

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**

Выполнил: студент группы 14-402
Константинов К.В.

Проверил: Умрихин О.Н.

Москва, 2009

Содержание

Лист	
Введение	4
Задание на конструирование	5
1 Техническое задание на разработку блока режекторных фильтров	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	7
1.6 Стадии разработки.....	9
1.7 Комплектность документации, порядок приемки, сроки	9
1.8 Приложения	9
2 Анализ технического задания.....	12
2.1 Анализ электрической принципиальной схемы.....	12
2.2 Выбор элементной базы	16
3 Разработка конструкции микросборки (МСБ)	17
3.1 Разработка топологии платы МСБ.....	17
3.1.1 Разработка топологии платы	17
3.1.2 Расчет тонкопленочных резисторов.....	17
3.1.2.1 Расчет $R1$	18
3.1.2.2 Расчет $R2$	18
3.1.2.3 Расчет $R3$	18
3.1.2.4 Результаты расчета тонкопленочных резисторов.....	18
3.1.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов	18
3.1.3.1 Расчет тонкопленочных конденсаторов.....	18
3.1.3.2 Расчет $C1, C3$	18
3.1.3.3 Результаты расчета тонкопленочных конденсаторов.....	18
3.1.4 Составление коммутационной схемы.....	18
3.1.5 Выбор типоразмера подложки	18
4 Разработка конструкции РЭС	18
4.1 Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока.....	18
4.2 Выбор системы охлаждения.....	18
4.3 Разработка конструкции функциональной ячейки.....	18
4.3.1 Расчет геометрических размеров функциональной ячейки.....	18

4.4 Разработка конструкции блока.....	18
4.5 Проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока.....	18
5 Оценка показателей качества конструкции	18
5.1 Оценочный расчет тепловых режимов конструкции	18
5.2 Оценка вибропрочности конструкции.....	18
5.3 Расчет надежности блока по внезапным отказам	18
6 Разработка технологического процесса платы МСБ	18
Заключение	18
Список литературы	18
Лист регистрации изменений	18

Введение

Целью данного курсового проекта является разработка конструкции режекторного фильтра.

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-экономическим 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.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

ЗАДАНИЕ

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

Студент Константинов К.В. Группа 14-402

Руководитель Умрихин Олег Николаевич

Срок представления проекта _____ Г.

1 Тема проекта: Разработка конструкции и технологии изготовления
режекторного фильтра

2 Исходные данные:

2.1 Технические требования

- 1) напряжение входного сигнала $U_{вх} = 1 \text{ В}$;
- 2) частота входного сигнала $f = 100 \text{ Гц} - 10 \text{ кГц}$;
- 3) напряжения питания $+U_{ип} = +12 \text{ В}$; $-U_{ип} = -12 \text{ В}$;
- 4) модель частоты подавления фильтра

$$f := \frac{1.9}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1}$$

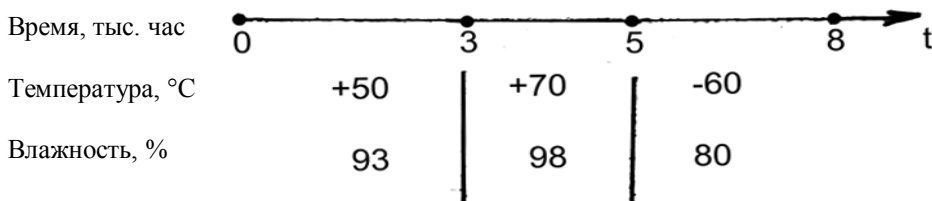
- 5) модель коэффициента усиления усилителя

$$K := \frac{R_7}{R_7 + R_5}$$

- 6) Допуски $D_f \leq \pm 1,5\%$ $D_k \leq \pm 0,5\%$

2.2 Схема электрическая принципиальная (приведена в приложении)

2.3 Условия эксплуатации



2.4 Объект установки и область применения на корабле

3 Требования, предъявляемые к конструкции

3.1 Габариты и масса - Требования не предъявляются

3.2 Показатели надежности - Общая вероятность безотказной работы (ВБР) $p(t) \geq 0,99$

3.3 Технологические требования - Требования не предъявляются

4 Объем курсового проекта

4.1 Пояснительная записка, содержащая:

- техническое задание на разработку блока режекторных фильтров;
- 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

5,2 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 _____ /К.В. Константинов/

1 Техническое задание на разработку блока режекторных фильтров

1.1 Наименование и область применения

1.1.1 Наименование: блок режекторных фильтров

1.1.2 Шифр: блок РФ-К.

1.1.3 Обозначение: ???

1.1.4 Область применения: на корабле.

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 режекторных фильтров.

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 режекторного фильтра , выданная кафедрой 404.

1.5 Технические (тактико-технические) требования

1.5.1 Состав изделия и требования к конструкции

1.5.1.1 Блок РФ-К 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.

1.5.2 Показатели назначения

1.5.2.1 Напряжение входного сигнала $U_{вх} = 1 \text{ В}$.

1.5.2.2 Частота входного сигнала от 100 Гц до 10 кГц.

1.5.2.3 Напряжения источников питания $+U_{ип} = +12 \text{ В}$; $-U_{ип} = -12 \text{ В}$.

1.5.3 Требования к надежности

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

1.5.3.2 Вероятность безотказной работы $P = 0,99$.

1.5.3.3 Срок сохраняемости блока в неотопливаемых 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.

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 $+70 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.5.7.3 Блок должен сохранять работоспособность в условиях воздействия пониженной температуры окружающей среды минус $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.5.7.4 Блок должен быть стойким при воздействии синусоидальной вибрации, находящейся в диапазоне частот от 20 до 200 Гц, при амплитуде виброускорения $19,6 \text{ м/с}^2$.

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.

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.

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. Покрытия 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.

2 Анализ технического задания

2.1 Анализ электрической принципиальной схемы

2.1.1 Описание электрической принципиальной схемы

Режекторный фильтр подавляет колебания вне некоторой полосе частот, является заграждающим. На заданную частоту подавления фильтр настраивают, одновременно изменяя или ёмкости конденсаторов C_1 , C_2 , C_4 или сопротивления резисторов R_1 , R_2 .

Полоса заграждения фильтра зависит от коэффициента усиления неинвертирующего усилителя, который регулируется изменением отношений сопротивлений резисторов R_5 и R_7 . Цепи C_3 - R_3 , R_6 - C_5 , C_6 -корректирующие. Резисторы R_4 , R_5 , R_7 – стабилизирующие.

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 VT_2 , VT_4) включены эмиттерные повторители (транзисторы VT_1 , VT_5), которые обеспечивают высокое выходное сопротивление и малый входной ток. Ток покоя входного каскада задается с помощью генератора тока, выполненного на транзисторе VT_3 , который термостабилизирован транзистором VT_7 в диодном включении. Транзистор VT_6 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 сигнала в одиночный выходной. Ток покоя второго каскада задается с помощью генератора тока на транзисторе $VT9$.

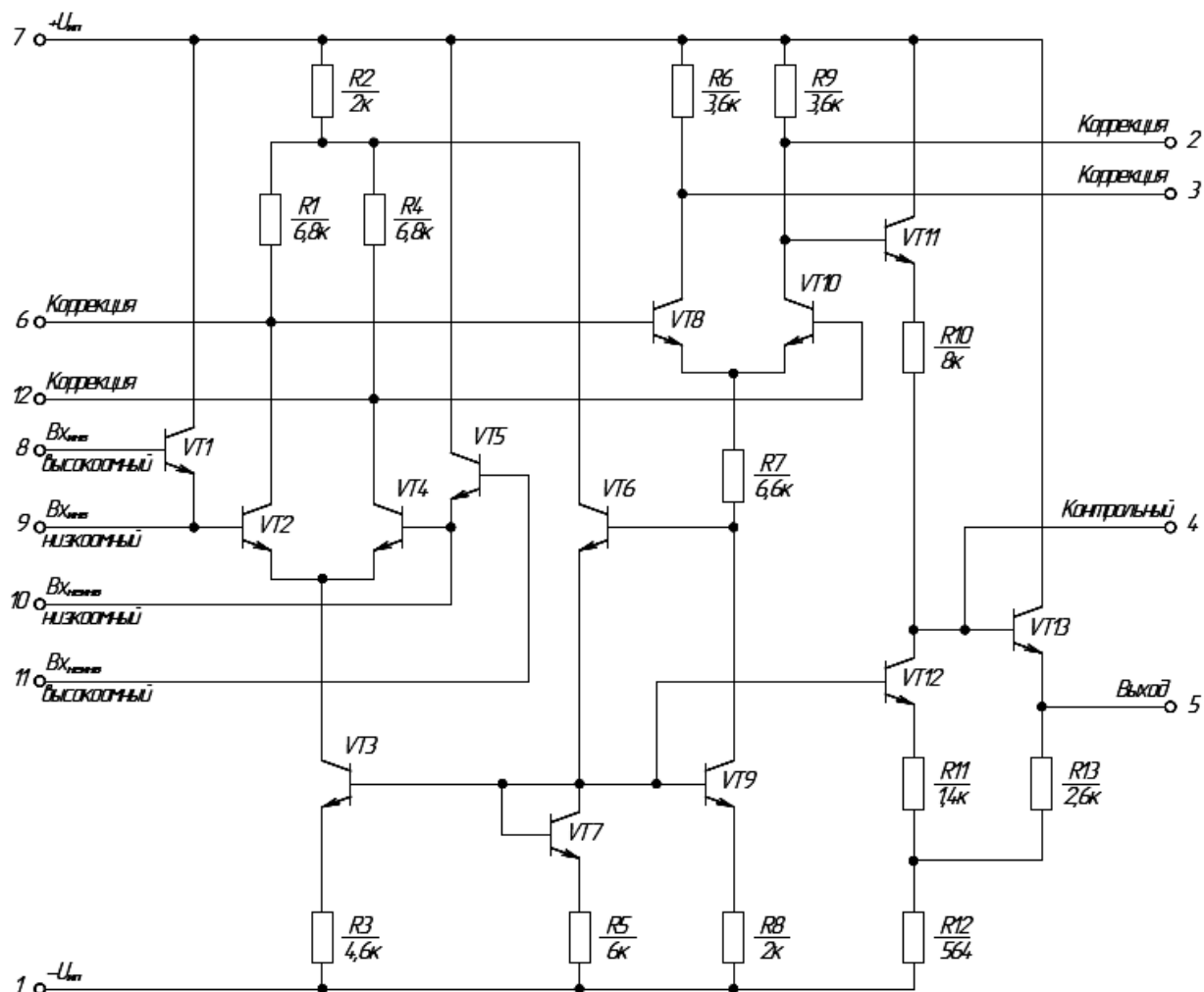


Рисунок 1 Операционный усилитель 140УД5А.

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 $R10$ - $R12$.

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

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

Определяем ток, протекающий через резисторы $R1$ по формуле:

$$I_1 := \frac{(U_{11} - U_B)}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = -16.66667 \times 10^{-6} \quad \text{А}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором $R1$, по формуле:

$$P_1 := I_1^2 \cdot R_1$$

$$P_1 = 8.33333 \times 10^{-6} \quad \text{Вт}$$

Определяем ток, протекающий через резистор $R2$, по формуле:

$$I_2 := \frac{(U_{11} - U_B)}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = -16.66667 \times 10^{-6} \quad \text{А}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором $R2$, по формуле:

$$P_2 := I_1^2 \cdot R_1$$

$$P_2 = 8.33333 \times 10^{-6} \quad \text{Вт}$$

Поскольку постоянные токи через резисторы R3, R4 и R6 из-за наличия емкостей C1-C5 отсутствуют

$$I_3 = I_4 = I_6 = 0$$

то с учетом влияния переменного напряжения на выводах микросхемы принимаем

$$P_3 = P_4 = P_6 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

Определяем ток, протекающий через резистор R5, по формуле:

$$I_5 := \frac{(U_8 - 0)}{R_5 + R_7}$$

$$I_5 = -208,72469 \times 10^{-6} \text{ А}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором R5, по формуле:

$$P_5 := I_5^2 \cdot R_5$$

$$P_5 = 204,76019 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

Определяем ток, протекающий через резистор R7, по формуле:

$$I_7 := \frac{(U_8 - 0)}{R_5 + R_7}$$

$$I_7 = -208,72469 \times 10^{-6} \text{ А}$$

Находим мощность, рассеиваемую резистором R7, по формуле:

$$P_7 := I_7^2 \cdot R_7$$

$$P_7 = 3,96451 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

Определяем напряжения на обкладках конденсаторов схемы по формуле

$$U_C = U_B - U_H$$

где U_B – напряжение, приложенное к верхней обкладке конденсатора;

U_H – напряжение, приложенное к нижней обкладке конденсатора.

Находим напряжения на конденсаторах схемы:

$$U_{C1} := U_B - I_7 \cdot R_7 = 18,99395 \times 10^{-3} \text{ В}$$

$$U_{C2} := (I_1 \cdot R_1) - (I_7 \cdot R_7) = -481,006 \times 10^{-3} \text{ В}$$

$$U_{C3} := (U_3) - (U_6) = 2,3 \text{ В}$$

$$U_{C4} := (U_{11}) - (I_7 \cdot R_7) = -981,006 \times 10^{-3} \text{ В}$$

$$U_{c5} := (U_{12}) - (U_{_2}) = -2.3 \quad \text{В}$$

$$U_{c6} := (U_4) - (U_{_2}) = -7.9 \quad \text{В}$$

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 и конденсаторы схемы .

Микросхему *DA1* типа 140УД5А выбираем в бескорпусном исполнении. Габаритные размеры микросхемы *DA1* и схема расположения выводов приведены в таблице 2.

Таблица 2

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

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 $L_{min}^T = b_{min}^T$, 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.

Расчет резисторов начинаем с выбора резистивного материала. Для этого определяем оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки $\rho_{кв\text{ опт}}$. Поскольку в электрической принципиальной схеме полосового фильтра, приведенной в приложении 1, содержатся резисторы с широким диапазоном сопротивлений (от 91 Ом до 30 кОм), то, чтобы минимизировать площадь, занимаемую резисторами на плате, целесообразно выбрать два резистивных материала.

Разделяем резисторы в схеме на две группы:

1) R_1, R_2, R_4, R_5

2) R_3, R_6, R_7

Определяем оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки для резисторов первой группы:

$$\rho_{KB_ОПТ} := \sqrt{\frac{R_1 + R_2 + R_4 + R_5}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}} = 9.81806 \times 10^3 \quad \frac{\text{ОМ}}{\text{КВ}}$$

По таблице выбираем материал с сопротивлением квадрата резистивной пленки $\rho_{KB} \approx \rho_{KB_ОПТ}$ и определяем параметры этого материала: удельную мощность рассеивания P_0 , температурный коэффициент сопротивления (ТКС) α_R .

Выбираем кермет

$$\rho_{KB}=20000$$

$$P_0=2 \text{ Вт/см}^2$$

$$\alpha_R=1,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

Определяем оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки для резисторов первой группы:

$$\rho_{KB_ОПТ} := \sqrt{\frac{R_3 + R_6 + R_7}{\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7}\right)}} = 359.03955 \quad \frac{\text{ОМ}}{\text{КВ}}$$

По таблице выбираем материал с сопротивлением квадрата резистивной пленки $\rho_{KB} \approx \rho_{KB_ОПТ}$ и определяем параметры этого материала: удельную мощность рассеивания P_0 , температурный коэффициент сопротивления (ТКС) α_R .

Выбираем РС-1714

$$\rho_{KB}=400$$

$$P_0=5 \text{ Вт/см}^2$$

$$\alpha_R=2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

3.1.2.1 Расчет R_1

- номинальное сопротивление $R_1 = 30 \text{ кОм}$;
- относительная погрешность сопротивления $\gamma_R = 10 \%$;
- мощность рассеяния $P = 0,0083 \text{ мВт}$;
- сопротивление квадрата резистивной пленки $\rho_{KB} = 20000 \text{ Ом/кв}$;
- удельная мощность рассеяния резистивной пленки $P_0 = 20 \text{ мВт/мм}^2$;
- минимальная технологически реализуемая длина и ширина резистора при фотолитографическом методе $L_{\min}^T = b_{\min}^T = 0,1 \text{ мм}$;
- 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:

$$k_1 := \frac{R_1}{\rho_{KB1}} = 1.5$$

При $k > 1$ расчет начинаем с определения расчетной ширины резистора. Расчетную ширину резисторов $b_{расч}$ определяем из условия:

$$b_{расч} \geq \max \left\{ b_{мин}^T ; b_{мин}^П ; b_{мин}^P \right\},$$

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

$b_{мин}^П$ – минимальная ширина резистора с учетом предельных отклонений на сопротивление резистора и сопротивление квадрата резистивного материала

$$b_{мин_П} := \left(\Delta b + \frac{\Delta l}{k_1} \right) = 0.00833 \quad \text{мм}$$

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

$$b_{мин_P} := \sqrt{\frac{P_1}{P_0 \cdot k_1}} = 0.00167 \quad \text{мм}$$

Определяем расчетную ширину резистора:

$$b_{расч} \geq \max \{ 0,1 ; 0,00833 ; 0,00167 \} = 0.1 \text{ мм.}$$

Определяем расчетную длину резисторов по формуле:

$$l_{рас} := b_{рас} \cdot k_1 = 0.15 \quad \text{мм}$$

Производим проверку правильности расчета сопротивления резисторов по формуле:

$$R_{рас} := \frac{\rho_{рас} \cdot l_{рас}}{b_{рас}} = 30 \times 10^3 \quad \text{Ом}$$

Находим полную длину резисторов по формуле:

$$l_n = 0.15 + 2 \cdot 0.1 = 0.35 \text{ мм.}$$

Определяем площадь, занимаемую резистором, по формуле

$$S = l \cdot b = 0.15 \cdot 0.1 = 0.015 \text{ мм}^2.$$

Определяем фактическое значение удельной мощности, рассеиваемой резистором, по формуле:

$$P_{O_ф} := \frac{P_1}{S} = 0.00056$$

Поскольку $R_{расч} < R_1$, $P_{O_ф} < P$, то расчет произведен верно