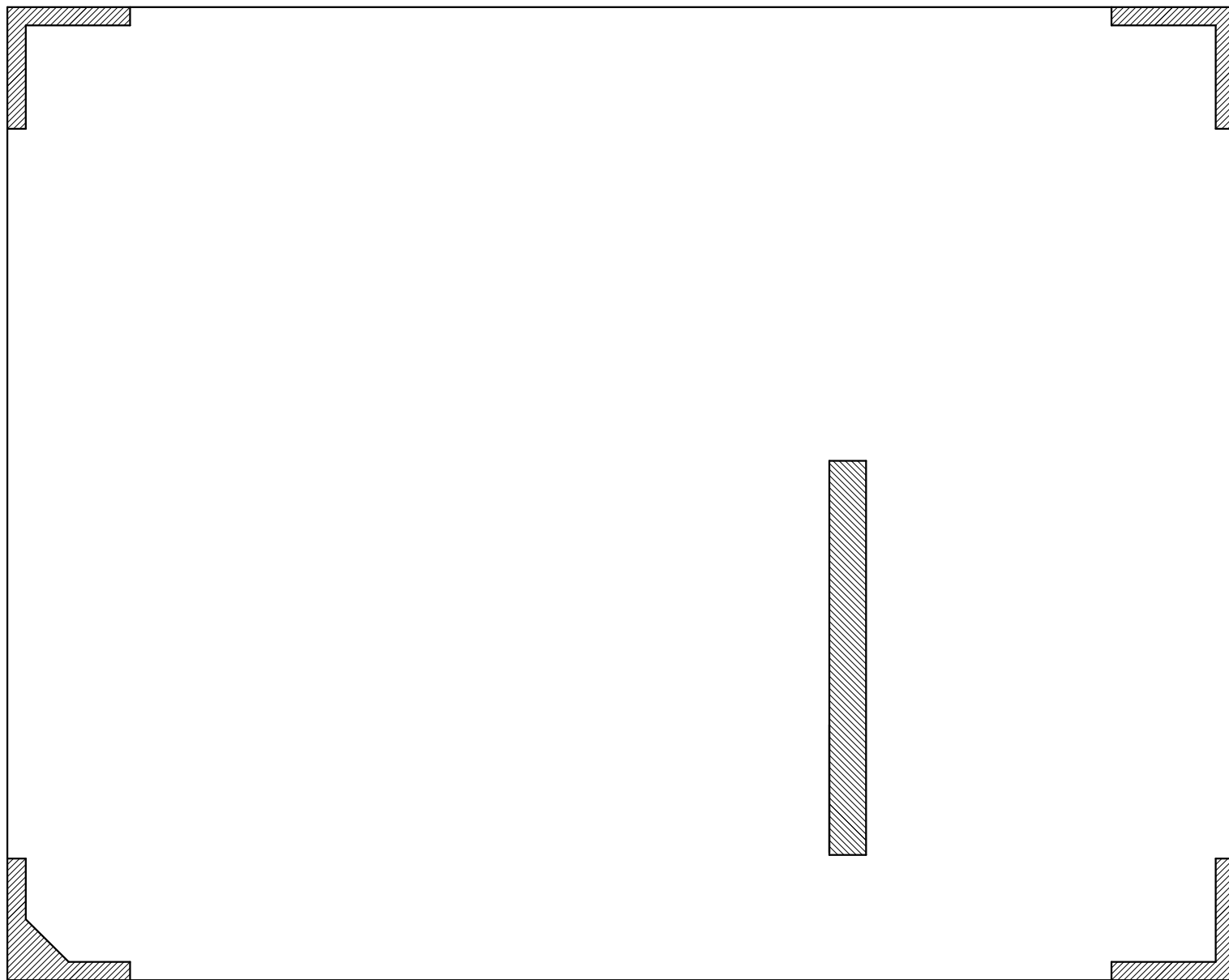
№№№ п/п	Підп. у діста	Взам.у.№№	№№№ діста	Підп. у діста

Взм	Лист	№ докум	Підп	Дата

MAN.758773.001

Лист
7

MAN.758773.001



ИД№ подл.	Подп. и дата
Взам.ИД№	ИД№ дѣл.
Подп. и дата	Подп. и дата

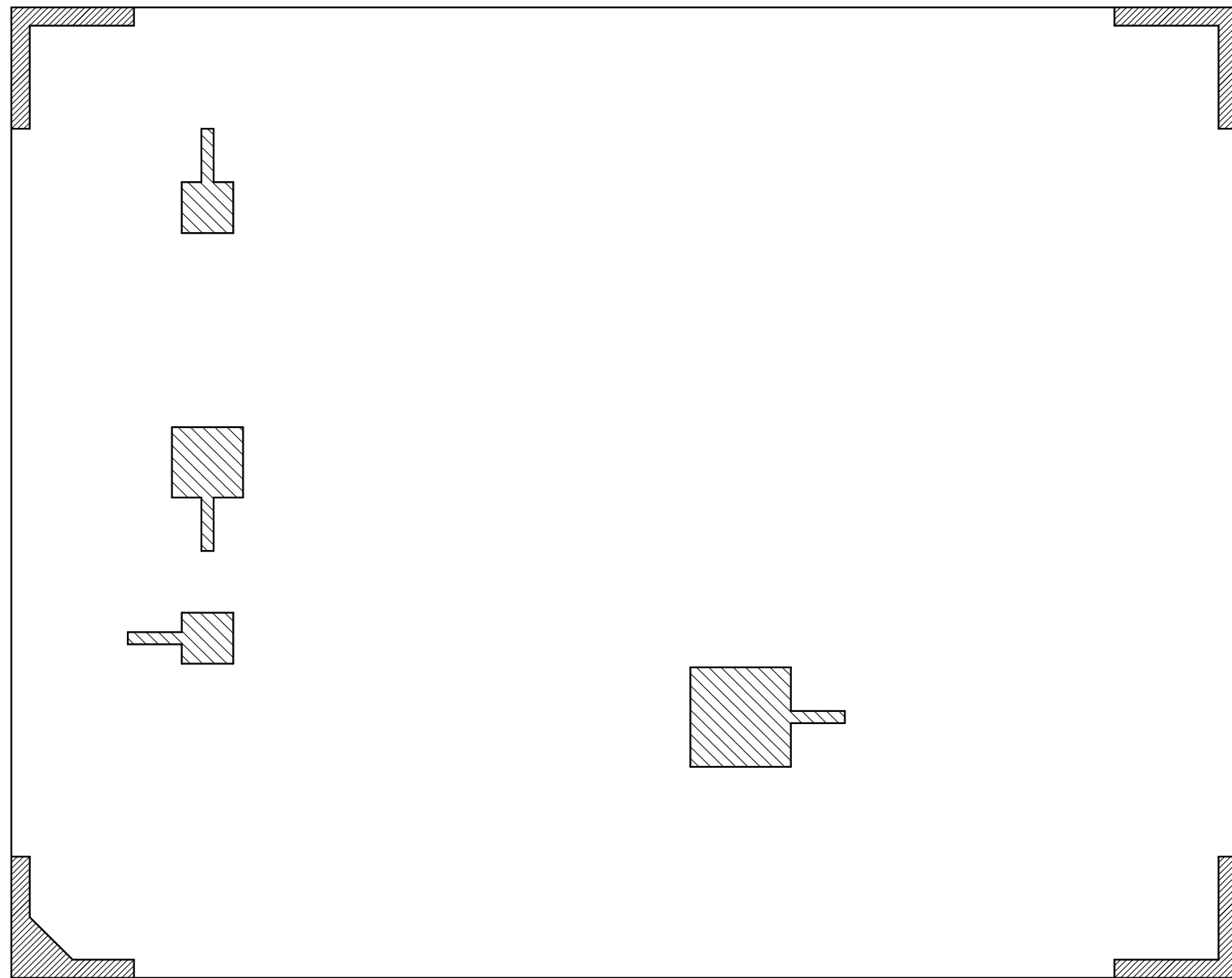
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

MAN.758773.001

Лист
8

Формат А3

MAN.758773.001



ИВН° подл.	Подл. и дата
Взаим.ИВН°	ИВН° д.д.д.
Подл. и дата	Подл. и дата

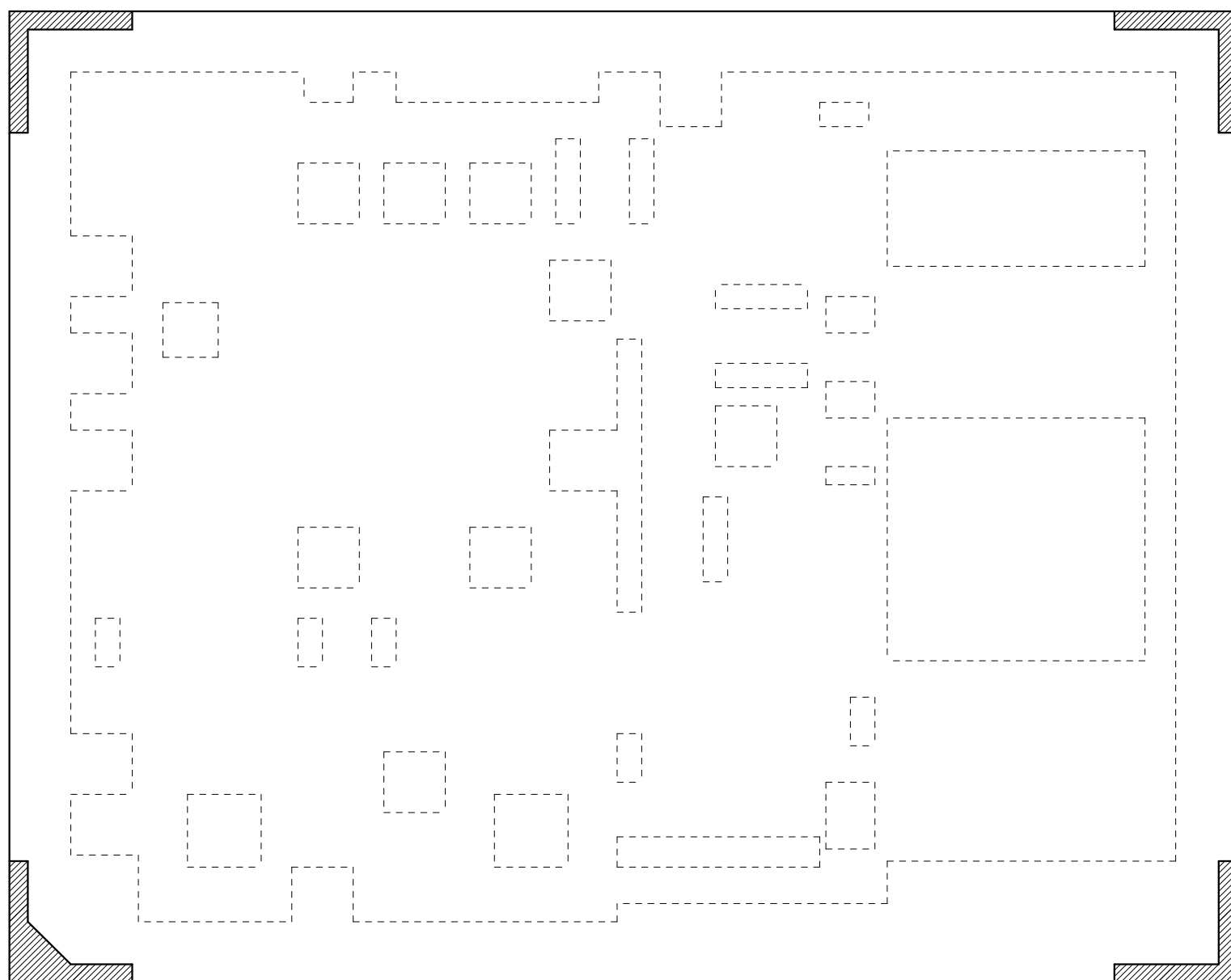
Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
------	------	----------	-------	------

MAN.758773.001

Лист
9

Формат А3

MAN.758773.001



ИВН° подл.	Подп. и дата
Взам.ИВН°	ИВН° д.ф.п.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

MAN.758773.001

Лист
10

Формат А3

МАИ.4694.12.001

Перв. примен.
МАИ.46.7223.002

Справ. №

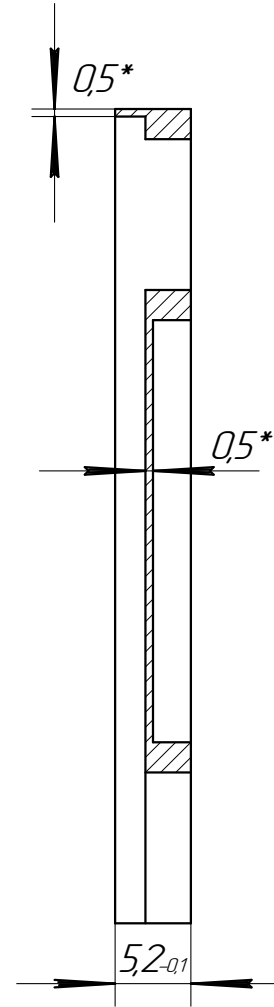
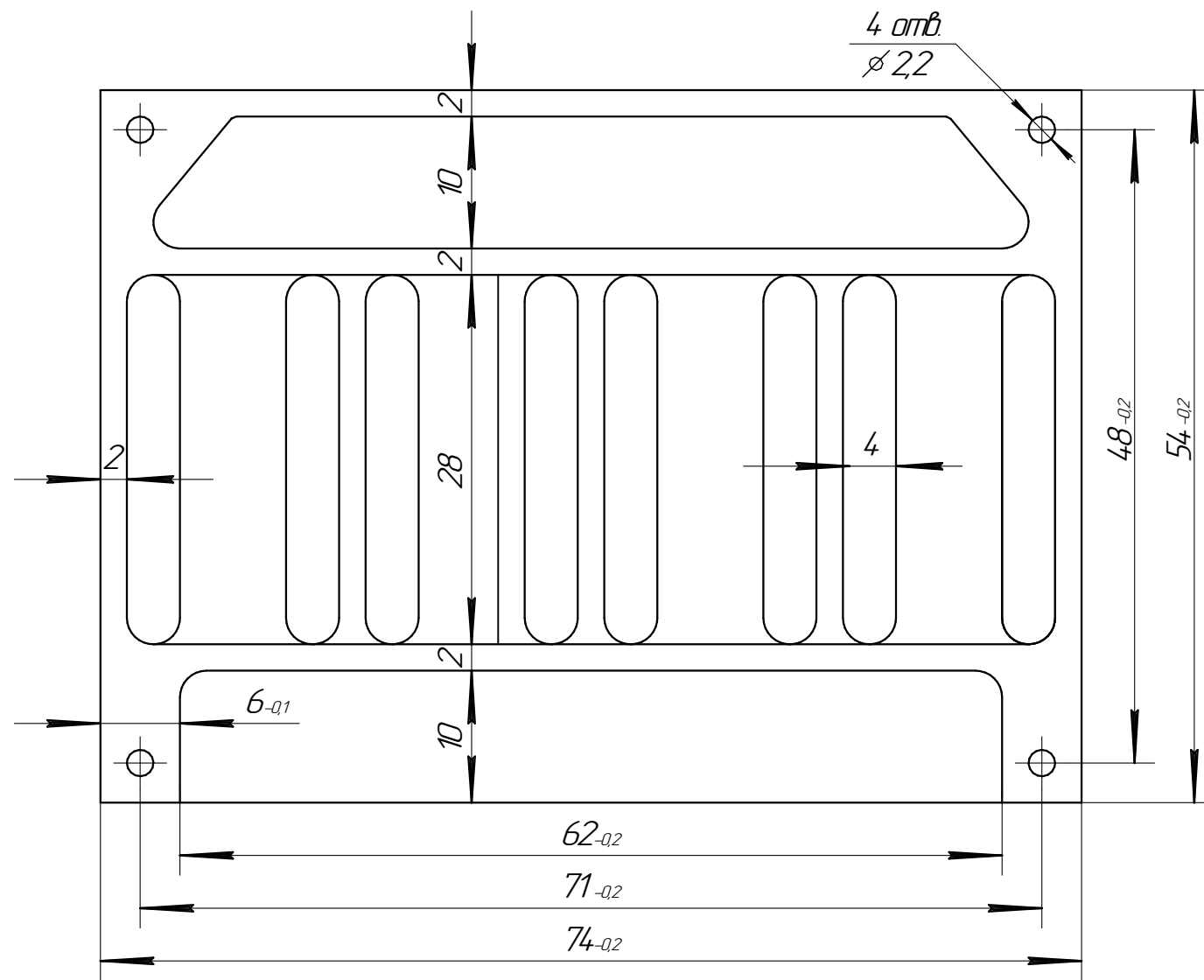
Подп. и дата

Изм. № докум.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



1 *Размеры для справок.
2 Неуказанные радиусы скруглений R2

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Обвинникова		
Проб.		Умрихин		
Т. контр.				
Соглас.				
Н. контр.				
Утв.		Умрихин		

МАИ.4694.12.001

Рамка

Алюминий АМц
ГОСТ 2178-84

Лит.	Масса	Масштаб
	20г	2:1
Лист	Листов	1

MAI.469433.001

Перв. примен.
MAI.467223.002

Справ. №

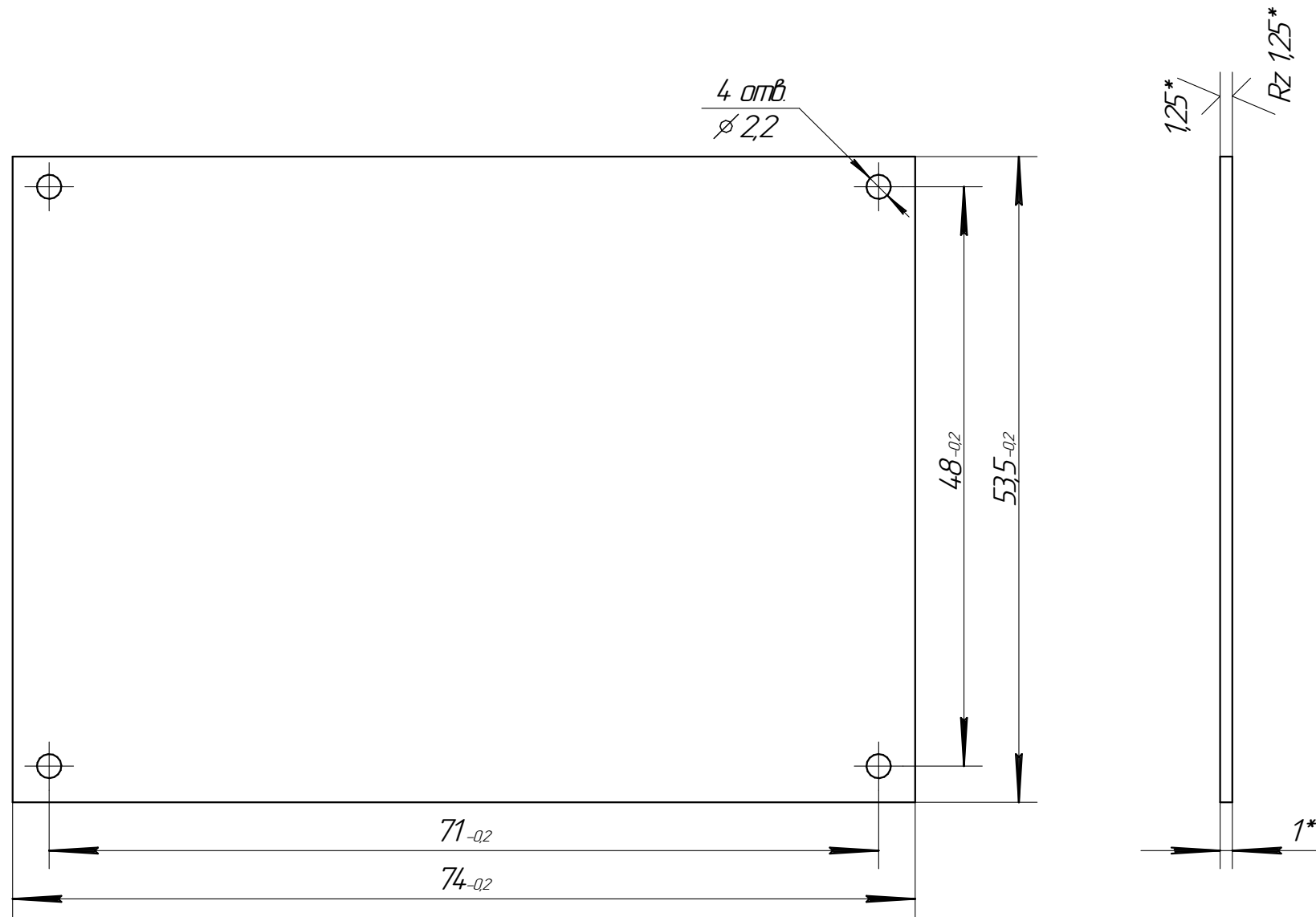
Подп. и дата

И-№Н° д.ф.л.

Взам.И-№Н°

Подп. и дата

И-№Н° подл.



1 *Размеры для справок
2 Неуказанные радиусы скруглений R2

Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Разраб		Обчинникова		
Проб		Умрихин		
Т. контр				
Соглас.				
Н. контр				
Утв		Умрихин		

MAI.469433.001

Плата

Лит	Масса	Масштаб
	52	2:1
Лист	Листов 1	

Стеклотекстолит фольгированный
СФ-1-50Г-1,0 ГОСТ 2134-79