

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет

информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра

Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки

11.03.04. «Электроника и микроэлектроника»
код и наименование

Профиль

Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ02. 11.03.04. 009 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Интегральный приемопередатчик интерфейса CAN
тема бакалаврской работы

Студент группы

20ПД1
номер группы

[подпись] 10.06.24
подпись, дата

М.Р. Кондрашева
инициалы, фамилия

Руководитель

к.т.н. доцент
должность

[подпись] 10.06.24
подпись, дата

Ю.А. Вареник
инициалы, фамилия

ПГУ

наименование организации

Нормоконтролер

ст. преподаватель
должность

[подпись] 10.06.24
подпись, дата

Т.Н. Рыжова
инициалы, фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 10.06.24 № 10)

Заведующий кафедрой

[подпись] 10.06.24
подпись, дата

И.А. Пронин
инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой отл. (протокол ГЭК от 18.06.24 № 1)

Секретарь ГЭК

[подпись] 18.06.24
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 126 страницы машинного текста, включает 43 рисунка, 61 формулы, список использованных источников и 8 приложений.

Ключевые слова: интерфейс CAN, приемопередатчик, шина, поле данных, функциональный узел, доминантное состояние, буфер.

Объект разработки: интегральный приемопередатчик интерфейса *Controller Area Network* (локальная сеть контроллера).

Цель работы: проектирование гибридной интегральной микросхемы приемопередатчика CAN.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать принцип функционирования сети;
- разработать и реализовать модель схем приемной и передающей части, а также смоделировать их взаимодействие;
- спроектировать вариант приемопередатчика на основе печатной платы;
- спроектировать гибридную интегральную схему (ГИС) приемопередатчика.

Интерфейс CAN нашел широкое применение в современных системах автоматизации различной техники: автомобильная, сельскохозяйственная, наземная подвижная специализированная техника, морские и речные суда. При помощи данного интерфейса возможно объединение в сеть большого количества исполнительных устройств и датчиков с центральными вычислительными машинами (электронными блоками управления) подвижной техники. Сети CAN могут реализовываться с использованием различных способов передачи сигналов: радиоэфир, оптоэлектронные каналы и проводные линии передачи. Наибольшее распространение получили проводные сети CAN, где линия передачи образуется с помощью дифференциального витого кабеля.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вывод сигналов *CAN* в линию передачи от микроконтроллера электронного устройства производится с помощью интегральных микросхем – приемопередатчиков, согласующих и конвертирующих ТТЛ или КМОП сигнала микроконтроллера в дифференциальный сигнал витого кабеля. В настоящее время на рынке интегральных схем можно найти широкий ассортимент данных микросхем импортного производства, однако, отечественные образцы данных микросхем практически не представлены. При этом Российской промышленностью выпускается аппаратура, в которой ограничено или запрещено применение образцов иностранного производства. В связи с этим разработка и постановка производства отечественных образцов микросхем, выполняющих функцию приемопередатчика *CAN*, является актуальной задачей, решению которой посвящена данная работа.

Работа разделена на три раздела, в первом разделе анализируется протокол информационного обмена и аппаратная реализация сетей *CAN*, проводится сравнительный анализ приемопередатчиков иностранного производства. Второй раздел посвящен разработке электрической схемы приемопередатчика и его варианта на основе печатной платы. Третий раздел посвящен проектированию топологии подложки и конструкции ГИС приемопередатчика. В заключительном разделе проведена оценка себестоимости изготовления приемопередатчика, выполненного на основе печатной платы с использованием отечественных образцов микроэлектронных приборов.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	Ошибка! Закладка не определена.
1 Литературный обзор принципов построения и работ интерфейса CAN	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Структура и применение интерфейса CAN	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Формат передачи данных по CAN	11
1.3 Структурная схема и принцип работы приемопередатчика CAN	14
2 Проектирование и моделирование приемопередатчика CAN	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Проектирование схемы устройства..	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Проектирование варианта устройства на основе печатной платы	31
3 Проектирование гибридной интегральной микросхемы приемопередатчика	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Расчет тонкопленочных резисторов простой формы	46
3.2 Расчет тонкопленочных резисторов сложной формы	53
3.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов	55
3.4 Обоснование выбора корпуса ГИС. Описание технологии изготовления ГИС	59
4 Расчет себестоимости выпуска и свободной отпускной цены приемопередатчика	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	70
Список использованных источников	71
Приложение А. Задание на выпускную квалификационную работу	72
Приложение Б. Схема электрическая принципиальная приемопередатчика CAN	76
Приложение В. Послойный чертеж печатной платы приемопередатчика в программе <i>Altium Designer</i>	78

Приложение Г. Расчет пленочных элементов в <i>Mathcad.exe</i>	81
Приложение Д. Чертежи и спецификация слоев подложки ГИС	88
Приложение Е. Паспорта компонентов, входящие в состав приемопередатчика на основе печатной платы	102
Приложение Ж. Заявление и протокол для проверки ВКР на оригинальность.....	111
Приложение З. Презентация ВКР.....	115

ВВЕДЕНИЕ

Современное транспортное средство в связи с развитием технологического процесса и ростом потребностей людей стало представлять собой сложную электронную систему. Подобные системы в своем составе имеют множество электронных узлов и соединительных проводов, что привело к росту длины и веса проводки. Для устранения данной проблемы стали искать тип шинной коммутационной системы, которая смогла бы использоваться в качестве системы связи между несколькими ЭБУ. Для этого стали применять шину *CAN*, которая изначально была спроектирована для использования в автомобилях. Шина *CAN* представляет собой витую пару проводов, с помощью которой все блоки управления в устройстве соединены в единую информационную сеть. При таком подходе получилось уменьшить количество проводов и избежать дублирования датчиков.

Интерфейсы *CAN* стали широко распространены из-за ряда преимуществ:

- доступные цены на устройства сети;
- возможность подключения нескольких главных устройств;
- передача данных в реальном времени;
- возможность исправления ошибок;
- высокая степень защиты от помех.

Сегодня *CAN* является стандартом в автомобилях, кораблях, самолетах и многом другом. Сам *CAN*-интерфейс регламентирован международными стандартами *ISO11898* и *ISO11519-1* для высокоскоростных и низкоскоростных приложений.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div style="text-align: center; vertical-align: middle;">ВВЕДЕНИЕ</div>		
Разраб.	Кондрашева			10.06.11			
Провер.	Вареник			10.06.11			
Н. Контр.	Рыжова			10.06.11			
Утверд.							
					Лит.	Лист	Листов
						6	126
					Гр.20ПД1		

Концепция надежности передачи данных зависит от структуры линейной шины и равноправия компонентов в системе CAN. Каждый узел в сети имеет возможность обращения к шине, что позволяет передавать информацию через один или нескольких узлов. Передаваемое сообщение по шине может быть прочитано несколькими узлами одновременно, и каждый узел самостоятельно решает, принимать данное сообщение или нет. В случае сбоя узла или возникновения ошибки при синхронизации, он может быть отключен без нарушения целостности системы и обеспечения надежности приема передачи данных. Простота подключения и отключения узлов от шины обеспечивает гибкость всей системы.

Протокол CAN содержит уникальную систему адресации сообщений, каждое из которых сопровождается идентификатором. Идентификатор — это назначение передаваемых данных, на которые реагирует приемник, так же он определяет относительный приоритет сообщения и время его обработки. При передаче информации другие узлы сети получают сообщение и происходит проверка идентификатора, если сообщение относится к данному узлу, то происходит обработка, если нет – игнорируется. CAN-контроллер способен обрабатывать несколько идентификаторов одновременно, что позволяет устройствам иметь несколько каналов обмена информацией с другими устройствами, включая одновременный прием сообщений.

Для обнаружения ошибок и их уведомления в протоколе используется методы контроля по битам, непрерывное заполнение битового потока и проверка целостности пакета сообщения. Система арбитража предотвращает потерю данных по шине, причем частоту и фазу передаваемого сигнала можно программировать, не нарушая структуру сообщения в случае возникновения «конфликтов». Помехоустойчивость интерфейса CAN достигается путем подавления синфазных помех с помощью дифференциального приемопередатчика.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Литературный обзор принципов построения и работ интерфейса CAN

1.1 Структура и применение интерфейса CAN

Под локальной сетью контроллера (*Controller Area Network*) подразумевается промышленный стандарт, позволяющий интегрировать различные компоненты узлов, датчиков и механизмов в единую сеть. Протокол подразумевает, что все входящие устройства в сеть CAN получают все исходящие сигналы, передаваемые через шину. Распределение информации происходит последовательно, байты сообщений образуют кадр определенного типа.

Сеть служит для соединения узлов, действующих как приемники или передатчики. Такие узлы состоят из двух элементов: CAN-контроллер, который выполняет протокол обмена в CAN-сети, и приемопередатчик, который оказывает взаимодействие с сетью (отправка и прием сигналов).

В действительности CAN – шина реализуется в виде витой пары, с чьей помощью осуществляется передачи сигналов по дифференциальному методу.

На рисунке 1 отображена структура сети CAN. В качестве контроллера используют микроконтроллеры с CAN-модулем с выходом последовательного кодового передатчика *txd*, и с выходом приемника кода *RxD* приемопередатчик преобразует логические уровни в дифференциальные напряжения, которые подаются в витую пару, образованную проводами *CANH* (*CAN High Line*) и *CANL* (*CAN Low Line*). Линия связи обладает типовым волновым сопротивлением 108-132 Ом, поэтому требуется согласование выходного сопротивления передатчика и входного сопротивления приемника, которое имеет значение 120 Ом. Дифференциальные напряжения линии связи действуют относительно цепи общего провода *GND*, которое как правило передается с помощью оплетки витой пары.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Литературный обзор принципов построения и работы интерфейса CAN	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кондрашова		10.06.19				
Провер.		Вареник		10.06.19			8	126
Н. Контр.		Рыжова		10.06.19		Гр.20ПД1		
Утверд.								

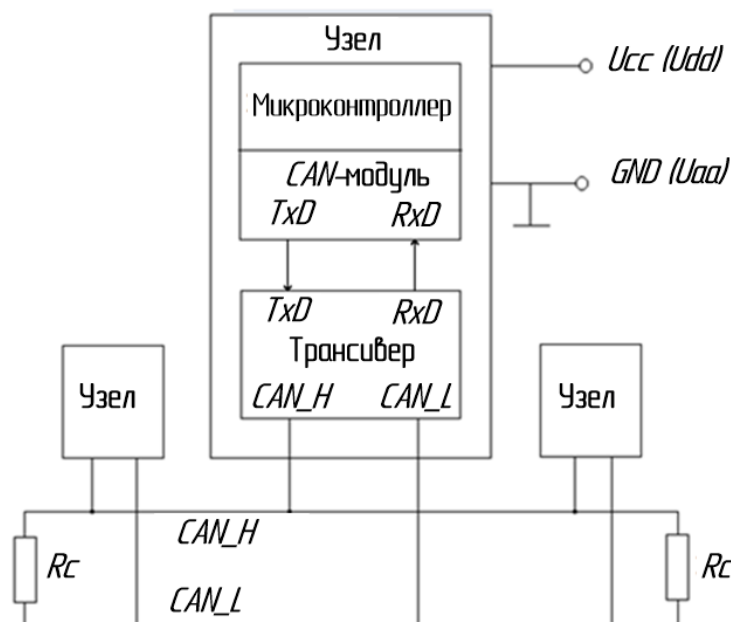


Рисунок 1 – Структура сети CAN

Для того чтобы не заикливаясь на физическом пространстве передачи, необходимо определить два состояния логики спецификации CAN (то есть логику 0 и 1), как рецессивное и доминантное состояние. Рецессивный бит имеет свойство передаваться одной сетью узла, доминантный бит- иной узел, предполагается, что доминирующий бит принят.

Рецессивное состояние (логика 1 на входе приемопередатчика *txd*) имеет дифференциальное напряжение, которое определяется как $UDIFF = UCAN_H - UCAN_L$, которое должно быть меньше минимального порогового значения (0,5 В на входе приемника и 0,05 В на выходе передатчика). Доминантное состояние (логика 0 на входе приемопередатчика *txd*), у которого дифференциальное напряжение $UDIFF$ должно превышать минимальный порог (0,9 В на входе приемника и 1,5 В на выходе передатчика).

Протокол CAN имеет объективный, канальный и физический уровень. Объективный и канальный уровень включает в себя весь сервис, передачу данных, определяемая моделью ISO/OSI. В сферу объективного уровня включают:

- обнаружение данных для процесса передачи;
- отбор сообщений, поступивших с уровня канального типа;
- организация взаимодействия между прикладным уровнем и аппаратными средствами.

На рисунке 2 представлена схема протокола CAN, шина применяет шаблоны с множеством главных шин, чтобы транспортировать кадры между узлами сети и совершать управление сценариями обработки ошибок. Поскольку CAN-протокол является устройством ввода и вывода с изображением в памяти для хост-процессов, которые имеют доступ к CAN-ядру для передачи и приема фрейма (кадров). CAN-ядро дает возможность пользователю установить надежность и экономичность соединения с несколькими ЭБУ.

На рисунке 2 наглядно показано, как CAN CTRL можно интегрировать и использовать, он состоит из нужного количества программированных фильтров приема и прерывания, а также единого интерфейса процессора (APB, AMBA и AHB-Lite). Текущий сетевой протокол имеет адаптивную систему буферизации, которая открывает возможность точнее передавать размер ядра для потребностей различных приложений.

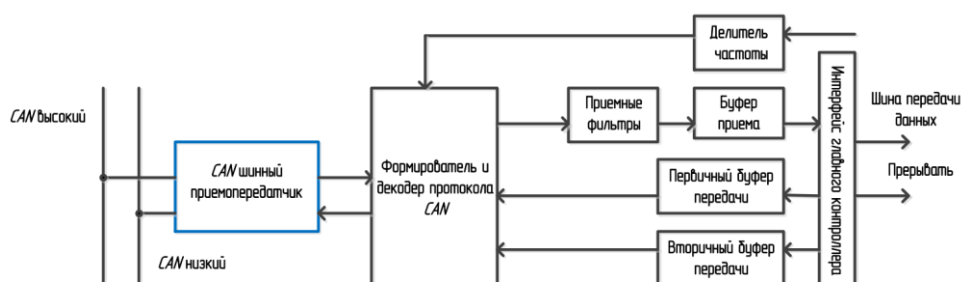


Рисунок 2 – Схема протокола CAN

Применением интерфейса APB в функционировании CAN-шины позволяет минимизировать энергопотребление, вместе с тем нейтрализовать сложности взаимодействия. В то время как AHB-Lite содействует обеспечению должного качества производительности, при этом помогает создавать условия для хорошей тактовой частоты систем.

Использование количества буферов приема зависит от конфигурации времени синтеза. Существует два вида буферов передачи: первичный и вторичный, которые обозначаются как *PTB* и *STB*. Буфер *PTB* имеет высокий приоритет, а *STB* – низкий. В буфере первичной передачи может храниться одно сообщение, а количество буферных ячеек, которые будут использоваться во вторичном буфере передачи, настраивается во время синтеза. В приоритетном режиме буфер передачи функционирует по принципу «первый вход – первый выход» [1].

1.2 Формат передачи данных по CAN

Доминантные и рецессивные состояния образуют поток бит последовательных передач данных. В интерфейсе применяются только короткие сообщения, пороговый объем данных сообщений равен 94 бита, фактически содержание данных в CAN-сообщении неявно определяет местонахождение источника и получателя, которому требуется данная информация. Остальные узлы, которые нуждаются в нужной информации, принимают ее.

Материалы, отправляемые по шине CAN, называют фреймами или кадрами. Выделяется четыре формы фреймов, а зависимости от инициатора передачи и ее назначения:

- кадр запроса данных – используется для устранения запроса с удаленного узла;
- кадр ошибки – прибегают при выявлении неточностей на шине;
- кадр данных – применяется для коммуникации, транспортировки полученных материалов;
- кадр перезагрузки – активируются для задержки передачи пакетов, кадров данных и кадров запроса.

На рисунке 3 продемонстрирована схема стандартного формата сообщения фрейма данных, которая включается в себя семь многообразных битовых полей:

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- область начального фрейма состоит из первого главного бита, который служит для синхронизации генератора приемника и передатчика.
- в поле арбитража содержится 11-разрядный идентификатор и бит *RTR* (запрос на передачу данных), для фрейма информация данного бита должна иметь доминантный уровень.
- поле управления состоит из 6 бит: первых два бита не используются в данный момент, а 4-разрядный код указывает количество байт в поле.
- область информации охватывает от 0 до 8 байт данных
- поле контрольной суммы включает в себя два аспекта: контрольную сумму сообщения, состоит из 15 бит, и разделительный бит рецессивного уровня.
- сфера подтверждения, имеет только 2 бита. Первый бит является старшим, предоставляет доступ к узлу передачи с рецессивным уровнем. Если момент передачи проходит успешно, то принимающий узел сигнализирует об этом, тем самым зафиксировал данный бит на доминирующем уровне. Второй бит является разделителем рецессивного уровня.
- поле конца фрейма состоит из 7 битов рецессивного уровня.

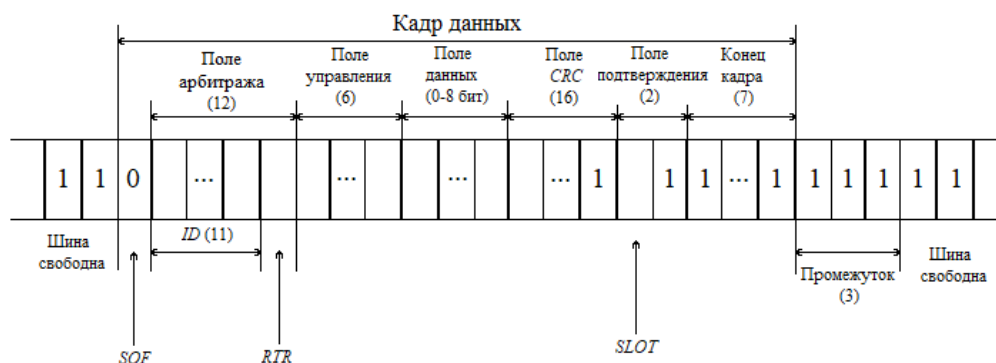


Рисунок 3 – Схема стандартного формата сообщения фрейма данных

Стандартный CAN проиллюстрирован на рисунке 4, этот формат стандартного CAN объясняется следующим образом:

– начало фрейма (*SOF*) – указывает, что в сети *CAN* запускается новый кадр длиной в 1 бит. Идентификатор позволяет установить приоритеты фрейма данных, чтобы наименьшее двоичное значение имело высокий приоритет.

– запрос удаленной передачи (*RTR*) – запрос объясняет, почему данный тип кадра может быть, как удаленным, так и фреймом данных. Данный бит занимает главную позицию, когда необходимо получить информацию из иного узла, если длина составляет 1 бит. Область управления приставляет собой систему функций, которая задается пользователем.

– расширение идентификатора (*IDE*)- старший бит *IDE* указывает, что это стандартный идентификатор *CAN*, а младший бит *IDE*- расширенный идентификатор.

– код длины данных (*DLC*) – определяет длину поля данных, составляет 4 бита.

– поле данных – передает прикладную информацию в объеме до 64 бит.

– контрольные суммы (*CRC*) имеют длину 15 бит является преимуществом при выявлении неточностей в процессе передачи информации, таким образом, во время приема и передачи фрейма данных вычисляется *CRC*, а затем вычисляется результат, если результат не совпадет, то это создает ошибку.

– подтверждение (*ACK*) имеет 2-разрядную длину (бит подтверждения и бит разделителя). В отличие от других протоколов, *CAN* не требует никакого дополнительного пакета подтверждения.

– конец фрейма (*EOD*) – это 7-разрядное поле, которое указывает на завершение кадра, а также прекращает битовое заполнение, что означает указание на ошибку заполнения, когда поле было доминантным.

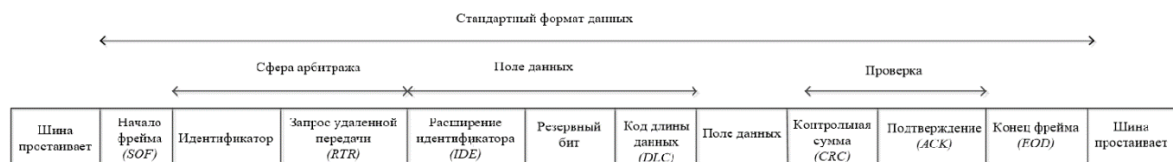


Рисунок 4 – Схема стандартный формат данных CAN

Схема расширенного CAN формата представлена на рисунке 5, в отличие от стандартного формата она имеет дополнительных три бита:

- запоминающий удаленный запрос (*SRR*) – бит заменяет бит *RTR* в качестве заполнителя.
- расширение идентификатора (*IDE*) – рецессивный бит в *IDE* указывает, что сеть содержит дополнительные биты идентификатора, которым необходимо следовать.
- *r1*-резервный бит.

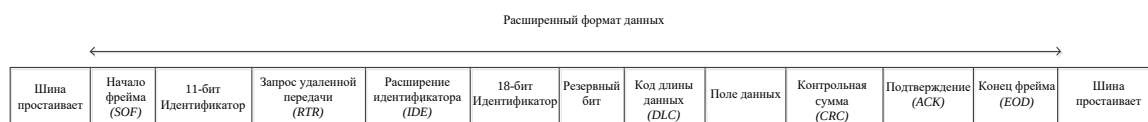


Рисунок 5 – Схема расширенного формата данных CAN

1.3 Структурная схема и принцип работы приемопередатчика CAN

Сеть CAN включает в себя три типа узла сети – узел X, узел Y и узел Z, при этом каждый узел состоит из трех компонентов. На рисунке 6 схема передачи данных по протоколу CAN.

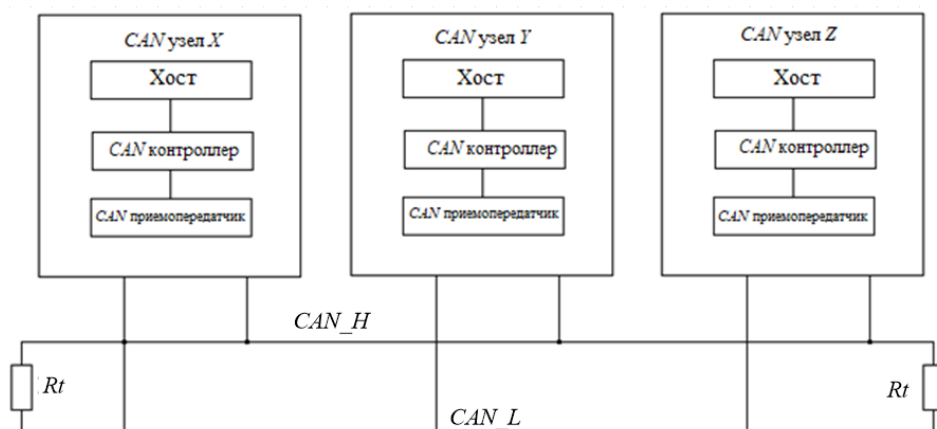


Рисунок 6 – Схема передачи данных по протоколу CAN

Хост представляет собой узел микропроцессора или микроконтроллера, который выполняет поставленную задачу при запуске нескольких программ, она оценивает содержимое принятого сообщения и определяет, какое сообщение следует передать позже.

Приемопередатчик CAN преобразует сигнал передачи данных в поток данных, принимаемых по шине CAN.

CANbus устанавливает связь между узлами неэкранированного кабеля с витой парой. Передача данных происходит из-за различных уровней напряжения, подаваемых на линии CAN_H и CAN_L. При подаче дифференциального напряжения мы можем понять, передаются ли биты *logic HIGH* и *logic LOW*. Высокая логика в CAN – рецессивная, а низкая логика – доминантная. В случае, когда происходит одновременная передача доминирующий и рецессивных битов, CAN – шина находится в доминирующем состоянии, потому что рецессивное состояние возникнет только когда все узлы передают только рецессивные биты и является логикой AND.

В основном выделяют четыре типа протокола CAN:

- высокоскоростной, он имеет скорость передачи 1 млн.б/сек;
- низкоскоростной или тип отказоустойчивости, имеет скорость передачи 125 тыс.б/сек. Данный тип инициирует обмен данных в момент возникновения ошибки;
- однопроводный, подает импульс высокого напряжения для пробуждения неактивного устройства, имеет один провод и скорость передачи 88, 3 б/сек;
- выбираемый, состоит из 2 портов, каждый порт может использоваться для высоких и низких скоростей или одного проводного.

Особенности сети, которые реализованы на основе протокола CAN:

- сообщение получают все узлы одновременно, затем каждый из них индивидуально определяет имеет ли данный пакет отношение к нему или нет;

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- конфигурационная гибкость подразумевает, что любой узел может в произвольный момент подключиться или отключиться от сети, при этом работа сети не измениться;
- не имеется постоянно ведущего узла, следовательно, любой узел запросивший доступ к шине и выигравший арбитраж становится ведущим во время передачи по шине пакета данных;
- проведение поиска ошибок и передачи сигналов об недостатках. Различает случайные ошибки от постоянных отказов узлов с возможностью выключения дефектных узлов;
- неразрушающийся арбитраж доступа к шине, если шина в текущий период свободна, то узел имеет возможность начать передачу, но если более двух узлов одновременно начинают передавать, то возникающий конфликт разрешается автоматически с помощью поразрядного арбитража, который использует идентификатор.
- математическое повторение передачи сбойных сообщений при получении возможности повторного доступа к шине.

Все CAN – узлы имеют в своей структуре три основных элемента: приемопередатчик физического уровня, микроконтроллер, который реализует функциональное назначение узлов, и контроллер протокола.

Зачастую, контроллер CAN – протокола, не отдельная микросхема, а является составляющей современных микроконтроллеров, в свою очередь приемопередатчик выполняется в виде отдельных микросхем. Это обусловлено тем, что гальваническая развязка может быть проще реализована между контроллером протокола и приемопередатчиком.

Естественно CAN – шина материализована в виде витой пары – CAN_H и CAN_L, которые зашунтированы резисторами в крайних точках. На рисунке 7 проиллюстрирована схема уровней сигналов на шине CAN, низкий логический уровень на входе передатчика преобразуется в доминантное напряжение в линии связи при этом потенциал на линии CAN_H – 3,6 В, а на CAN_L - 1,4 В. Высокий логический уровень кодируется рецессивным

стоянием, то есть линия отключена при этом на обоих проводах действует потенциал равный 2,5 В.

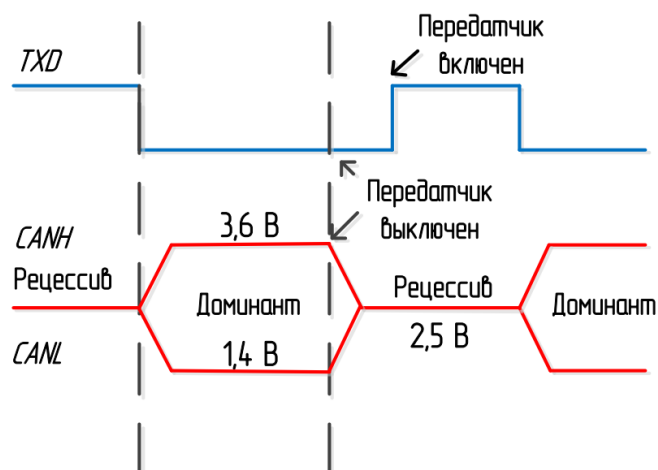


Рисунок 7 – Схема уровней сигналов на CAN – шине

Основной функцией CAN – приемопередатчика является соединение между контроллером протокола CAN с одной стороны и физическими линиями CAN – шины с другой.

На рисунке 8 представлен приемопередатчик, работающий с 5-вольтовыми логическими уровнями, таким образом, пропадает необходимость дополнительного напряжения питания.

Данный приемопередатчик относится к передатчикам с типовым исполнением – 8-выводная микросхема в корпусе SOIC. Назначение выводов: два вывода – линии CAN – шины, два – связь с контроллером, два – питания микросхемы и два оставшиеся вывода имеют различное назначение.

Если вывод S поддается низкому уровню или вывод остается свободным, то приемопередатчик находится в нормальном режиме работы и имеет возможность доступа к линиям CAN – шины. А если уровень вывода S выше, то приемопередатчик переходит в режим молчания, то есть блокируется, при этом все иные функции продолжают функционировать.

Отметим что данный режим не является энергосберегающим, то есть приемопередатчик не будет работать на передачу, но при этом не будет меньше потреблять, так как есть стандартное потребление в рецессивном состоянии.

Однако, в нем есть установленный полноценный энергосберегающий режим – «спящий», он наступает, когда контроллер подает на вход *SBT* высокий уровень сигнала, то приемопередатчик переходит в спящий режим. Отличие режима молчания и «спящего» – в спящем периоде блокируется тракт приемника и передатчик [2].

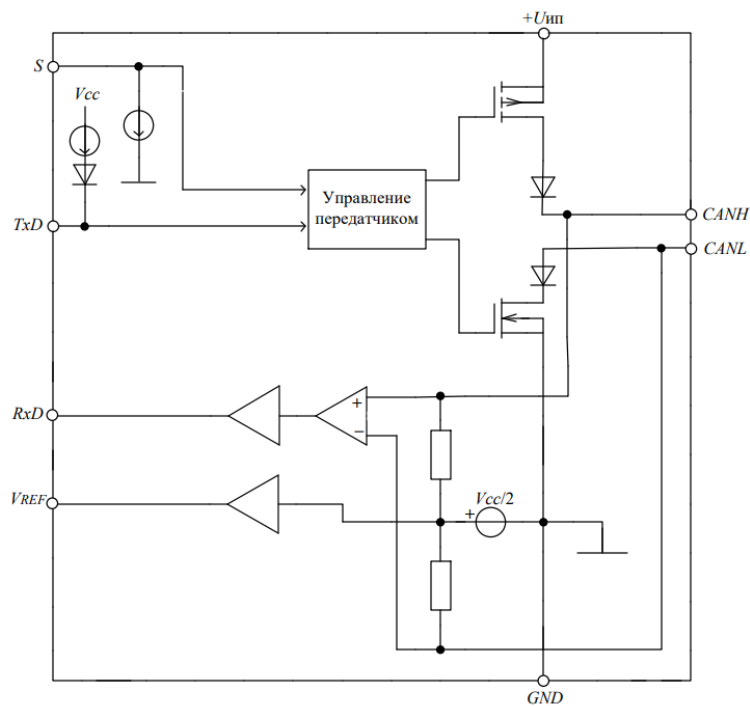


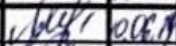
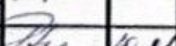
Рисунок 8 – Структура приемопередатчика

2 Проектирование и моделирование приемопередатчика CAN

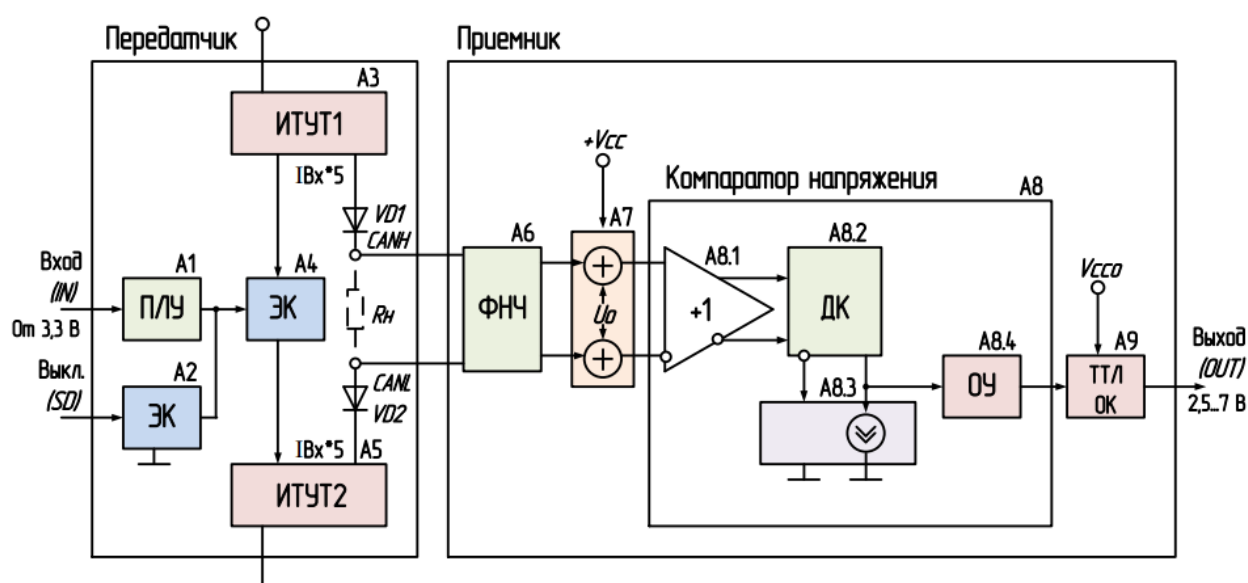
2.1 Проектирование схемы устройства

Структурная схема устройства, представленная на рисунке 9, разбита на две основные части: передающая и приемная. Передатчик предназначен для преобразования логических уровней от микроконтроллера в шину CAN, а приемник предназначен для обратного преобразования, т.е. преобразование дифференциального сигнала в логические уровни. Передатчик основан на двух источниках токов управляемых током (ИТУТ), которые формируют падение напряжения на нагрузочном сопротивлении линии. На входе передатчика находится преобразователь логических уровней (ПЛУ) А1, необходимый для согласования логических уровней микроконтроллера (входной сигнал передатчика) с потенциалами схемы передатчика. В свою очередь приемник основан на компараторе напряжения, входной сигнал на который приходит из линии связи через фильтр низких частот (ФНЧ). На выходе компаратора напряжения образуется последовательность логических уровней для микроконтроллера.

Принципиальная электрическая схема, представленная на рисунке 10 имеет обозначение функциональных узлов, соответствующие структурной схеме устройства. ПЛУ выполнен на основе транзистора VT1 и двух резисторов R1, R2. Транзистор VT3 и резисторы R6, R8 образуют электронный ключ А2, который требуется для запрета работы передатчика, т.е. если высокий логический уровень подается на вывод SD открывается транзистор VT3 и блокирует работу транзистора VT4, который образует второй электронный ключ А4. При отпирании транзистора происходит замыкание входа ИТУТ1 А3 со входом ИТУТ2 А5, что приводит к протеканию сквозного тока по следующей цепи: резистор R4, транзистор VT2.1, транзистор VT4, транзистор VT5.1 и резистор R7.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование и моделирование приемопередатчика CAN	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Кондрашева		08.03.11					
Провер.		Вареник		10.03.11			19	126	
Н. Контр.		Рыжова		16.11.11		Гр.20ПД1			
Утверд.									

Данный сквозной ток «отзеркаливается» и усиливается транзисторами VT2.2, VT5.2.



ИТУТ-источник тока управляемый током; ЭК-электронный ключ; ПЛУ-преобразователь логических уровней; ФНЧ-фильтр нижних частот; ДК-дифференциальный каскад; ОУ-оконечный усилитель; ТТЛ ОК- ТТЛ оконечный каскад; R_H -линия связи.

Рисунок 9 – Структурная схема интегрального приемопередатчика интерфейса CAN

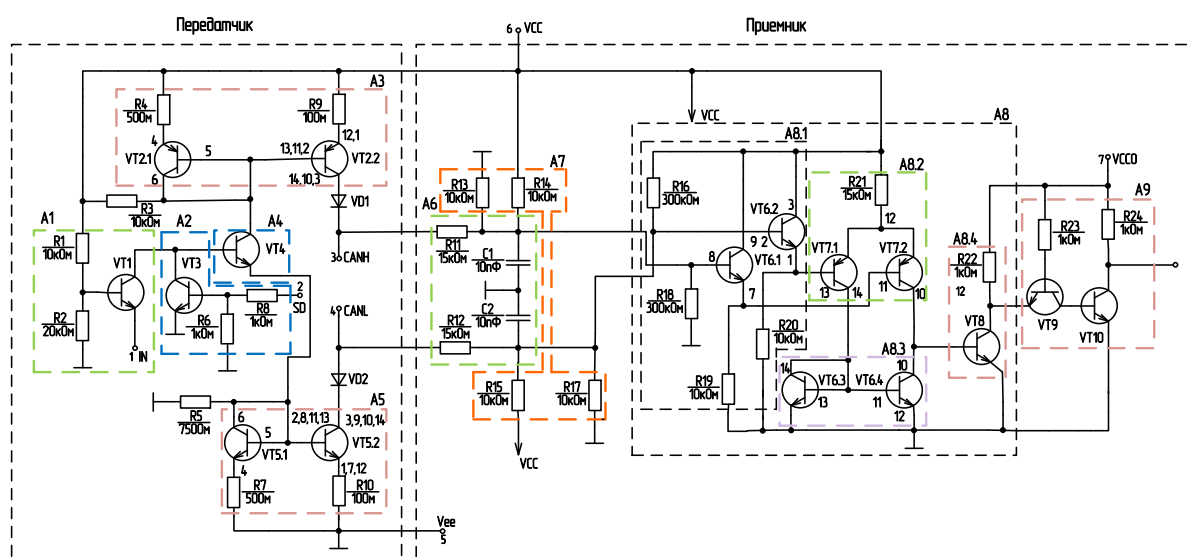


Рисунок 10 – Схема электрическая принципиальная приемопередатчика интерфейса CAN

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ

Лист

20

В итоге в цепи линии передачи CAN появляется выходной ток, который будет протекать через резисторы нагрузки номиналом по 120 Ом, подключаемые в начале и конце линии передачи. В следствии чего нагрузка на передатчике будет составлять 60 Ом, на которых выходной ток этих источников тока должен образовать падение напряжения необходимое для создания доминантного состояния в линии передачи 2,5-3 В.

Рецессивное состояние в линии передачи получается, когда открывается транзистор VT1 в ПЛУ при условии подачи на вход логического нуля (замкнуть вход с цепью общего провода). Транзистор VT1 замыкает базу транзистора VT4 на цепь общего провода, что приводит к закрытию VT4 и размыканию входов ИТУТ1 и ИТУТ2. В результате транзисторы VT2.2 и VT5.2 закрываются полностью тем самым в линии передачи получается рецессивное состояние – отсутствие напряжения. Резисторы R3 и R5 электрической схемы необходимы для предотвращения приоткрывания транзисторов, входящих в передающую часть при запираии транзистора VT4. Приоткрывание транзисторов может происходить при возникновении токов утечки транзистора VT4. Чтобы избежать данной ситуации резисторы R3 и R5 «забирают» паразитные токи на себя, т.е. шунтируют выходы источников тока управляемых током.

Приемная часть работает следующим образом. Сигнал с линии передачи приходит на ФНЧ А6, который входит в состав приемной части. ФНЧ состоит из двух резисторов R11, R12 и двух конденсаторов C1, C2. По каждой из линии будет происходить сглаживание переходных процессов входного напряжения, действующего относительно цепи общего провода. Затем сигнал передается в схему смещения А7, которая необходима для центрирования потенциала двух сигналов, приходящих из ФНЧ относительно напряжения питания, т.е. в каждом выходе ФНЧ по линии CANH и CANL в состоянии покоя должна действовать половина напряжения питания 2,5 В. Отсутствие напряжения смещения на входах компаратора напряжения А8 приведет к выходу его из линейного режима работы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таким образом, схема смещения необходима для того, чтобы в состоянии покоя на выходах ФНЧ всегда было напряжение равное 2,5 В для работы схемы.

Выходные сигналы ФНЧ попадают в компаратор напряжения А8, у которого на входе стоят два резистора *R16* (подключен к плюсу питания), *R18* (подключен к общему проводу), эти резисторы являются высокоомными (300 кОм) и дают малый ток во входной цепи. Резисторы *R16* и *R18* обеспечивают входы компаратора небольшим дифференциальным напряжением отрицательной полярности, необходимым для устойчивого нахождения выхода компаратора в рецессивном состоянии при отсутствии сигнала в линии передачи CAN. Когда возникает доминантное состояние в линии передачи напряжение с выходов А6 меняет полярность дифференциального напряжения на входе компаратора. Внутри самого компаратора напряжения имеются повторитель А8.1 на основе транзисторов VT6.1, VT6.2, которые снижают влияние входного сопротивления дифференциального каскада компаратора на работу ФНЧ и схемы смещения, т.е. повторитель напряжения в данном случае увеличивает входное сопротивление А8. Затем дифференциальное напряжение поступает на входы дифференциального каскада А8.2. Применение токового зеркала А8.3 на основе согласованной пары транзисторов VT6.3 и VT6.4 повышает усиление дифференциального каскада А8.2.

При работе токового зеркала транзисторы VT6.3, VT6.4 открываются одинаково, и транзистор VT6.4 «тянет» выход компаратора напряжение к потенциалу общего провода, транзистор VT7.2 закрывается, соответственно потенциал на выходе компаратора падает. При закрывании VT7.1 в токовое зеркало ток не течет, оба транзистора VT6.3, VT6.4 закрываются, но при этом VT7.2 открывается, тогда выходное напряжение компаратора повышается. Фактически дифференциальный каскад получает очень высокое усиление за счет высокого внутреннего сопротивления в нагрузке транзисторов VT7.1 и VT7.2, обеспеченного токовым зеркалом.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выходное напряжение с А8 усиливается оконечным каскадом А8.4 на основе транзистора *VT8* и резистора *R22*. На выходе схемы использован ТТЛ оконечный каскад для повышения нагрузочной способности ОУ А8.4 (низкий логический уровень обеспечивается транзистором *VT10* при его открытии, а высокий с помощью резистора *R24*).

Схема смоделирована в программе *NI Multisim*. Проверена работоспособность электрической схемы благодаря анализу в контрольных точках, обозначение точек на схеме представлены на рисунке 11, использовано два типа анализа: при переменном и постоянном сигнале. Результат работы схемы приведен в таблице 1 при действии постоянных напряжений на входах передатчика, при воздействии низкого и высокого логического уровня на информационном входе *IN*, аналогично на входе *SD*, который запрещает работу передатчика.

Таблица 1 – Результат работы электрической схемы при переменном и постоянном сигнале

№	Состояние выхода		S2	S3	S4	S5	S6 (CANH)	S7 (CANL)	U6-U7 (Дифференциальное выходное напряжение передатчика)
SD=0 V	IN=0 V	Рецессивное	4.95	0	0	5	2.467	2.467	0
	IN=3.3 V	Доминантное	3.691	1.296	0.461	4.527	3.720	1.273	2.447
SD=3.3 V	IN=0 V	Рецессивное	4.95	0	0	5	2.467	2.467	0
	IN=3.3 V	Рецессивное	4.95	0	0	5	2.467	2.467	0

№	Состояние выхода		S8	S9	U8-U9 (Дифференциальное входное напряжение компаратора)	S10	S11	S12	S13
SD=0 V	IN=0 V	Рецессивное	2.45	2.511	-0.061	1.833	0.695	0.043	3.297
	IN=3.3 V	Доминантное	2.753	2.214	0.539	1.538	0	0.810	0.027
SD=3.3 V	IN=0 V	Рецессивное	2.45	2.511	-0.061	1.833	0.695	0.043	3.297
	IN=3.3 V	Рецессивное	2.45	2.511	-0.061	1.833	0.695	0.043	3.297

При наличии высокого логического уровня на линии *SD* передатчик перестает работать, наглядно наблюдаем по потенциалам, полученным в точках схемы. При наличии низкого логического уровня на линии *SD* потенциалы в точках схемы зависят от логического уровня на информационном входе, т.е. в данном состоянии схема чувствительна к входному сигналу *IN*. Приемная часть работает независимо от состояния передатчика.

При действии переменного сигнала на входе были получены осциллограммы в контрольных точках при низком логическом уровне на входе *SD*, разрешающем работу передатчика. На рисунке 12 видна работа транзистора *VT4* при изменении напряжения на входе передатчика. Потенциал в точке 2 изменяет значение с 5 В (напряжение питания передатчика) на 3,7 В, которые падают на входном каскаде ИТУТ1. На рисунке 13 показано изменение потенциалов на входе ИТУТ2 и резисторе, задающем выходной ток, при изменении логического уровня на входе передатчика. При отпирании транзистора *VT4* на входах ИТУТ1 и ИТУТ2 падает напряжение порядка 1,3 В. На базно-эмиттерных переходах транзисторов *VT2.1* и *VT5.1* падает 0,7-0,8 В, а на резисторах *R4* и *R7* остается также 0,4-0,5 В. Это напряжение возникает при отпирании транзисторов *VT2.2* и *VT5.2* на резисторах *R9* и *R10* соответственно (см. сигнал *S4* рисунка 13). Так как номиналы резисторов *R9* и *R10* составляют 10 Ом, выходной ток ИТУТ1 и ИТУТ2 получается равным 50 мА (стандартный номинальный выходной ток передатчика *CAN*). Сигнал *S5*, показанный на рисунке 14 аналогичен *S4*, но действует относительно потенциала питания передатчика. Сигналы *S6* и *S7* на рисунках 14 и 15 создаются передатчиком в линии передачи сети *CAN*. Как видно из осциллограмм данные сигналы по размаху соответствуют стандарту сети *CAN*.

Также на осциллограммах этих сигналов видны короткие импульсы напряжения из-за рассогласования времен отпирания выходных транзисторов ИТУТ1 и ИТУТ2 на единицы наносекунд, что не нарушает передачу информации по сети, так как длительность этих переходных процессов несопоставимы с длительностью бита, передаваемого последовательного двоичного кода. На рисунке 15 видна работа ФНЧ (сигнал S8), ослабляющего переходные процессы в линии передачи CAN. На рисунке 16 показаны входной (S9) и выходной (S10) сигналы входных эмиттерных повторителей компаратора напряжения. На рисунке 17 показаны выходной сигнал компаратора напряжения (S11) и оконечного усилителя (S12). Из этих осциллограмм видно, что компаратор напряжения вносит задержку распространения сигнала от линии CAN к выходу компаратора порядка 250 нс. А оконечный усилитель добавляет задержку порядка 100 нс. При этом длительности импульсов не искажаются, что сохраняет целостность передаваемого двоичного кода.

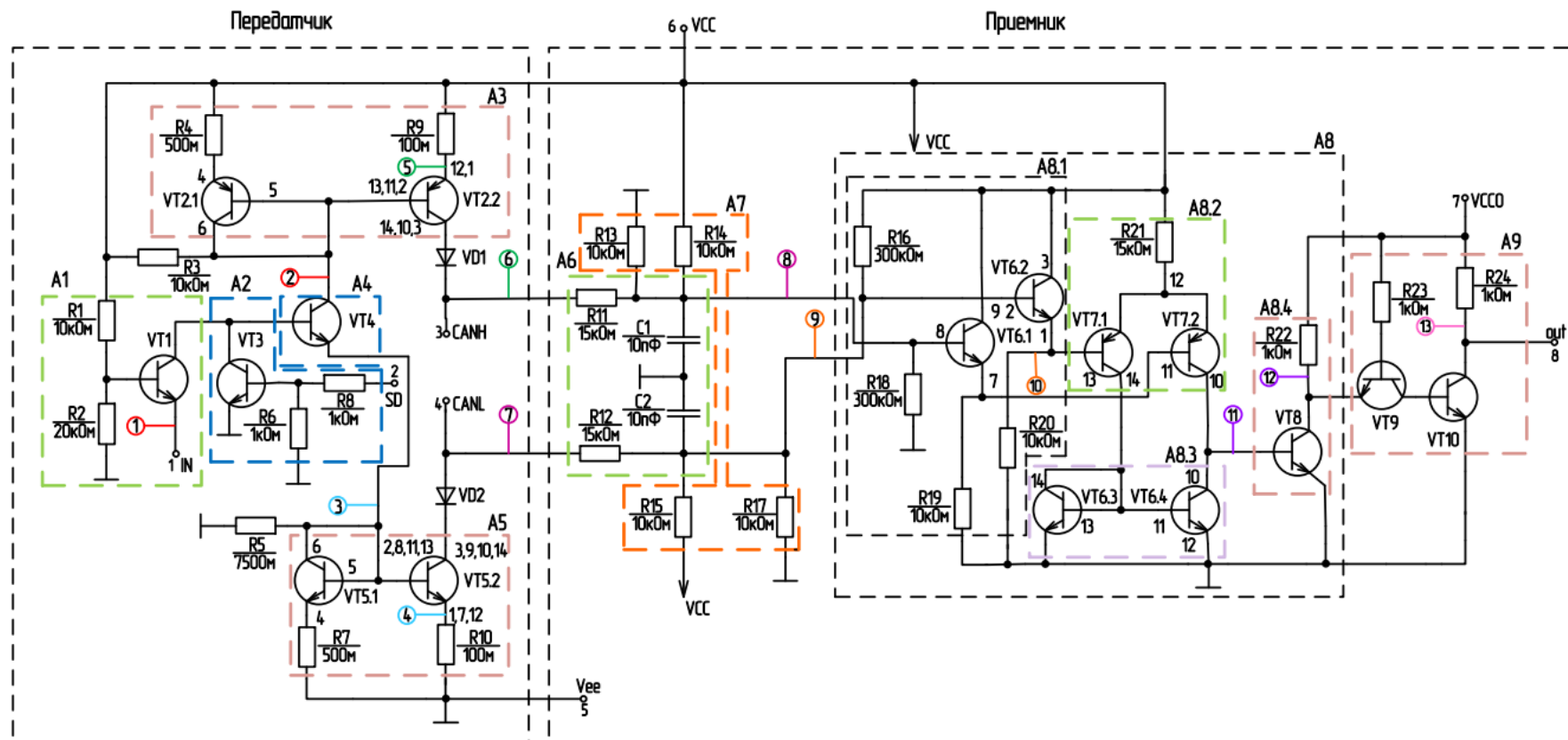


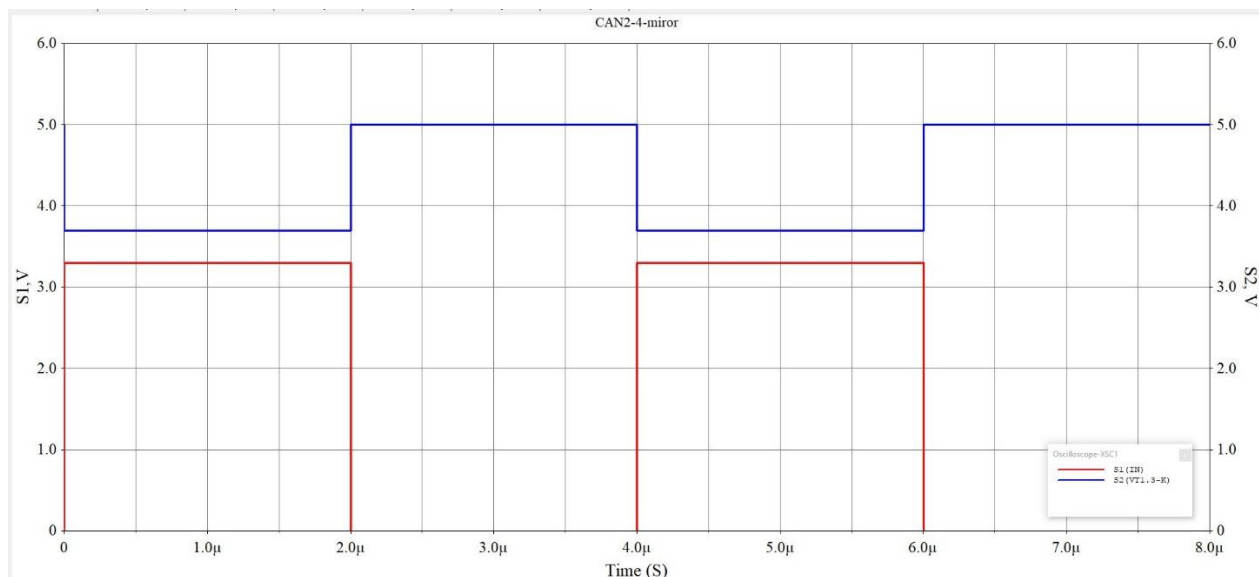
Рисунок 11 – Схема электрическая принципиальная устройства с обозначением контрольных точек

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ

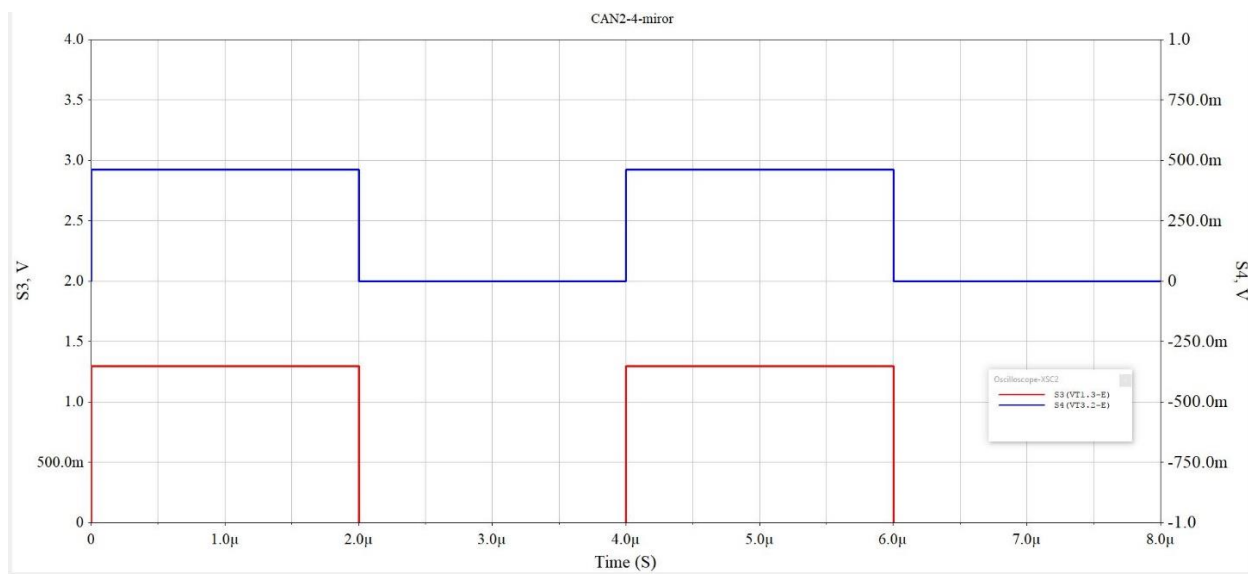
Лист

26



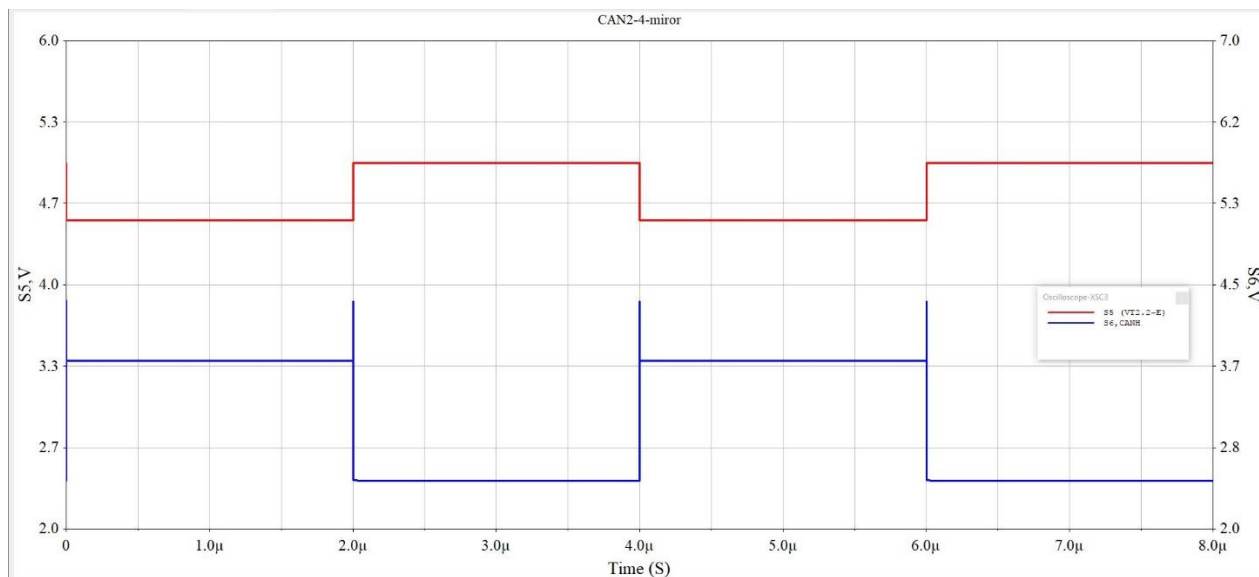
Красный цвет – $S1(IN)$, синий - $S2(VT1.3-K)$

Рисунок 12 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №1 и №2



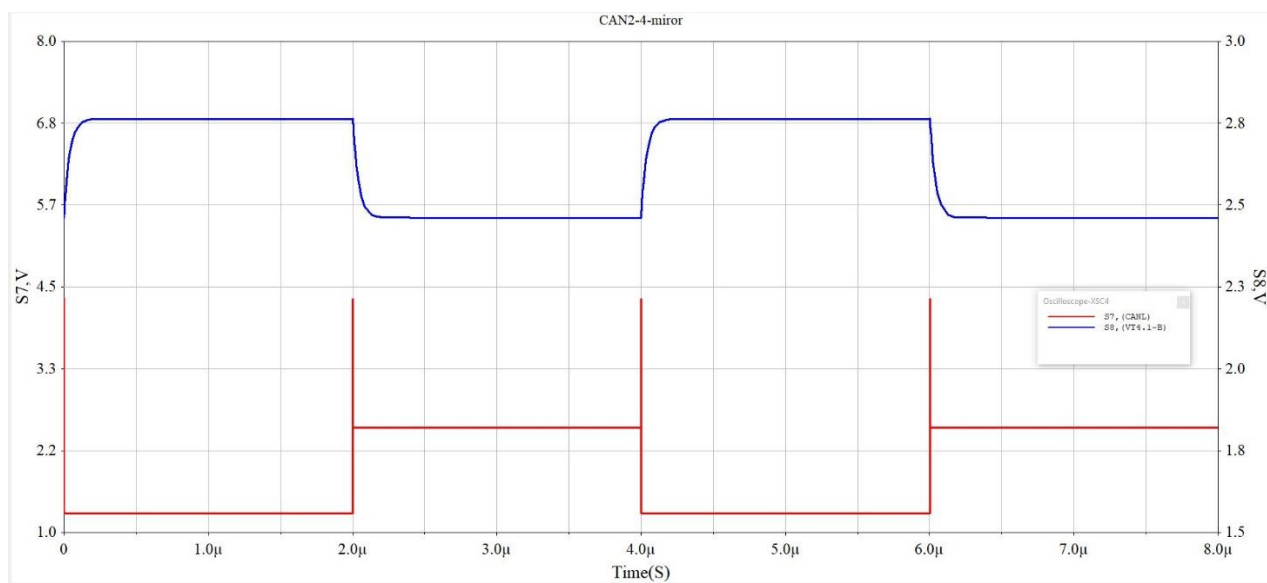
Красный цвет – $S3(VT1.3-E)$, синий – $S4(VT3.2-E)$

Рисунок 13 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №3 и №4



Красный цвет – $S5(VT2.2-E)$, синий – $S6(CANH)$

Рисунок 14 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №5 и №6



Красный цвет – $S7(CANL)$, синий – $S8(VT4.1-B)$

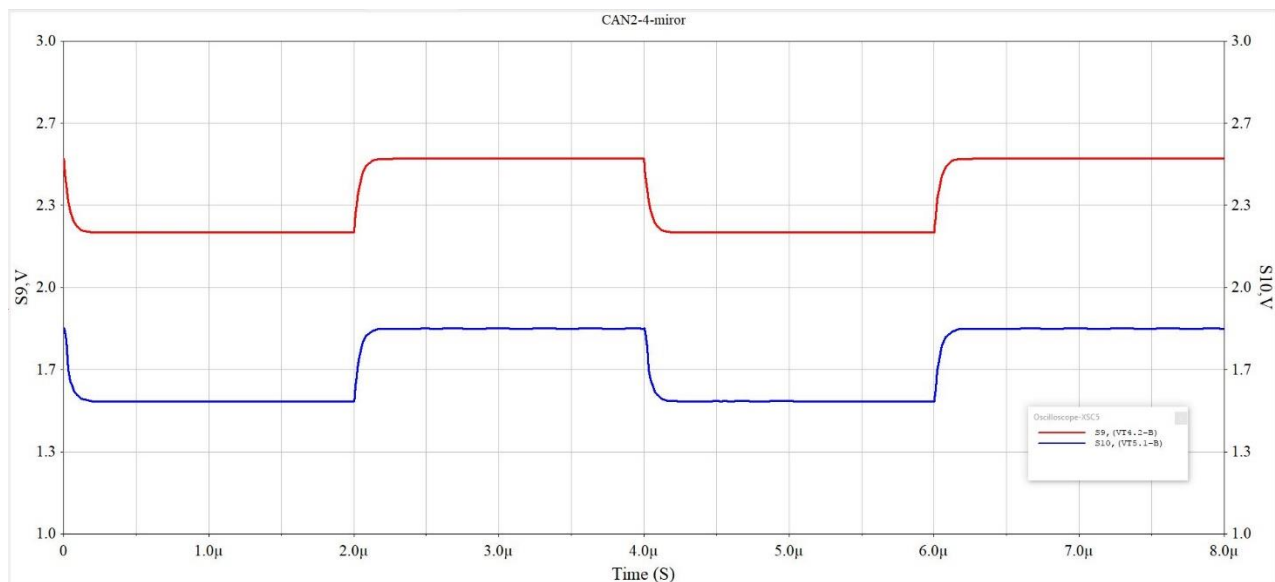
Рисунок 15 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №7 и №8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ

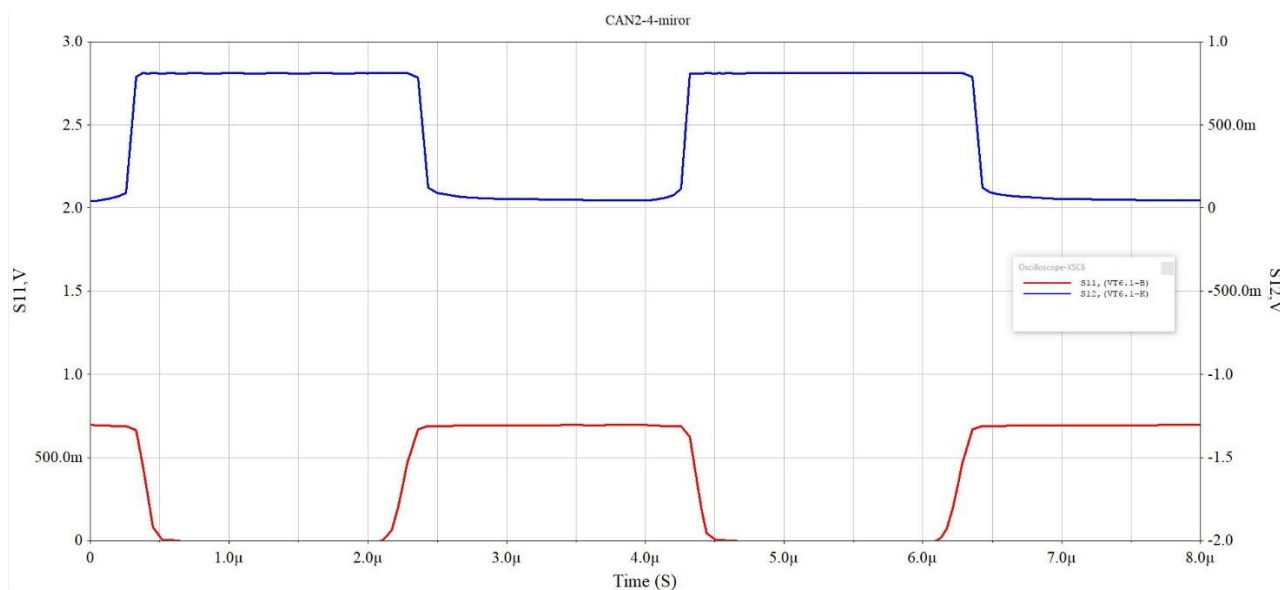
Лист

28



Красный цвет – $S9(VT4.2-B)$, синий – $S10(VT5.1-B)$

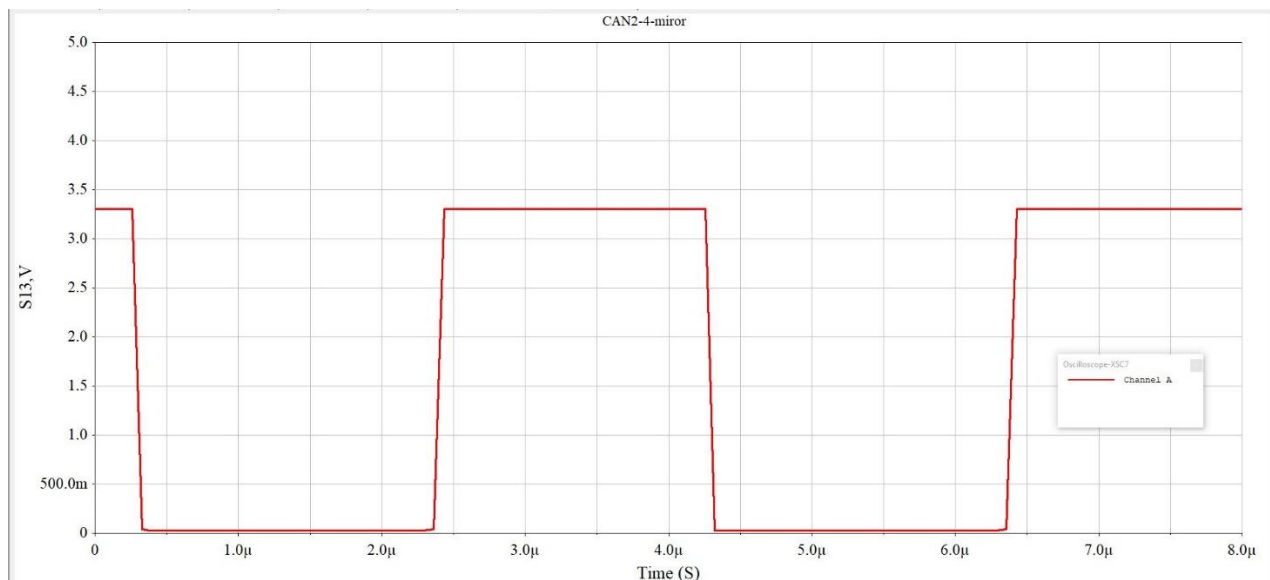
Рисунок 16 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №9 и №10



Красный цвет – $S11(VT6.1-B)$, синий – $S12(VT6.1-K)$

Рисунок 17 – Осциллограммы, снятые в контрольных точках №11 и №12

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Красный цвет – *S13*

Рисунок 18 – Осциллограмма, снятая в контрольной точке №13

Выходной сигнал оконечного усилителя имеет затяжной фронт и спад напряжения из-за сравнительно высокого сопротивления в цепи коллектора транзистора *VT8*. Понижение сопротивление в нагрузке транзистора *VT8* для сокращения длительности фронта и спада приводит к снижению его усиления. Данный недостаток исправляется ТТЛ оконечным каскадом, что видно на осциллограмме сигнала *S13* (рисунок 18). Применение ТТЛ оконечного каскада в схеме передатчика позволяет также обеспечить выходной сигнал с логическими уровнями, задаваемыми его напряжением питания, которое может отличаться от питания передатчика. Это позволяет передавать выходной сигнал приемника на входы микросхем с различным электропитанием: 3 В, 3,3 В или 5 В [3-4].

2.2 Проектирование варианта устройства на основе печатной платы

Вариант приемопередатчика интерфейса *CAN* на основе печатной платы состоит из транзисторных сборок 198НТ1В и 198НТ6Б, одиночных биполярных транзисторов 2Т3130Г-9, резисторов R0603, конденсаторов C0603 и диодов 2Д706АС-9.

Транзисторные сборки 198НТ1В и 198НТ6Б представляют собой матрицы соединенных *n-p-n* и *p-n-p* транзисторов. Микросхемы имеют корпус типа 201.14-1 и массу не более 1,2 г. На рисунках 19 и 20 представлена схема электрическая принципиальная транзисторных сборок, а на рисунке 21 конструкция расположения выводов микросхемы.

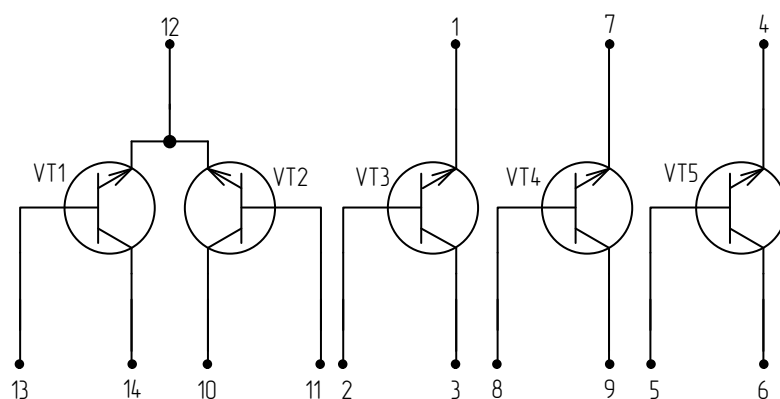


Рисунок 19 - Схема электрическая принципиальная 198НТ1В

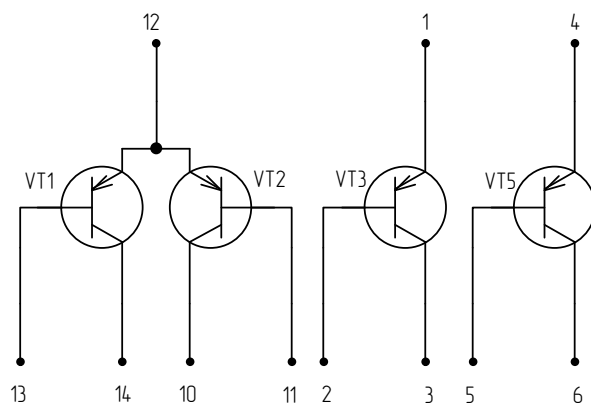
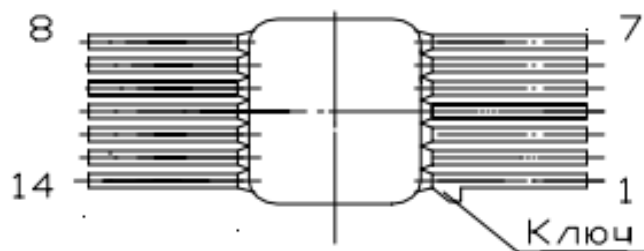


Рисунок 20 - Схема электрическая принципиальная 198НТ6Б

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Нумерация выводов показана условно, а ключ показывает начало отсчета выводов

Рисунок 21 - Конструкция расположения выводов 198НТ6Б

Биполярный кремниевый транзистор 2Т3130Г-9 обладает небольшими габаритами тем самым может быть использован в устройствах с ограниченными размерами. Транзистор данного типа имеет следующие характеристики:

- максимальное значение коллекторного тока равно $0,1 \text{ А}$;
- максимальное значение напряжения коллектор – эмиттер составляет 30 В ;
- максимальная мощность рассеивания – $0,3 \text{ Вт}$;
- коэффициент усиления по току коллектора не менее 40.

На рисунке 22 представлен конструкция транзистора 2Т3130Г-9.

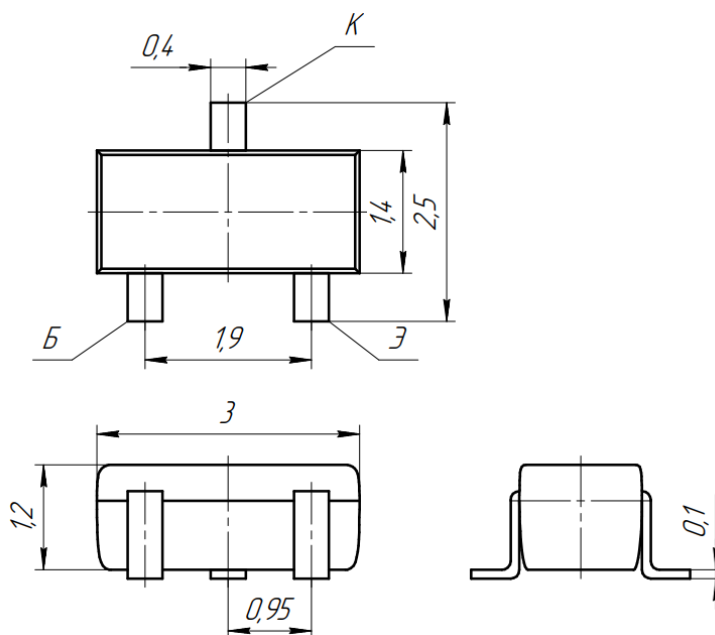


Рисунок 22 – Конструкция биполярного кремневого транзистора 2Т3130Г-9

Чиповый резистор R0603 характеризуется компактными размерами (длина 0,06 дюйма (1,5 мм) и ширина 0,03 дюйма (0,75 мм)), что делает их удобными для использования на печатных платах с высокой плотностью компонентов. Некоторые характеристики резистора R0603:

- допуск по сопротивлению в пределах $\pm 1\%$ или $\pm 5\%$;
- мощность от 1/16 Вт до 1/10 Вт;
- температурный коэффициент различается в зависимости от материала и конструкции.

На рисунке 23 конструкция резистора R0603 и конденсатора C0603.

Конденсатор типа C0603 аналогичен по размерам резистору R0603. Характеристики конденсатора:

- номинальное напряжение обычно от нескольких вольт до десятков вольт; допуск емкости находится в пределах $\pm 10\%$ или $\pm 20\%$;
- тип диэлектрика - герметический, танталовый, алюминиевый.

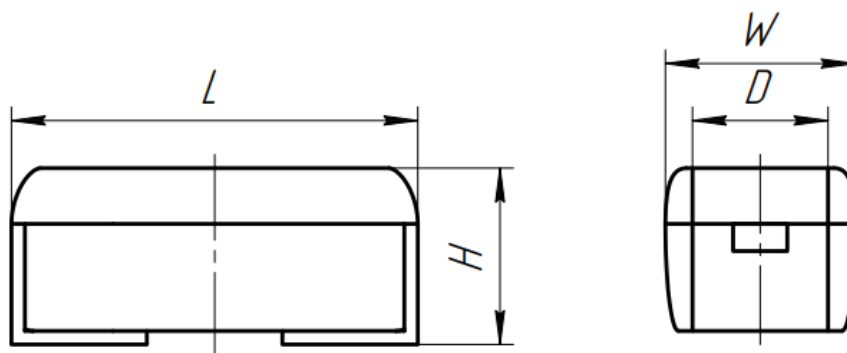


Рисунок 23 – Конструкция резистора R0603 конденсатора C0603

Диод 2Д706АС-9 относится к классу диодов с прямым напряжением обратного разрыва (защитные диоды), которые обладают высокой прочностью, стабильностью при работе в различных условиях. На рисунке 24 показана конструкция диода 2Д706АС-9. Характеристики данного диода:

- максимально прямой постоянный ток находится в пределах от нескольких миллиампер до нескольких ампер;

- обладает способностью коммутации – способность быстро переключаться между состояниями включения и выключения;
- максимальная рабочая температура в пределах от – 40 °С до +125°С.

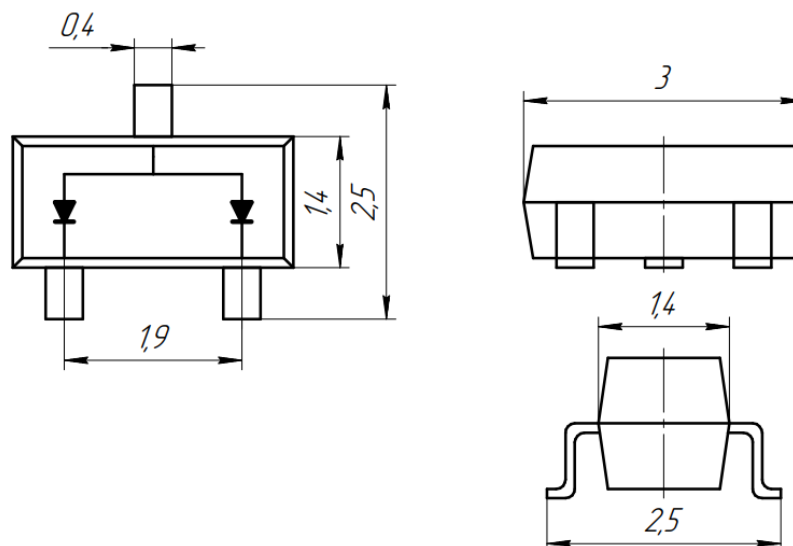


Рисунок 24 – Конструкция диода 2Д706АС-9

Для испытания схемы приемопередатчика был разработан вариант на основе печатной платы в программе *Altium Designer*, печатная плата выполняется на двух стороннем фольгированном стеклотекстолите. Программа представляет собой инструменты для создания схем, разработки макетов печатных плат, маршрутизации трасс и многое другое. Перед началом проектирования варианта необходимо создать библиотеку компонентов, входящих в состав приемопередатчика.

Рассмотрим создание компонента на примере резистора R0603. Перед началом работы необходимо выполнить настройку видимой сетки и сетки привязки, в данном проекте используется сетка с шагом 0,5 мм. Далее присваивается имя компонента и позиционное обозначение компонента на схеме (*designator*), которое служит для сопоставления вывода и контактной площадки с посадочным местом), на уровне библиотеки порядковый номер заменяется знаком «?». Затем в рабочей области располагаются выводы для этого используется команда «*Place Pin*».

Благодаря команде к курсору мыши привязывается вывод, а на панели «*Properties*» отображаются его свойства для редактирования (на схеме обозначений выводы не подписываются). Выводы компонента создаются для удобства кратности сетке, а точка привязки должна совпадать с сеткой и смотреть наружу. На рисунке 25 иллюстрация вышеуказанных шагов.

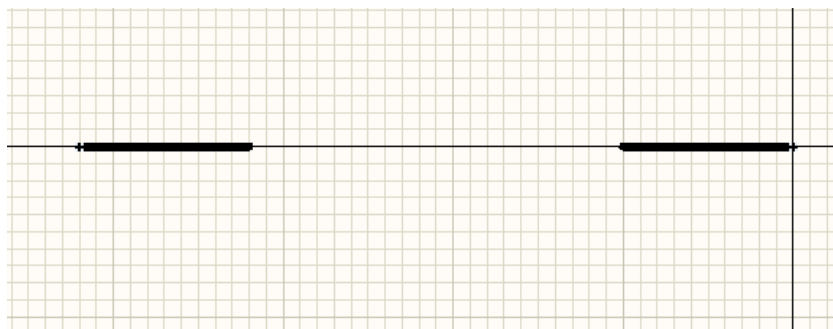


Рисунок 25 – Расположение контактов

Следующим этапом является графика компонента, для чего используются геометрические объекты. При использовании фигуры в ее свойствах убирается заливка и изменяется толщина линии. Так же происходит настройка обозначения элемента и номинала. На рисунке 26 представлен конечный вид резистора.

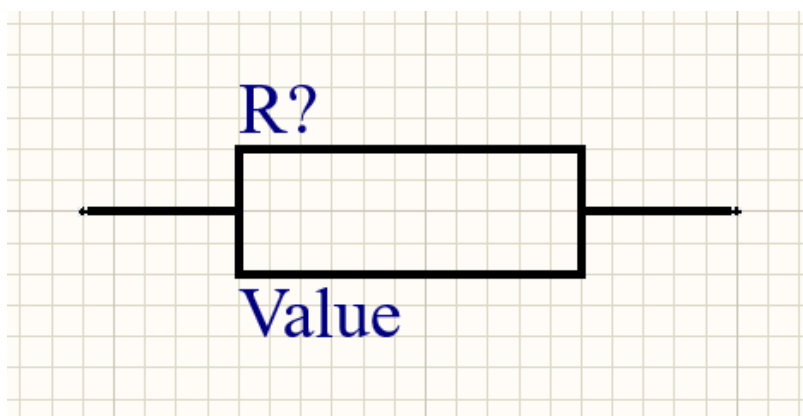


Рисунок 26 – Вид резистора на УГО

Следующим шагом после создания графического обозначения компонента, происходит формирование его посадочного места. Для этого в рабочей области запускается документ «Библиотека посадочных мест». Аналогично выводам для УГО используют команду «*Place Pin*», тем самым к курсору мыши привязывается контактная площадка, иллюстрация данной команды представлена на рисунке 27.

После размещения площадки на рабочем поле происходит настройка трех основных свойства: *designator* (идентичен с пинами в УГО), выборка слоя для контактной площадки - *Top Layer* (поверхностный монтаж) и размер контактной площадки.

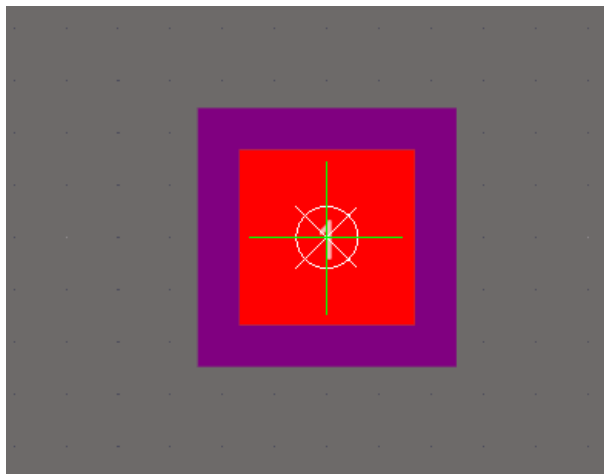


Рисунок 27 – Контактная площадка

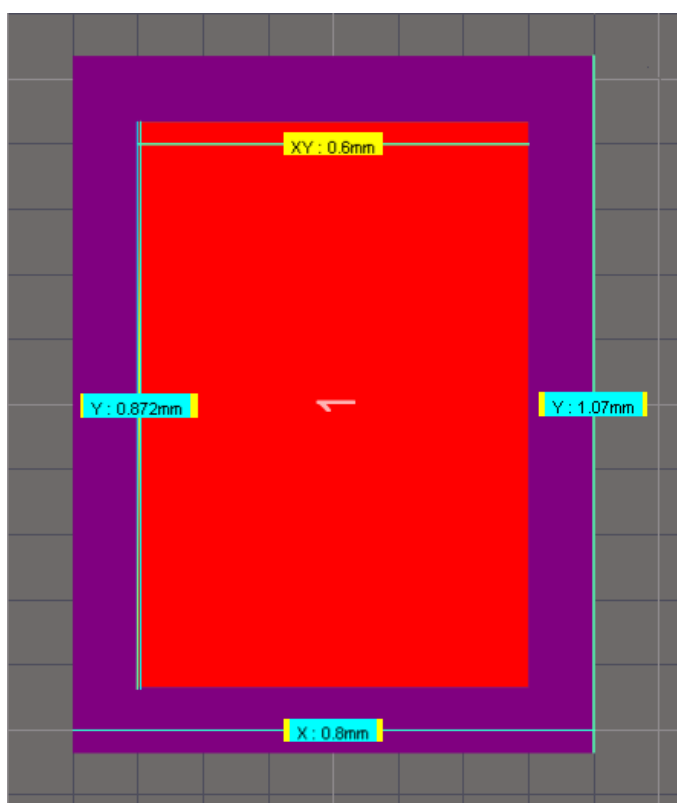


Рисунок 28 – Вид контактной площадки для создаваемого компонента

Первую контактную площадку размещают в начале координат, которая обозначается перекрестием, затем автоматически привязывается контактная площадка с теми же свойствами, которую располагают на необходимом расстоянии, выполнение данных пунктов представлено на рисунке 28.

Следующим пунктом является создание шелкографии, которое необходимо обрисовать по контуру площадки в слое *Top Overlay*, используя при этом инструмент «*Line*». В завершении создания посадочного места используются команды «*Edit*», «*Set Reference*», «*Center*», которые служат для переноса начала координат в центр компонента, так как относительно него будет позиционироваться компонент на плате. На рисунке 29 показана посадочная площадка под резистор R0603.

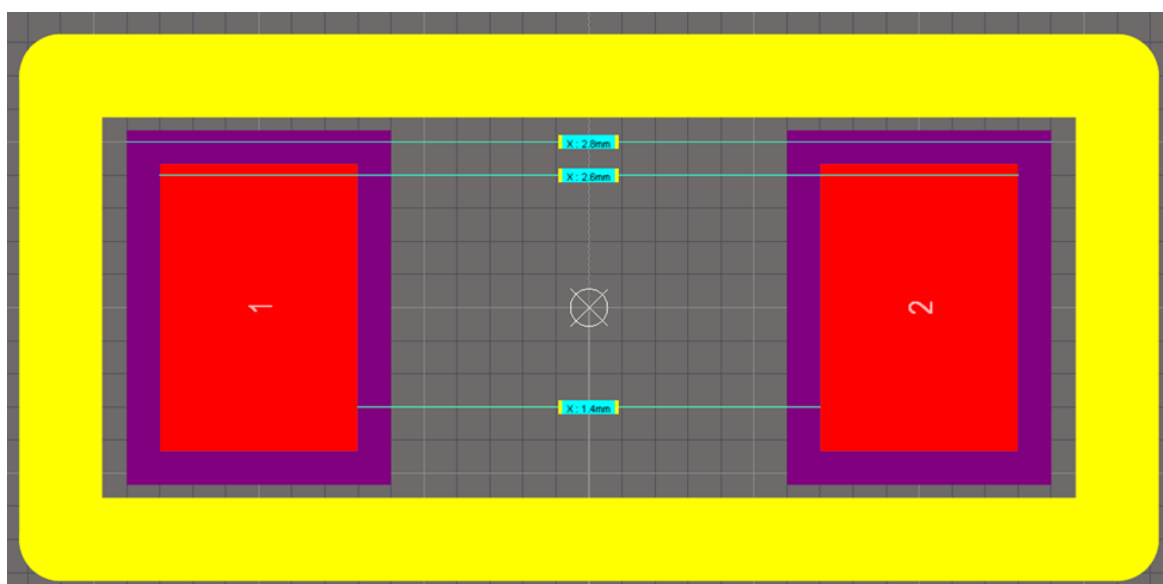


Рисунок 29 – Итоговый результат при создании посадочной площадки для компонента

Последний этап создания компонента в библиотеке является привязка УГО с созданной контактной площадкой с учетом того, что выводы компонента должны соответствовать своему посадочному месту. На рисунке 30 наглядно видно подсвеченные выводы резистора, на рисунках 31, 32, 33, 34, 35 представлены финальные виды остальных элементов, входящих в библиотеку.

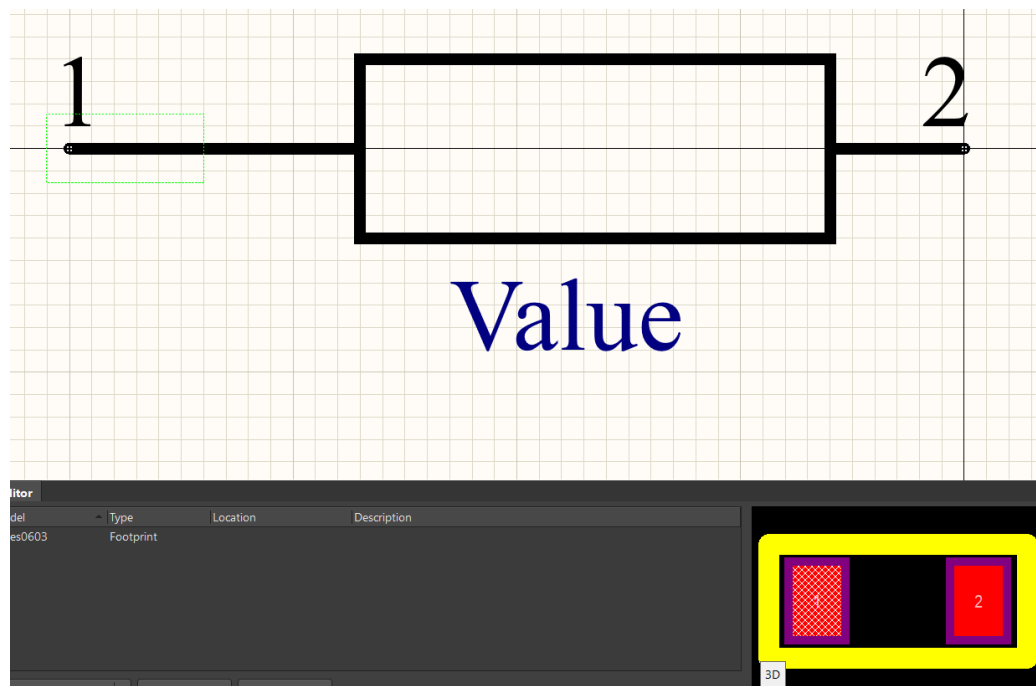


Рисунок 30 – Вид резистора R0603 в библиотеке *Altium Designer*

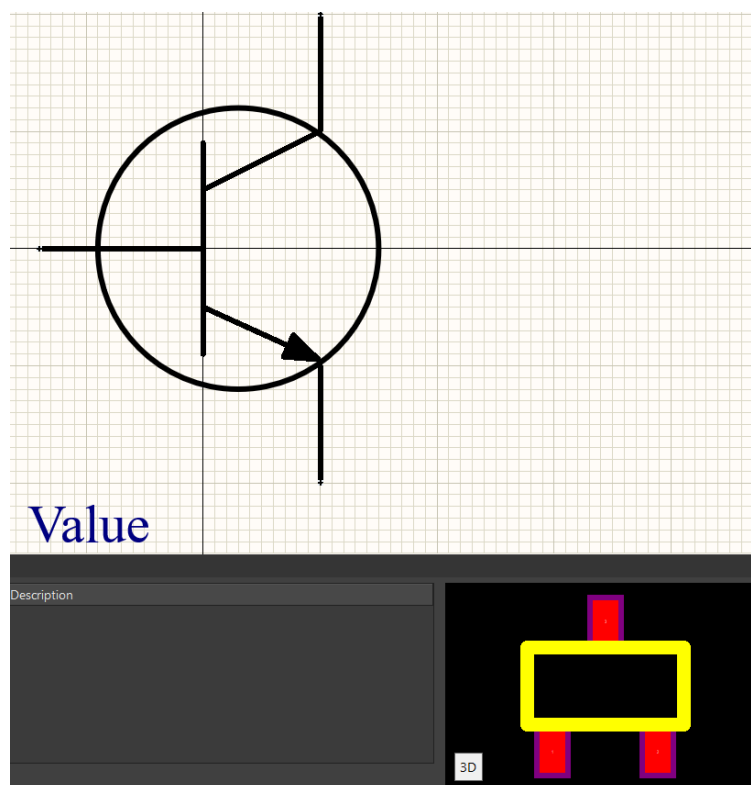


Рисунок 31 – Вид транзистора 2Т3130Г-9 в библиотеке *Altium Designer*

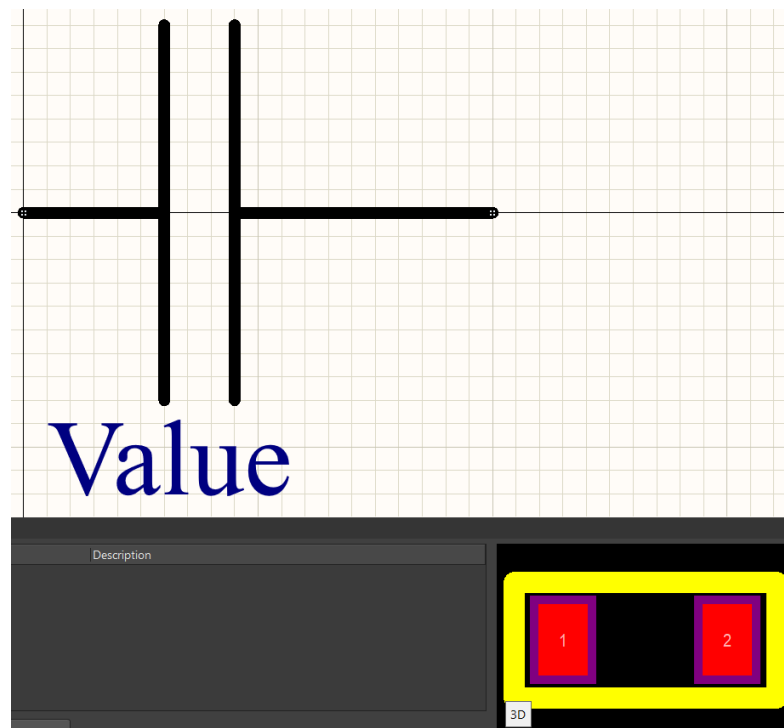


Рисунок 32 – Вид конденсатора C0603 в библиотеке *Altium Designer*

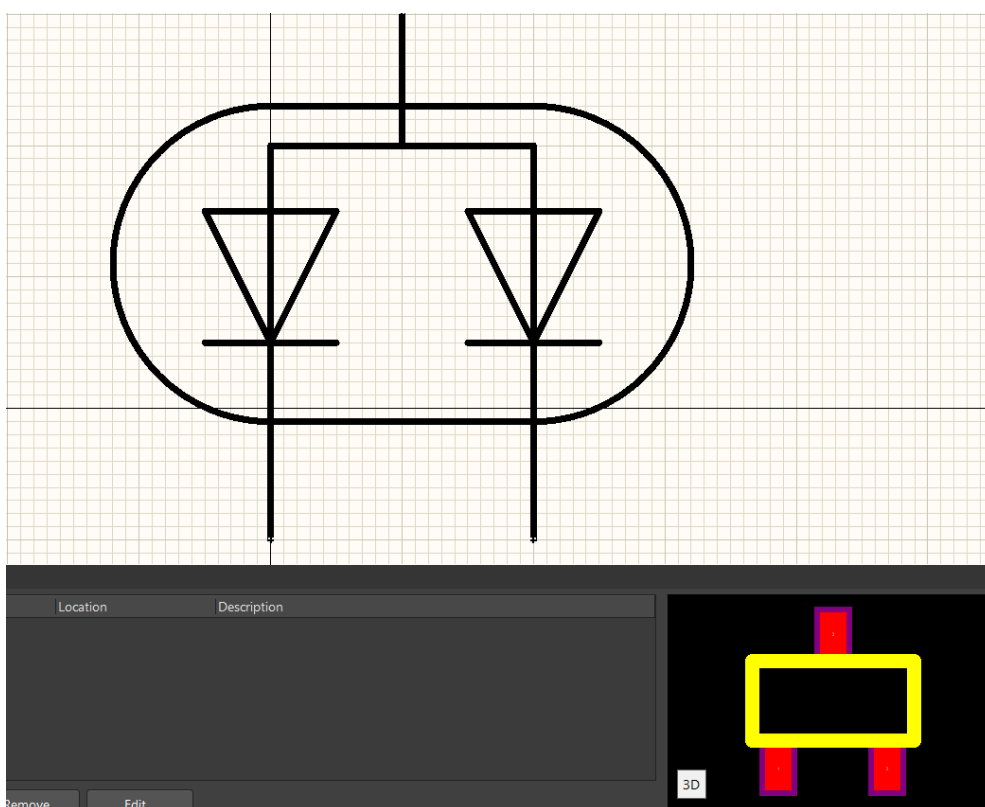


Рисунок 33 – Вид диода 2Д706АС-9 в библиотеке *Altium Designer*

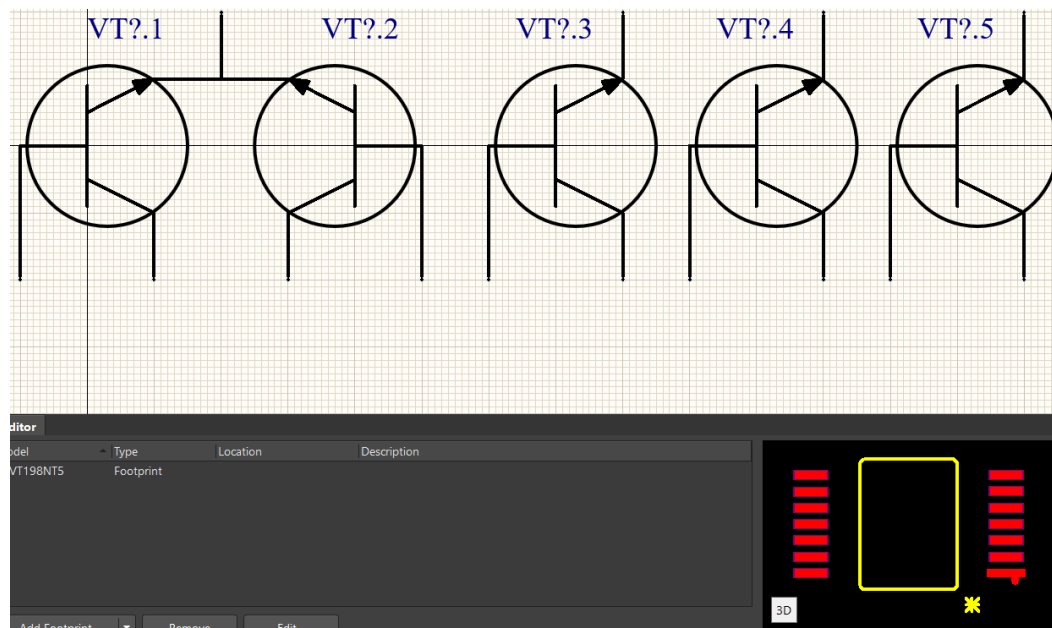


Рисунок 34 – Вид транзисторной сборки 198НТ1В в библиотеке
Altium Designer

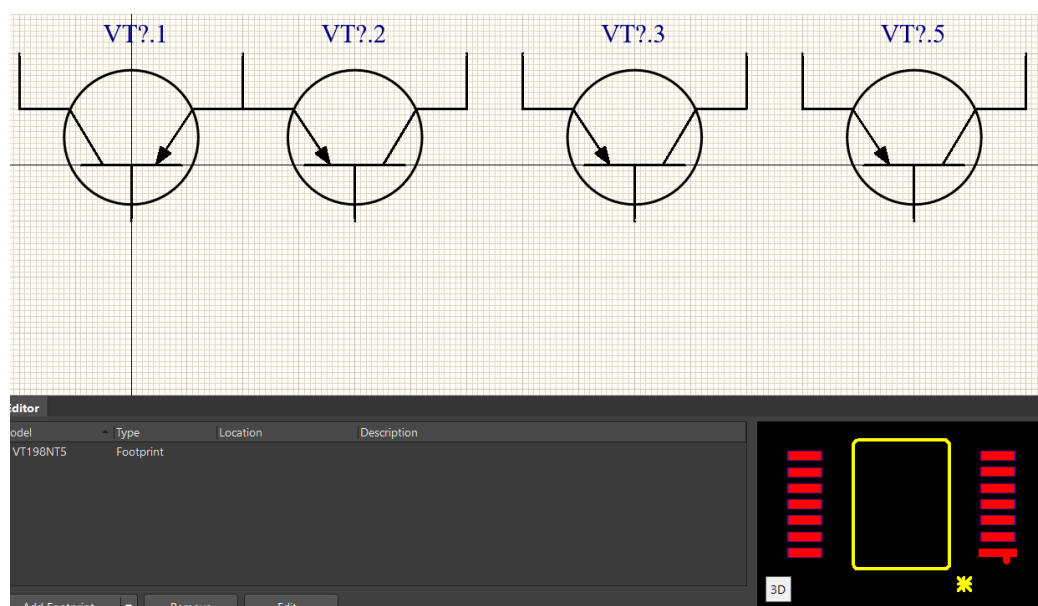


Рисунок 35 – Вид транзисторной сборки 198НТ6Б в библиотеке
Altium Designer

После создания библиотеки можно перейти к разработке электрической схемы вид которой представлен на рисунке 36. Происходит размещение необходимых компонентов в рабочем окне, создание связей между ними и установление пользовательских имен цепей с помощью команды «*NetLeball*». Затем в свойствах прописывается нужное значение цепи и устанавливаются точки привязки на нужную цепь схемы, благодаря чему цепь будет иметь пользовательское имя

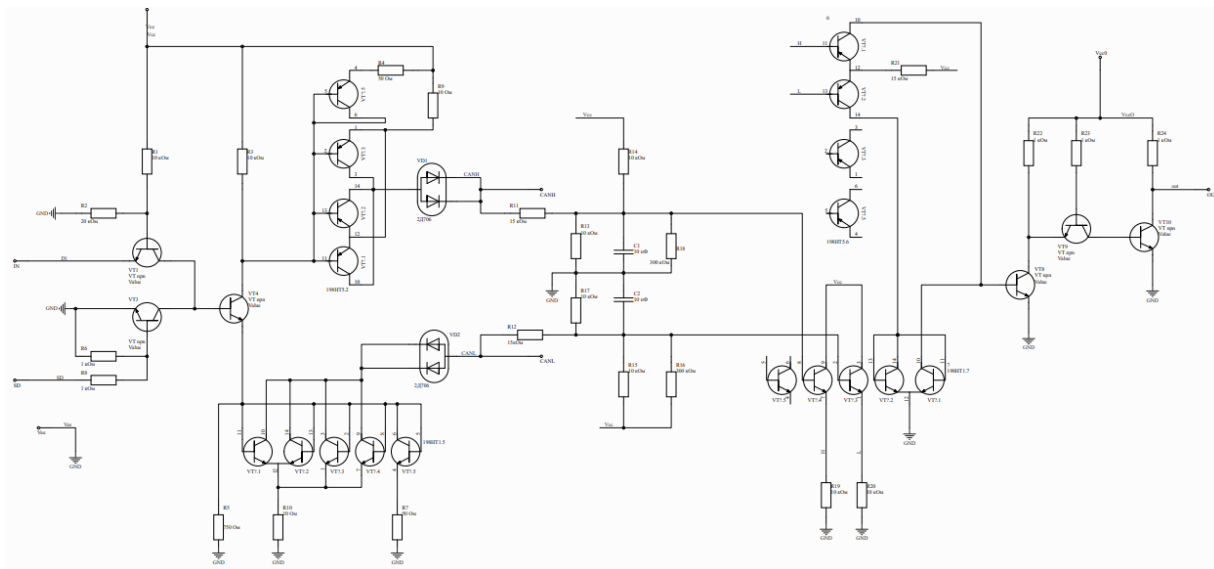


Рисунок 36 – Схема электрическая принципиальная варианта в программе *Altium Designer*

После создания электрической схемы можно перейти к размещению компонентов на печатной плате и трассировке. Передача компонентов происходит благодаря командам «*Design*» и «*Import Chenger From Skill-Lib.PrjPcd*». После запуска команд программа проверяется различия между схемой и платой, в появившемся окне необходимо нажать «*Validate Changes*» и «*Execute Changes*», справа от компонентов, входящих в состав платы появится два индикатора – зеленые галочки, которые сигнализируют о правильности выполнения всех предыдущих этапов, после чего на рабочем поле появится печатная плата и контактные площадки компонентов, соединенные между собой «серыми нитками». Располагать компоненты на плате нужно таким образом, чтобы связи были как можно короче и меньше пересекались друг с другом. Координация компонентов на печатной плате представлен на рисунке 37.

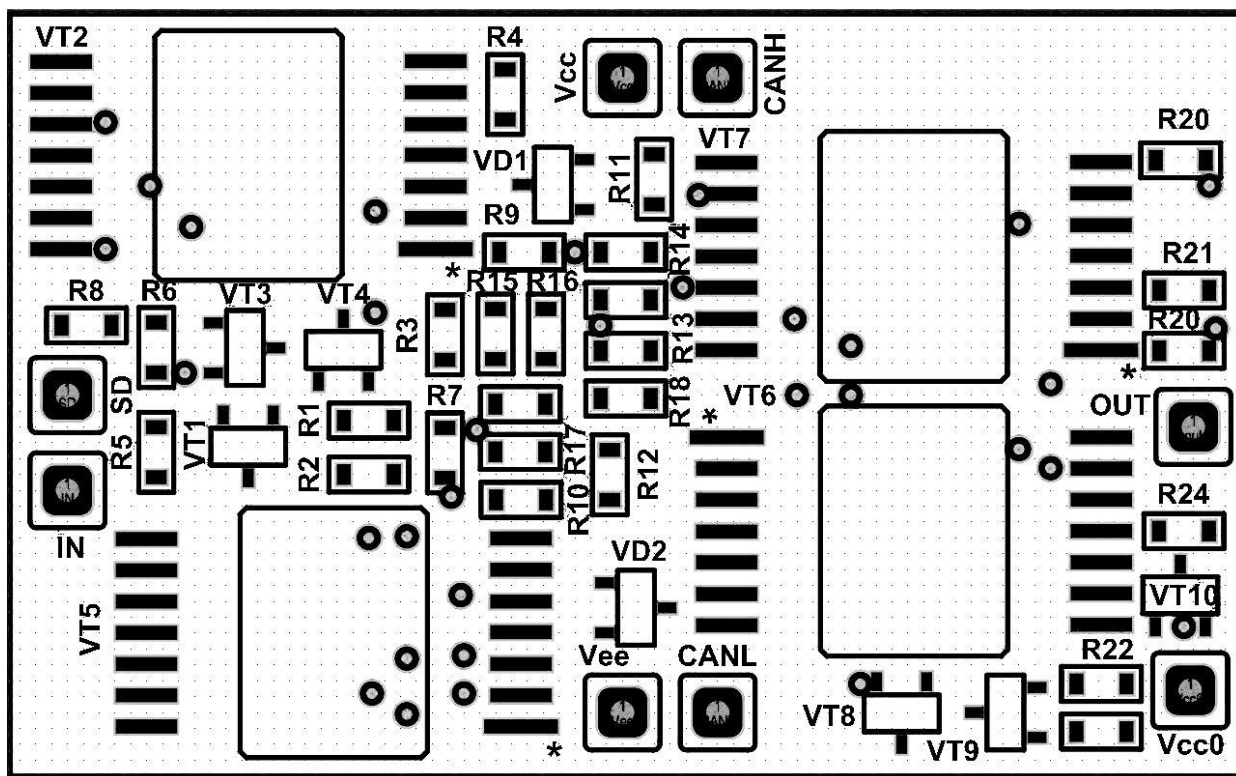


Рисунок 37 – Расположение компонентов на печатной плате в программе *Altium Designer*

Далее выполняется трассировка, для ее выполнения используется инструмент «*Interactive Routing*», к курсору привязывается зеленое перекрестие, при его наведении на контактные площадки осуществляется привязка к точке, после чего к курсору мышки привязывается трек, а контактные площадки, которые должны быть соединены этим треком подсвечиваются. Трассировка выполняется в верхнем слое «*Top*», если избежать пересечений при размещении компонентов не удалось, то в нижнем слое «*Bottom*» создаются перемычки. Верхний слой платы представлен на рисунке 38, а нижний на рисунке 39.

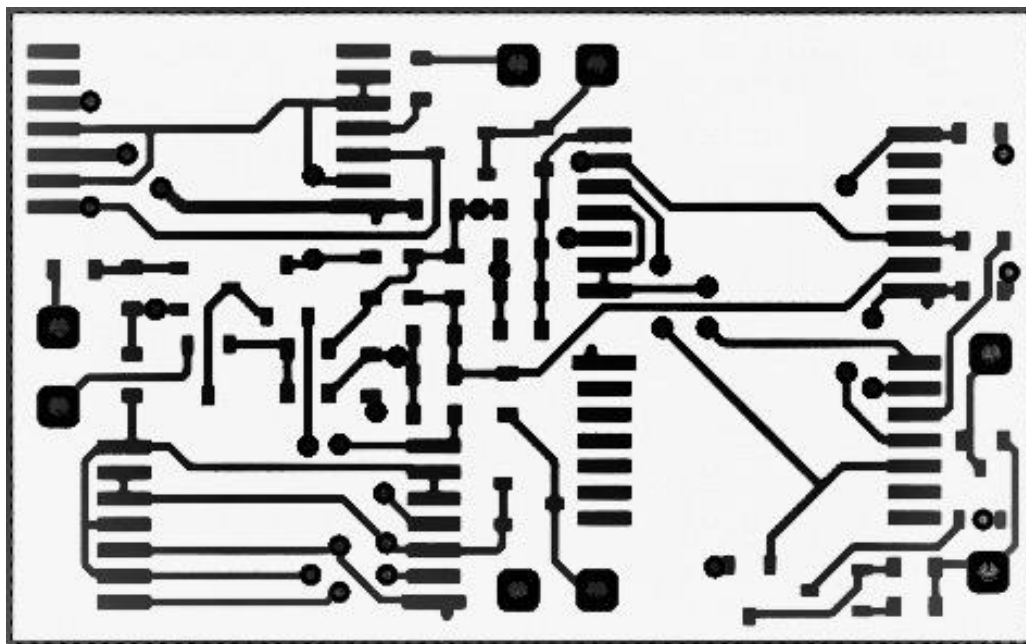


Рисунок 38 – Слой «Top» варианта в программе *Altium Designer*

После трассировки необходимо создать контур платы с помощью инструмента «*Line*», необходимо учитывать, что от ближайшего компонента до края платы расстояние должно быть не менее 0,5 мм. После создания контура необходимо выполнить команды «*Design*», «*Board Shape*», «*Define from selected objects*», в результате выполнения которых вокруг платы возникнет заданный контур. Завершающим этапом служит создание полигона - область, которая полностью будет заливаться медью и автоматически подключаться к контактам указанной цепи. Для создания полигона пользуются командой «*Place Polygon*», вид полигона и перемычек представлен на рисунке 39.

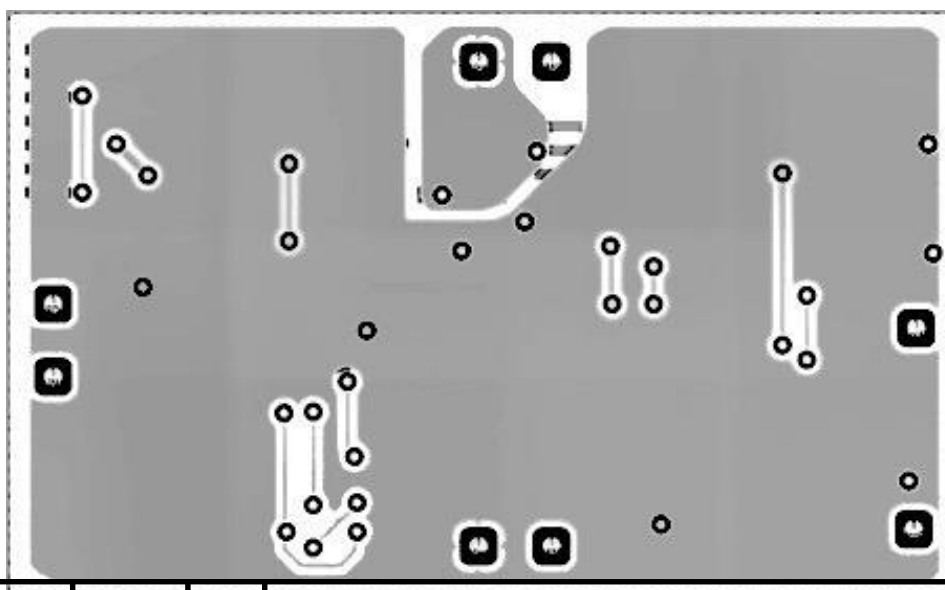


Рисунок 39 – Слой «Bottom» варианта в программе *Altium Designer*

Результат проектирования варианта устройства на основе печатной платы представлен на рисунке 40.

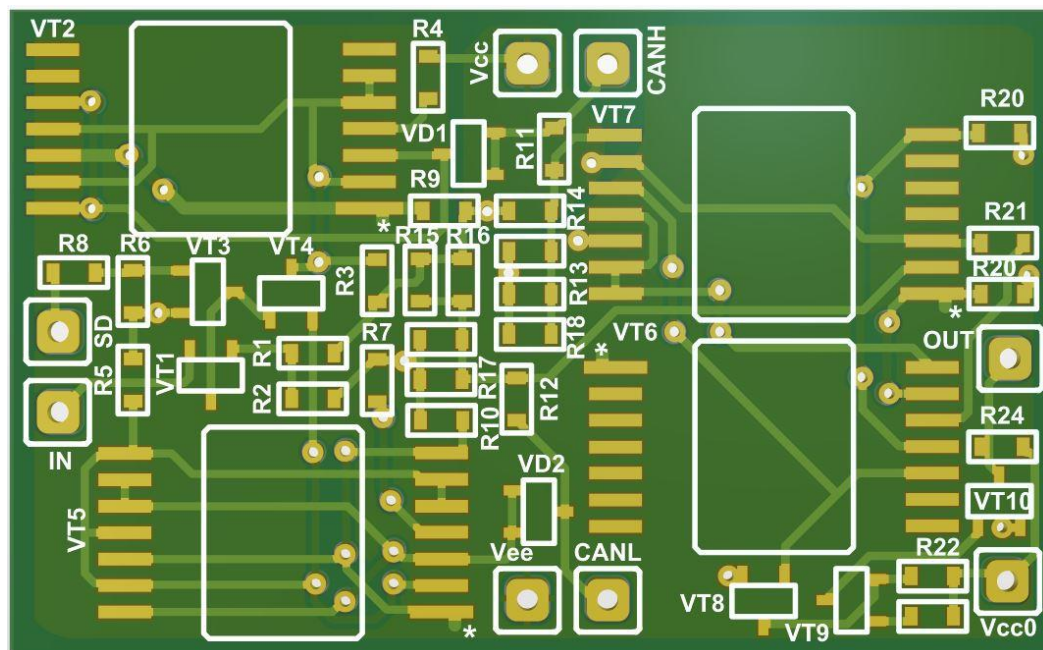


Рисунок 40 – Вид сверху печатной платы варианта

Размер получившейся платы составляют 49,5*30,5 мм что позволяет использовать полученный модуль как самостоятельный электронный модуль нулевого уровня в составе изделия [5-6].

3 Проектирование гибридной интегральной микросхемы приемопередатчика

По разработанной схеме электрической принципиальной приемопередатчика интерфейса *CAN* произведены расчеты тонкопленочных резисторов и конденсаторов для разработки вариант приемопередатчика в виде гибридной интегральной микросхемы

ГИС представляют собой пленочные микросхемы на основе диэлектрической подложки. Так же есть виды ГИС на основе металлических или полупроводниковых подложек, которые покрыты слоем диэлектрика. На поверхность диэлектрической подложки наносится пассивные элементы, их межсоединения и контактные площадки в виде пленок. Подложка после нанесения основных элементов дополняется навесными компонентами (бескорпусные диоды, транзисторы), конденсаторами и катушками индуктивности больших номиналов. В гибридных интегральных схемах используются толстые и тонкие пленки, толстопленочные ИМС чаще всего применяют для мелкосерийного производства, требования которых включают в себя:

- минимальные технологические затраты;
- большую механическую прочность;
- высокую перегрузочную способность элементов;
- минимальные паразитные емкости межсоединений.

Тонкопленочные ГИС в свою очередь позволяют интегрировать большое количество компонентов на небольшой площади, что обеспечивает:

- компактность устройства;
- низкие потери мощности;
- высокую скорость работы;

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование гибридной интегральной микросхемы приемопередатчика	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кондрашева		10.06.19				
Провер.		Вареник		10.06.20			45	126
Н. Контр.		Рыжова		10.10.20		Гр.20ПД1		
Утверд.								

- низкий уровень шума;
- экономическую выгоду.

Проектирование тонкопленочных ГИС включает в себя следующие этапы:

- анализ технологического задания и выбор технологии изготовления;
- расчет элементов в соответствии с принципиальной электрической схемы;
- проверочные расчеты по качеству разработки;
- создание, корректировка и оформление конструктивной документации.

Проектирование ГИС завершается созданием конструкторской документации - топологических чертежей. Топологический чертеж содержит информацию о расположении элементов микросхемы на подложке, их соединениях, размерах и форме. Топология позволяет визуально представить структуру объекта и его функциональные связи. Разработка топологии также осуществляется в несколько этапов:

- составление схемы соединения элементов;
- расчет пленочных элементов (резисторы и конденсаторы);
- выбор герметичного корпуса в соответствии с площадью получившейся платы;
- разработка эскиза топологии и послойных чертежей.

3.1 Расчет тонкопленочных резисторов простой формы

Создание топологической структуры основывается на расчетах тонкопленочных резисторов (простой и сложной формы) и конденсаторов. Исходными данными для расчета резисторов являются номиналы резисторов, рабочее напряжение, для которых рассчитана минимальная рассеиваемая мощность. Данные параметры, представленные в таблице 2.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 2 - Параметры тонкопленочных резисторов

Резистор №	R, кОм	U, В	P, мВт
1	10	7	4,9
2	20	14/3	1,089
3	10	7	4,9
4	0,05	1	20
5	0,75	1	1,333
6	1	1	1
7	0,05	1	20
8	1	7	49
9	0,01	1	100
10	0,01	1	100
11	15	8	4,267
12	15	8	4,267
13	10	8	6,4
14	10	8	6,4
15	10	8	6,4
16	300	8	2,133
17	10	8	6,4
18	300	8	2,133
19	10	7	4,9
20	10	7	4,9
21	15	7	3,267
22	1	7	49
23	1	7	49
24	1	7	49

Перед началом расчета резисторов необходимо выбрать материал для резистивной пленки. Оптимальное сопротивление квадрата резистивной пленки определяется по формуле (1):

$$\rho_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n R_i}{\sum_1^n \frac{1}{R_i}}} \quad (1)$$

где n – число резисторов; R_i – номинал i -го резистора.

Подставим исходные данные, для определения значения оптимального сопротивления квадрата резистивной пленки набора резисторов по формуле (1):

$$\rho_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_{24}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_{24}}}} = 1742 \text{ Ом}$$

Сплав РС – 4206 является одним из подходящих вариантов, параметры материала:

- удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки $\rho_s = 1700 \text{ Ом};$
- допустимая удельная мощность рассеивания $P_0 = 20 \text{ мВт/мм}^2;$
- температурный коэффициент сопротивления, $TKR = 1,5 * 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C};$

Полная относительная погрешность тонкопленочных резистора рассчитывается по формуле (2):

$$\gamma_R = \gamma_{kf} + \gamma_{\rho s} + \gamma_{Rt} + \gamma_{Rct} + \gamma_{Rk} \quad (2)$$

где γ_{kf} – погрешность коэффициента формы;

$\gamma_{\rho s}$ – погрешность воспроизведения удельного поверхностного сопротивления ($\gamma_{\rho s} = 2,5 \%$);

γ_{Rt} – температурная погрешность;

γ_{Rct} – погрешность, обусловленная старением пленки ($\gamma_{Rct} = 1,5 \%$);

γ_{Rk} – погрешность переходных сопротивлений контактов ($\gamma_{Rk} = 1,5\%$).

Допустима погрешность определяется по формуле (3):

$$\gamma_{RT} = \gamma_R - \gamma_{\rho S} - \gamma_{Rt} + \gamma_{Rct} + \gamma_{Rk} \quad (3)$$

Температурная погрешность устанавливается по формуле (4):

$$\gamma_{RT} = TKR(T_{max} - 20^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Допустимая погрешность формы резистора для сплава РС-4206 будет равна по формуле (5):

$$\gamma_{\text{кфдоп}} = \gamma_R - \gamma_{\rho S} - \gamma_{Rt} + \gamma_{Rct} + \gamma_{Rk} \quad (5)$$

Температурная погрешность будет равна 1,2 %, допустимая погрешность формы – 3,3 %.

Следующее действие предполагает определение конструкции резистора, то есть необходимо рассчитать коэффициенты формы применяя формулу (6):

$$K_{\phi i} = R_i / \rho_S \quad (6)$$

По формуле (6) просчитывается коэффициент формы для всех резисторов, результаты расчетов представлены в таблице 3. Для дальнейшего представления алгоритма расчетов рассмотрим три вида резистора с различными коэффициентами формы. В начале разберем резистор простой формы, то есть коэффициент формы больше или равен единице.

В таблице 3 приведены основные конструктивные и технологические ограничения при использовании следующих методов: масочного (М), фотолитографического (Ф), комбинированного масочного и фотолитографического (МФ), электронно - ионного (ЭИ) и по танталовой технологии (ТА).

Таблица 3 – Основные конструктивные и технологические ограничения

Содержание ограничений	Размер ограничения, мм				
	М	Ф	МФ	ЭИ	ТА
Минимально допустимая ширина резистора	0,1	0,1	0,1	0,15	0,05
Минимально допустимая длина резистора	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1

Компоненты будут наноситься методом фотолитографии.

Технологические ограничения данного метода:

- погрешность изготовления длины резистора $\Delta l = 0,01$ мм;
- погрешность изготовления ширины резистора $\Delta b = 0,01$ мм;
- минимальная ширина резистора $b_{\text{техн}} = 0,1$ мм;
- минимальная длина резистора $l_{\text{техн}} = 0,1$ мм;
- минимальный интервал между пленочным элементом из разных слоев $e = 0,1$ мм;

- минимальный интервал между пленочными элементами в одном слое $a_{\text{min}} = 0,1$ мм;

Расчет ширины резистора простой формы выполняется по формуле (7):

$$b_{\text{расч}} \geq \max\{b_{\text{техн}}; b_{\text{точн}}; b_p\} \quad (7)$$

где $b_{\text{точн}}$ – ширина резистора, определяемая точностью изготовления, найдем по формуле (8):

$$b_{\text{точн}} = \Delta b + \frac{\Delta l}{K_{\Phi}} / \gamma_{\text{кфдоп}} \quad (8)$$

где b_p – минимальная ширина резистора, при которой обеспечатся заданная мощность, определяется по формуле (9):

$$b_p = \sqrt{P/P_0 * K_{\Phi}} \quad (9)$$

По формулам (8) и (9) были рассчитаны допустимые значения ширины резистора по разным критериям значения равны $b_{\text{точн1}} = 0,35$ мм и $b_{\text{р1}} = 0,204$ мм.

После расчета ширины резистора перейдем к расчету его длины по формуле (10):

$$l_{\text{расч}} = b_{\text{расч}} * K_{\phi} \quad (10)$$

Расчетная длина для данного резистора составляет $l_{\text{расч1}} = 1,176$ мм.

Рассчитаем полную длину резистора по формуле (11):

$$l_{\text{полн}} = l_{\text{расч}} * 2e \quad (11)$$

По формуле (11) полная длина резистора равна $l_{\text{полн1}} = 1,4$ мм.

В завершении расчетов габаритов необходимо провести проверку удельной мощности и погрешности резистора.

Удельная мощность резистора рассчитывается по формуле (12):

$$P'_0 = P/S \leq P_0 \quad (12)$$

где S —площадь резистора, определяется по формуле (13):

$$S = b * l_{\text{полн}} \quad (13)$$

Площадь резистора $R1$ по формуле (13) будет равна $S_1 = 0,28$ мм², тогда удельная мощность $P_{01} = 0,018$ Вт/мм², это значение меньше допустимой удельной мощности рассеивания сплава РС-4206, следовательно, резистор не будет перегреваться.

Погрешность коэффициента формы резистора определяется по формуле (14):

$$\gamma'_{K\phi} = \Delta l/l_{\text{полн}} + \Delta b/b \leq \gamma_{K\phi\text{доп}} \quad (14)$$

Данная погрешность для резистора $R1$ составляет 5,71%.

Суммарная погрешность резистора определяется по формуле (15):

$$\gamma'_R = \gamma'_{K\phi} + \gamma_{\rho S} + \gamma_{Rt} + \gamma_{Rct} + \gamma_{Rk} \leq \gamma_R \quad (15)$$

Суммарная погрешность резистора $R1$ составляет 12,11 % она меньше допустимой погрешности резистора, следовательно, данный резистор подходит по критериям точности.

На примере резистора $R4$ рассмотрим расчет резисторов чей коэффициент формы меньше единицы. Коэффициент формы данного резистора определяется по формуле (6) и будет составлять $K_{ф4} = 0,029$.

По формуле (16) найдем точную длину резистора:

$$l_T = \frac{\Delta l + \Delta b * K_{\phi} * 100}{\gamma_{\kappa\phi}} \quad (16)$$

Длина резистора будет составлять $l_{T4} = 0,311$ мм. По формуле (17) найдем минимальную длину резистора:

$$l_p = \sqrt{P * K_{\phi} / P_0} \quad (17)$$

Минимальная длина резистора равна $l_{p4} = 0,171$ мм. Для расчетной длины выберем большее значение.

По формуле (18) нашли полную длину резистора:

$$l_{\text{полн}} = l_p + 2e \quad (18)$$

Полная длина с учетом округления будет равно $l_{\text{полн}4} = 0,4$ мм.

Найдем расчетную толщину по формуле (19):

$$b_p = l_p / K_{\phi} \quad (19)$$

Расчетная толщина составляет $b_{p4} = 6,8$ мм.

Найдем площадь резистора по формуле (12): $S_4 = 2,72$ мм².

Аналогично проводим расчеты для каждого резистора у которого значение коэффициента формы меньше единицы. Однако важно учесть, что коэффициент формы не должен быть меньше 0,1, следствии чего появятся большие контактные площадки и элемент будет занимать большую площадь на подложке, оптимальные получившиеся значения будут приведены в таблице 3.

3.2 Расчет тонкопленочных резисторов сложной формы

Расчет резисторов сложной формы произведем на примере резистора R16, у которых коэффициент формы больше десяти.

По формулам (8), (9) и (10) была определена расчетная ширина резистора: $b_{\text{точн16}} = 0,076$ мм; $b_{\text{p16}} = 0,0077$ мм; $b_{\text{расч16}} = 0,008$ мм.

По формуле (11) была определена длина средней линии резистора: $l_{\text{полн16}} = 1,412$ мм.

По формуле (20), которая выглядит следующим образом:

$$t = a + b \quad (20)$$

Шаг одного звена меандра равен 0,2 (при этом $a=b=0.2$).

Затем по формуле (21) рассчитывается оптимальное число звеньев:

$$n_{\text{опт}} = \sqrt{l_{\text{расч}}/t} \quad (21)$$

Значение оптимального числа звеньев должно быть целое число и составляет для резистора R16: $n_{\text{опт16}} = 4$.

Далее по формуле (22) и (23) находим длину и ширину меандра:

Значения $l_{16} = 0,43$ мм, $b_{16} = 0,25$ мм. Затем рассчитаем сопротивление П-образных и Г-образных изгибов по формуле (24):

$$R_{\text{п}} = 4 * \rho_s \quad (24)$$

$$R_{\text{г}} = 2,55 * \rho_s$$

Значение $R_{\text{п16}} = 6,8$ кОм и $R_{\text{г16}} = 4,34$ кОм.

Далее рассчитаем длину прямолинейных участков по формуле (25):

$$l_{\text{прямучаст}} = (b_p/n_{\text{опт}} * \rho_s) * (R_{\text{меандра}} - 2 * R_{\text{п}}) \quad (25)$$

Значение равно $l_{\text{прямучаст 16}} = 0,3$ мм.

По формуле (26) и (27) рассчитаем окончательные габариты резисторов: длину и ширину:

$$L_{\text{окон}} = n * t + a + 2 * e \quad (26)$$

$$B_{\text{окон}} = l_{\text{прямучаст}} + 4 * b_p \quad (27)$$

Значения $L_{\text{окон16}}$ и $B_{\text{окон16}}$ равны 0,3 мм и 0,7 мм соответственно площадь резистора типа меандр в результате умножения $L_{\text{окон16}}$ и $B_{\text{окон16}}$ равна 0,3 мм².

В таблице 4 приведены результаты расчета резисторов с учетом основных конструктивных и технологических ограничений, однако при расчете используется максимальная мощность резисторов для обеспечения технологической совместимости габаритов резисторов с другими компонентами.

Таблица 4 – Результаты расчетов резисторов

№	Длина резистора, мм	Ширина резистора, мм	Длина с учетом перекрытия, мм	Площадь резистора, мм ²	Удельная мощность рассеяния, Вт/мм ²	Коэффициент формы
1	2,4	0,4	2,6	1,04	0,018	5,882
2	2,4	1,2	2,6	3,12	0,003	11,765
3	2,4	0,4	2,6	1,04	0,018	5,882
4	0,3	2,3	0,5	1,16	0,017	0,029
5	0,6	1,35	0,8	1,08	0,007	0,441
6	0,6	1,2	0,8	0,96	0,007	0,588
7	0,3	2,3	0,5	1,16	0,017	0,029
8	1,2	2	1,4	2,8	0,017	0,588
9	0,7	6,6	0,9	5,95	0,017	0,0058
10	0,7	6,6	0,9	5,95	0,017	0,0058
11	3,6	0,4	3,8	1,52	0,011	8,824
12	3,6	0,4	3,8	1,52	0,011	8,824
13	2,4	0,4	2,6	1,04	0,023	5,882
14	2,4	0,4	2,6	1,04	0,023	5,882
15	2,4	0,4	2,6	1,04	0,023	5,882
16	1,6	1	1,8	1,8	0,0007	176,471
17	2,4	0,4	2,6	1,04	0,023	5,882
18	1,6	1	1,8	1,8	0,001	176,471
19	2,4	0,4	2,6	1,04	0,018	5,882
20	2,4	0,4	2,8	1,04	0,018	5,882
21	2,4	0,28	2,6	0,728	0,017	8,824
22	1,2	2	1,4	2,8	0,017	0,588
23	1,2	2	1,4	2,8	0,017	0,588
24	1,2	2	1,4	2,8	0,017	0,588

3.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов

Вторым пунктом расчетов для проектирования ГИС является определение геометрических размеров и минимальной площади двух конденсаторов на подложке, изготовленных в едином технологическом цикле. Исходные данные конденсаторов, входящих в состав приемопередатчика отображены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры тонкопленочных конденсаторов

Конденсатор №	C, пФ	γ_C , %	$U_{\max}$, В	$\text{tg}(\Delta_d)$	$f_{\max}$, кГц
1	10	± 5	10	$0,75 \times 10^{-2}$	150
2	10	± 5	10	$0,75 \times 10^{-2}$	150

Выбираем материал диэлектрика – боросиликатное стекло. Его параметры:

- $\varepsilon = 4$;
- $E_{np} = 3,5 \cdot 10^{10}$ В/мм;
- $TKC = 0,35 \cdot 10^{-4}$ 1/°C.

Минимальную толщину диэлектрика $d_{\min}$ и удельную емкость C_{0V} для обеспечения необходимой электрической прочности находим по формулам (28) и (29):

$$d_{\min} \geq K_3 * U_p / E_{np} \quad (28)$$

где K_3 – коэффициент запаса, равный 2,5, тогда $d_{\min} = 7,15 * 10^{-10}$ мм

$$C_{0V} = \varepsilon_0 * \varepsilon / d_{\min} \quad (29)$$

Удельная емкость будет равна $C_{0V} = 4,956 * 10^{-4}$ Ф/мм²

Относительная температурная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\gamma_{ct} = TK_C * (T_{\max} - 20^\circ\text{C}) * 100\% \quad (30)$$

Данная погрешность будет равна 0,367 %

Допустимая погрешность площади конденсатора рассчитывается по формуле (31):

$$\gamma_S = \gamma_C - \gamma_{C0} - \gamma_{Ct} - \gamma_{Cст} \quad (31)$$

Погрешность площади компонента будет равна 1,068 %. Выберем квадратную форму обкладок конденсатора, $K_\phi = 1$.

Минимальную удельную емкость для обеспечения точности изготовления наименьшего по номиналу конденсатора определяем по формуле (32):

$$C_{0\text{точн}} = C * (\gamma_{C\text{доп}} / 2 * \Delta L)^2 \quad (32)$$

где $\Delta L = 0,01$ мм – точность изготовления конденсаторов масочным методом.

Определяем, какова должна быть удельная емкость наименьшего по номиналу конденсатора с учетом технологических возможностей изготовления по площади перекрытия обкладок и толщине диэлектрика. Задаемся $S_{\min} = 1$ мм².

$$C_{0\min} = C / 1 \quad (33)$$

Минимальная удельная емкость первого конденсатора, находящаяся по формуле (33), равна $10 * 10^{-12}$ Ф.

Удельная емкость конденсатора находится по формуле (32) равна 10 пФ. Сравнивая удельные емкости, видно, что удельная емкость конденсатора — это минимальная удельная емкость конденсатора (исходя из условия электрической прочности). Следовательно, пересчет минимальной толщины диэлектрика не требуется.

Округлив значение удельной емкости конденсатора исходя из условия электрической прочности, получается, что удельная емкость 1-го конденсатора равна: $C_{0V} = C_{01} = 10$ пФ/мм².

Проверка толщины конденсатора: выполняется по формуле (34):

$$d = 0,0885 * \varepsilon / C_0 \quad (34)$$

Она будет равна 0,035 мм, это подтверждает, что толщина диэлектрика была выбрано верно.

Коэффициент, учитывающий краевой эффект рассчитывается по формуле (35):

$$K = \begin{cases} 1; C/C_0 \geq 5 \text{ мм}^2 \\ 1,3 - 0,06 C/C_0; 1 \leq C/C_0 < 5 \text{ мм}^2 \end{cases} \quad (35)$$

Значения будут равны $C_1/C_0 = 1 \text{ мм}^2$; $K_1 = 1,3 - 0,06 \cdot 1 = 1,24$.

Площадь верхней обкладки конденсатора рассчитывается по формуле (36):

$$S_c = C/C_{01} * K \quad (36)$$

Площадь будет равна 1,24 мм²

Для квадратных обкладок $L_B = B_B$. Определяется по формуле (37):

$$L_{B1} = B_{B1} = \sqrt{S_{c1}} = \sqrt{1,24} = 1,1 \text{ мм} \quad (37)$$

Размеры нижней обкладки также равны и находятся по формуле (38):

$$L_{H1} = B_{H1} = L_{B1} + 2q = 1,5 \text{ мм} \quad (38)$$

Размеры диэлектрика $L_d = B_d$ с учетом допуска на перекрытие $f = 0,1 \text{ мм}$:

$$L_{d1} = B_{d1} = L_{H1} + 2f = 1,7 \text{ мм} \quad (39)$$

Площадь, занимаемая конденсатором, находится по формуле (40):

$$S = L_d * B_d \quad (40)$$

Площадь конденсатора будет равна 2,89 мм².

Далее производится проверка расчетов по формуле (41), (42) и (43):

$$tg\delta_{об} = \frac{2}{3} * 2\pi * f_{max} * R_{об} * C \quad (41)$$

$$tg\delta_{раб} = tg\delta_{диэл} + tg\delta_{об} \quad (42)$$

$$\gamma_s = \Delta L + \frac{1 + K * f_{раб}}{\sqrt{K * f_{раб} + S}} \quad (43)$$

Значения будут равны $tg\delta_{об1} = 1,257 * 10^{-6}$; $tg\delta_{раб}=0,001$; $\gamma_{s1} = 1,796 \%$.

Размеры, полученные в результате расчетов тонкопленочных конденсаторов обозначены в таблице 6.

Таблица 6 – Размеры тонкопленочных конденсаторов

Конденсаторы	C_{0min1} пФ	$L_B = B_B$, мм	$L_H = B_H$, мм	$L_D = B_D$, мм	S_{D1} , мм ²
C_1	1	1,1	1,5	1,7	2,89
C_2	1	1,1	1,5	1,7	2,89

Рассчитанные пленочные и навесные компоненты располагаются на поверхность подложки микросхемы, которая выполняет роль основания и служит для теплоотвода. Подложка полупроводниковых микросхем делятся на два типа: проводящие и непроводящие. Материалом проводящий подложек чаще всего служит монокристаллический кремний в виде пластины (диаметр 60...150 мм, толщина 250...400 мкм). Рабочая поверхность пластины обрабатывается до четырнадцатого класса частоты, так же поверхность ориентируется параллельно плоскости (111), (100) или (110). Кроме кремниевых пластин в микроэлектронике применяют монокристаллические пластины фосфита индия (галлия), арсенида галлия.

Материалы проводников и контактных площадок должны обладать:

- малым удельным сопротивлением;
- хорошей адгезией к подложке;
- высокой коррозионной стойкостью.

Самым распространенным с точки зрения надежности является золото, сопровождающееся подслоем хрома, никрома или тантала.

3.4 Обоснование выбора корпуса ГИС. Описание технологии изготовления ГИС

Технология получения слоев ГИС включает в себя комбинацию различных этапов. Приведем основные шаги и методы, которые используются при создании. Первым шагом является выбор подложки, которая должна соответствовать ряду параметров:

- обладать хорошей теплопроводностью, чтобы обеспечивать эффективный отвод тепла от активных элементов схемы, это особенно важно при работе с высокими мощностями и температурами;
- иметь определенные диэлектрические свойства, чтобы обеспечивать изоляции между различными слоями (диэлектрическая проницаемость);
- быть механически прочной и устойчивой к напряжениям, для обеспечения надежности и долговечности;
- устойчивость к воздействию агрессивных химических сред.

Исходя из вышеперечисленных качеств чаще всего выбирают керамические, полимерные и металлические подложки. Поверхность подложки должна быть очищена от загрязнений и обработана специальными химическими веществами. На подготовленную поверхность подложки наносят различные слои материалов, такие как металлы, диэлектрики, полупроводники.

Существует несколько методов нанесения слоя, такие как:

- метод печати, используется для нанесения тонких слоев печатных проводников или изоляционных материалов;
- метод напыления, нанесение путем распыления, расплавленного материала на поверхность;
- литье или отливка, метод при котором жидкий материал заливается в форму для создания подложки химическим путем;

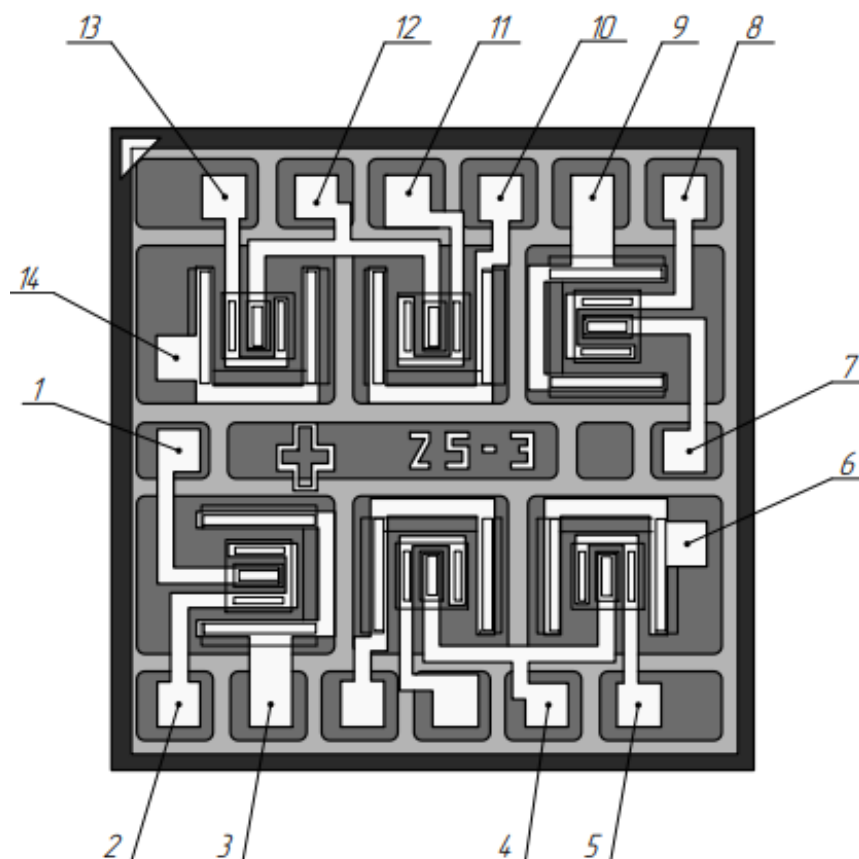
– химическое осаждение, материал осаждается по поверхность химическим путем.

После нанесения слоев на подложку применяются процессы литографии и фотолитографии для создания микроструктур и паттернов на слоях, что позволяет определить местоположение и форму элементов интегральной схемы. Для удаления лишних материалов и формирование нужных структур используют процессы травления, эцирования, наплавления и другие методы обработки. Далее происходит создание необходимых микроструктур на слоях подложки, а также монтаж активных и пассивных элементов. После разрабтки компонентов на подложке необходимо зафиксировать элементы на основании, это может быть выполнено автоматическими монтажными машинами, путем пайки (пайка в печи или волновая пайка) и использование клея. После успешного монтажа компонентов проводят завершающие процедуры, такие как нанесение защитного покрытия. После завершения всех шагов технологического процесса производится тестирование, контроль качества и испытания для проверки работоспособности и соответствия требованиям интегральной схемы.

На рисунке 41 приведена бескорпусная транзисторная сборка 198НТ1-микросхема включающую в себя от 5 до 6 транзисторов, из которых пара транзисторов с общим эмиттером, которые образуют дифференциальный каскад и два одиночных транзистора. Транзисторы в рамке одного кристалла получают с близкими техническими характеристиками и параметрами, что является важным при построении токовых зеркал и дифференциальных каскадов. Для создания такой сборки используется монокристаллический кремний *p*-типа, в котором формируются эмиттерная, базовая и коллекторная область транзистора. При этом для обеспечения изоляции между соседними транзисторами используется изолирующий *p-n* переход.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Данный переход образуется путем внедрения разного типа примеси (p и n) в кремний, что создает зону с повышенной концентрацией примесей, которая обеспечивает изоляцию между элементами сборки при условии, что образовавшиеся переходы имеют обратное включение, которое достигается, если потенциал подложки будет наименьшим из потенциала точек структур, в этом случае обратный ток через p - n переход незначительный и практически исключает связь между «карманами» соседних транзисторов.



1-вывод эмиттера транзистора VT3; 2 - вывод базы транзистора VT3; 3 - вывод коллектора транзистора VT3; 4- вывод эмиттера транзистора VT5; 5- вывод базы транзистора VT5; 6 - вывод коллектора транзистора VT5; 7 - вывод коллектора транзистора VT4; 8- вывод базы транзистора VT4; 9 - вывод эмиттера транзистора VT4; 10 - вывод коллектора транзистора VT2; 11- вывод базы транзистора VT2; 12 - вывод эмиттера транзистора VT2, VT1; 13 - вывод базы транзистора VT1; 14 – вывод коллектора транзистора VT1;

Рисунок 41- Бескорпусное исполнение транзисторной сборки 198HT1

Подготовка монокристаллического кремния для создания областей транзистора включает в себя несколько этапов. Сначала производится очистка поверхности от загрязнений и окислов, для этого используют химические растворы (раствор фтороводородной кислоты, азотной, серной, раствор аммиака), которые могут удалить органические и неорганические соединения. После чистки его подвергают процессу окисления, это позволяет создать слой диоксида кремния (SiO_2) на поверхности, который защищает кремний от дальнейших загрязнений и обеспечивает хорошее сцепление с масками и примесями.

После завершения всех этапов очистки в кремний вводят примеси, которые образуют n -типа проводимость, которая создает коллекторную область, это делается путем диффузии или имплантации примесей. После создания коллекторной области формируется базовая область транзистора, для этого на поверхность кремния наносится маска, оставляющая открытой только ту часть, где будет происходить формирование базы, и вводится примесь другого типа (p -типа). Предпоследним этапом является формирование эмиттерной области, для этого поверхность снова накрывается маской, оставляя открытым только регион для эмиттера, вводится сильно легированная примесь n -типа.

После формирования всех областей транзисторной сборки производят тестирование образовавшихся транзисторов для проверки их работоспособности. Кристаллы подобных транзисторных сборок представляют собой в разрезе структуру, показанную на рисунке 42.

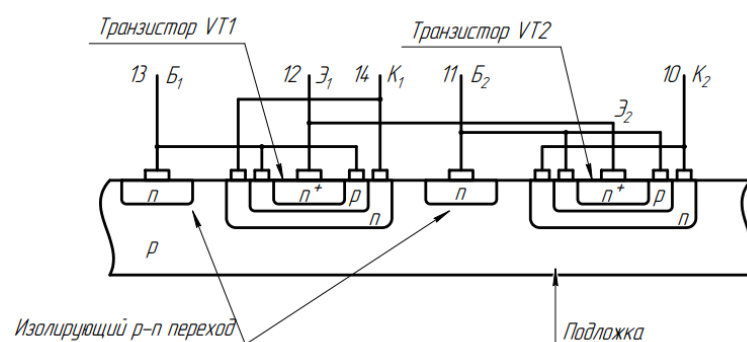


Рисунок 42 - Разрез кристалла транзисторной сборки 198НТ1

Интегральный приемопередатчик интерфейса CAN в завершающем этапе будет помещен в корпус, с учетом расположения выводов на кристалле разработанной топологии. Размер подложки равен 300 мм на 168 мм, поэтому выберем металlostеклянный корпус 1210.29-4.01. На рисунке 43 изображена конструкция и в таблице 7 представлены основные характеристики данного корпуса.

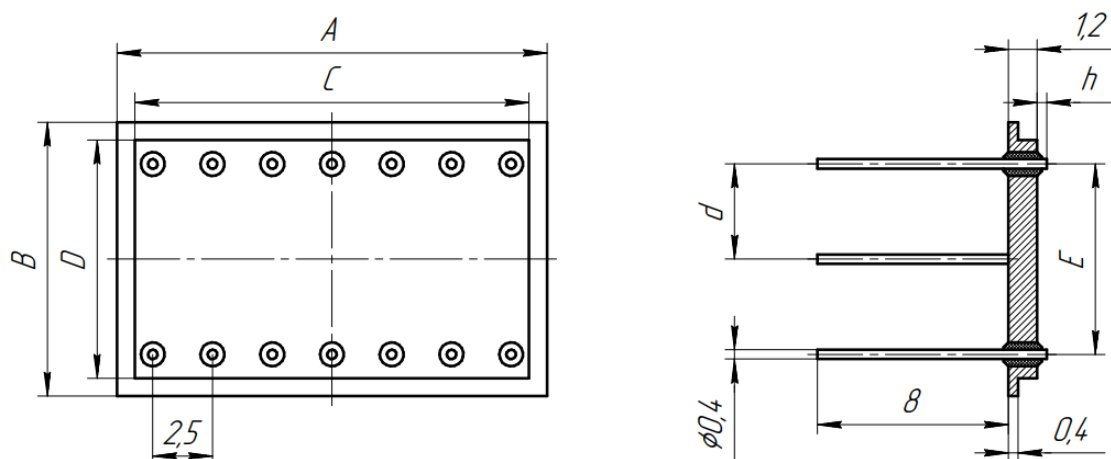


Рисунок 43 – Конструкция металlostеклянного корпуса 1210.29-4.01

Таблица 7 – Характеристики металlostеклянного корпуса

Тип корпуса	Покрытие	A,мм	B, мм	C,мм	D,мм	h,мм	d,мм
1210.29-4.01	H6, 3л.3	39,35	29,35	35,5	25,5	0,4	7,5

Металlostеклянные корпуса, такие как 1210.29-4.01, имеют свои достоинства и недостатки, которые следует учитывать при выборе. Рассмотрим достоинства данного корпуса:

- металlostеклянный корпус обладает высокой прочностью и устойчивостью к воздействию внешних факторов, таких как вибрации, температурные изменения и удары;
- корпус хорошо отводит тепло, что позволяет эффективно охлаждать электронные компоненты внутри корпуса;
- данный тип корпуса обеспечивают хорошую защиту от электромагнитных помех, что особенно важно для работы чувствительных электронных устройств;

– герметичный корпус, который защищает компоненты от пыли, влаги и других агрессивных сред.

Однако у металлостеклянного корпуса 1210.29-4.01 имеются и недостатки:

– изготовление металлостеклянных корпусов требует использование специальных материалов и технологий, поэтому они могут быть дороже других типов корпусов;

– из-за специфики материалов и технологий производства, корпуса могут иметь ограничения в дизайне и форм-факторе;

– металлостеклянные корпуса могут быть проводниками, что требует дополнительных мер предосторожности при монтаже компонентов.

В целом, металлостеклянные корпуса являются надежными и прочными, но их стоимость и некоторые особенности могут ограничить их применение в определенных областях. Поэтому при выборе корпуса необходимо учитывать все вышеуказанные факторы [7-8].

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Расчет себестоимости выпуска и свободной отпускной цены приемопередатчика

Стоимость всех затрат для создания и реализации продукции – себестоимость. Себестоимость рассчитывается для предложения разумной цены на изделие. В данной дипломной работе, для определения цены на разрабатываемый вариант приемопередатчика, рекомендуется рассчитать себестоимость на единицу продукции, используя формулу (44):

$$C_{\text{п}} = M + \text{ПФ} + K_{\text{тз}} + Z_0 + Z_{\text{д}} + O_{\text{сс}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{ох}} + P_{\text{ком}}, \quad (44)$$

где М- стоимость сырья и основных материалов; ПФ- стоимость покупных полуфабрикатов и комплектующих; $K_{\text{тз}}$ - транспортно-заготовительные расходы; Z_0 - основная заработная плата; $Z_{\text{д}}$ - дополнительная работная плата; $O_{\text{сс}}$ -отчисления на соцстрах; $P_{\text{пр}}$ - общепроизводственные расходы; $P_{\text{ох}}$ - общехозяйственные расходы; $P_{\text{ком}}$ - коммерческие расходы.

Первым пунктом расчетов является определение стоимости использованного сырья и материалов, таблица 8 содержит стоимость сырья и материалов в рублях.

Таблица 8 – Стоимость сырья и материалов в рублях

№	Наименование	Кол-во	Ед. изм.	Цена (ед)	Цена (общ)
1	Припой ПОС 61 (ГОСТ 21930-76)	0,1	кг	1500	150
2	Спирт этиловый (ГОСТ 5962-67)	0,15	л	170	25,5

$$M = 150 + 25,5 = 175,5 \text{ рублей} \quad (45)$$

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div>Расчет себестоимости выпуска и свободной отпускной цены приемопередатчика</div>		
Разраб.	Кондрашева			10.06.04			
Провер.	Вареник			10.06.04			
Н. Контр.	Рыжова			10.06.04	Гр.20ПД1		
Утверд.							
					Лит.	Лист	Листов
						65	126

Вторым пунктом расчетов является расчет стоимости покупных полуфабрикатов и комплектующих деталей. Данные для определения стоимости сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Стоимость комплектующих изделий устройства в рублях

№	Тип элемента	Номина л	Кол- во	Ед. изм.	Цена (ед)	Цена (общ)
1	Диод 2Д706АС-9		2	шт	31,68	63,36
2	Конденсатор 0603	10пФ	2	шт	7	14
3	Резистор 0603	10 Ом	2	шт	6	12
4	Резистор 0603	50 Ом	2	шт	6	12
5	Резистор 0603	750 Ом	1	шт	6	6
6	Резистор 0603	1 кОм	5	шт	6	30
7	Резистор 0603	10 кОм	8	шт	6	48
8	Резистор 0603	15 кОм	3	шт	6	18
9	Резистор 0603	20кОм	1	шт	6	6
10	Резистор 0603	300кОм	2	шт	6	12
11	Транзистор 2Т3130Г-9		6	шт	42	252
12	Транзисторная сборка 198НТ1В		2	шт	198	396
13	Транзисторная сборка 198НТ6Б		2	шт	125	250

$$\text{ПФ} = 63,36 + 14 + (12 \cdot 3) + 30 + 48 + 18 + (6 \cdot 2) + 252 + 396 + 250 = 1119,36 \text{ рублей} \quad (46)$$

Далее определим транспортно-заготовительные расходы на приемопередатчик по формуле (47):

$$K_{\text{ТЗ}} = 0,12 \cdot (M + \text{ПФ}) = 0,12 \cdot (175,5 + 1119,36) = 155,3832 \text{ рублей} \quad (47)$$

Затем рассчитывается зарплата основных рабочих за изготовление изделия, данные для подсчетов приведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Зарплата основных рабочих за изготовление изделия

№	Наименование операции	Разряд работы	Трудоемкость работы (норма/час)	Часовая тарифная ставка (руб)	Стоимость работы (руб)
1	Монтаж	6	0,5	312,5	156,25
2	Наладка	6	0,3	406,25	121,875
3	Сборка	4	0,3	281,25	84,375

$$З_0 = 156,25 + 121,875 + 84,375 = 362,5 \text{ рублей} \quad (48)$$

Учитываем дополнительную заработную плату производственных рабочих по формуле (49):

$$З_д = 0,15 * З_0 = 0,15 * 362,5 = 54,375 \text{ рублей} \quad (49)$$

Так же по формуле (50) необходимо определить отчисления на соцстрахование:

$$О_{сс} = 0,34 * (З_0 + З_д) = 0,34 * (362,5 + 54,375) = 141,7374 \text{ рублей} \quad (50)$$

Учесть общепроизводственные расходы, которые рассчитываются по формуле (51):

$$Р_{пр} = 3,7 * З_0 = 3,7 * 362,5 = 1341,25 \text{ рублей} \quad (51)$$

Общехозяйственные расходы обойдутся в следующую цену:

$$Р_{ох} = 3 * З_0 = 3 * 362,5 = 1087,5 \text{ рублей} \quad (52)$$

На цеховую себестоимость, расходы на освоение производства и производственную стоимость планируется выделить суммы, которые определяются формулами (53), (54), (55):

$$С_ц = М + ПФ + К_{тз} + З_0 + З_д + О_{сс} + Р_{пр} = 3350,1026 \text{ рублей} \quad (53)$$

$$Р_{ос} = 0,015 * (С_ц + Р_{ох}) = 66,564 \text{ рублей} \quad (54)$$

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + P_{\text{ос}} + P_{\text{ох}} = 4504,167 \text{ рублей} \quad (55)$$

Учли коммерческие расходы, которые вычисляются по формуле (56):

$$P_{\text{ком}} = 0,03 * C_{\text{пр}} = 135,125 \text{ рублей} \quad (56)$$

На основе полученных данных выше определим по формуле (57) полную себестоимость:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{пр}} + P_{\text{ком}} = 4504,166639 + 135,124999017 = 4639,292 \quad (57)$$

Результаты расчета себестоимости проектируемого прибора представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Калькуляция

№	Наименование статьи	Сумма (руб)
1	Сырье и материалы (М)	175,5
2	Комплектующие детали, узлы, покупные полуфабрикаты (ПФ)	1119,36
3	Транспортно-заготовительные расходы (К _{тз})	155,3832
4	Основная заработная плата производственных рабочих (З _о)	362,5
5	Дополнительная заработная плата производственных рабочих (З _д)	54,375
6	Начисления на заработную плату на соц.страхование (О _{сс})	141,7374
7	Общепроизводственные расходы (Р _{пр})	1341,25
8	Цеховая себестоимость изделия (С _ц)	3350,1026
9	Общехозяйственные расходы (Р _{ох})	1087,5
10	Расходы на освоение производства (Р _{ос})	66,564
11	Производственная себестоимость (С _{пр})	4504,167
12	Коммерческие расходы (Р _{ком})	135,125
13	Полная себестоимость изделия (С _п)	4639,292

Прибыль от продаж устройства составит:

$$\Pi = 0,25 * C_{\Pi} = 0,25 * 4639,292 = 1159,823 \text{ рублей} \quad (58)$$

Оптовая цена изделия будет равна:

$$C_{\text{опт}} = C_{\Pi} + \Pi = 4639,292 + 1159,823 = 5799,115 \text{ рублей} \quad (59)$$

Необходимо учесть налог на добавленную стоимость, который можно просчитать по формуле (60):

$$\text{НДС} = 0,18 * C_{\text{опт}} = 0,18 * 5799,115 = 1043,8407 \text{ рублей} \quad (60)$$

Итоговая отпускная свободная цена будет составлять:

$$C_{\text{св}} = C_{\text{опт}} + \text{НДС} = 5799,115 + 1043,8407 = 6842,9557 \text{ рублей} \quad (61)$$

Таким образом, себестоимость изготовления приемопередатчика, выполненного на основе печатной платы с использованием отечественных образцов микросхем составляет 6842,9557 рублей.

Полученная цена соизмерима с образцами интегральных микросхем отечественного производства, поэтому разработанная гибридная интегральная схема является конкурентно способной на рынке. Однако есть возможность удешевления изделия путем изготовления приемопередатчика в массовом производстве ГИС за счет применения гибридных технологий и сокращения ручного труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы спроектирована гибридная интегральная микросхема приемопередатчика, выполняющая функцию приема и передачи данных по сети CAN. Для достижения цели работы были решены задачи, которые включали в себя анализ протокола информационного обмена и аппаратной реализации сетей CAN. На основе полученной информации разработана электрическая схема приемопередатчика и его варианта на основе печатной платы. Завершающим этапом проектирования является разработка топологии подложки и конструкции ГИС приемопередатчика. Для оценки возможности реализации приемопередатчика была вычислена свободная отпускная цена варианта изделия на основе печатной платы с использованием отечественных микросхем и транзисторов.

В итоге работы разработаны чертежи: схема электрическая принципиальная приемопередатчика, топология печатной платы варианта, послойные чертежи слоев подложки ГИС, сборочный чертеж подложки и сборочный чертеж приемопередатчика. Полученные чертежи наглядно отображают структуру и конструкцию спроектированной микросхемы. Наличие отечественной сборки такого формата дает дополнительную возможность применения его в промышленности для общего и специального назначения, что особо полезно при реализации проектов военного характера.

Материалы данной работы внедрены в производственный процесс АО «НПП «Рубин».

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яржемский А. Д. и др. Межсетевой CAN-интерфейс. – 2019.
2. Возможности CAN протокола: <https://www.cta.ru/cms/f/326789.pdf> (Дата обращения: 10.03.2024).- Текст: электронный.
3. Довгун В. и др. Электроника и схемотехника. – Litres, 2023.
4. Битюков В., Симачков Д., Бабенко В. Схемотехника электропреобразовательных устройств. – Litres, 2023.
5. Обучающий курс по Altium Designer: <https://cxem.net/comp/comp150.php> (Дата обращения: 08.04.2024).- Текст: электронный.
6. Лопаткин А. Проектирование печатных плат в Altium Designer. – Litres, 2022.
7. Коледов Л. А. и др. Конструирование и технология микросхем: Курсовое проектирование: Учебное пособие для вузов. – Высшая школа, 1984. – С. 231.
8. Романычева Э. Т. и др. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. – 1989.

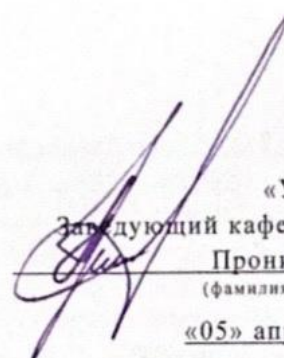
					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		


«Утверждаю»
Заведующий кафедрой НИМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, имя, отчество)
«05» апреля 2024 г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

1 Студент гр. 20ПД1 факультета ПИТЭ
направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»
профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Кондрашева Мария Романовна
(фамилия, имя, отчество)

2 Руководитель Вареник Юрий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

3 Тема бакалаврской работы Интегральный приемопередатчик
интерфейса CAN

Тема утверждена приказом ПГУ № 396а/о от «17» апреля 2024 г.

4 Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка; проектирование; исследование; и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.).

1. Провести анализ принципов работы и применения интерфейса CAN (ControllerAreaNetwork – локальная сеть контроллера).

2. Разработать электрическую схему приемопередатчика, выполнить имитационное моделирование спроектированной схемы.

3. Разработать прототип модуля приемопередатчика CAN на основе печатной платы. Спроектировать вариант приемопередатчика CAN в исполнении гибридной интегральной схемы.

4. Рассчитать себестоимость выпуска и свободную отпускную цену приемопередатчика.

5 Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1 Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1. Литературный обзор принципов построения и работы интерфейса CAN.

1.1 Структура и применение интерфейса CAN.

1.2 Формат передачи данных по CAN.

1.3 Структурная схема и принцип работы приемопередатчика CAN.

2. Проектирование и моделирование приемопередатчика CAN.

2.1 Проектирование схемы устройства.

2.2 Проектирование прототипа устройства на основе печатной платы.

3. Проектирование гибридной интегральной схемы приемопередатчика.

3.1 Расчет тонкопленочных резисторов простой формы.

3.2 Расчет тонкопленочных резисторов сложной формы.

2.2 Проектирование варианта устройства на основе печатной платы.	
3. Проектирование гибридной интегральной схемы приемопередатчика.	
3.1 Расчет тонкопленочных резисторов простой формы.	
3.2 Расчет тонкопленочных резисторов сложной формы.	
3.3 Расчет тонкопленочных конденсаторов.	
3.4 Обоснование выбора корпуса ГИС. Описание технологии изготовления ГИС.	
4. Расчет себестоимости выпуска и свободной отпускной цены приемопередатчика.	
5.2 Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)	
Цели и задачи ВКР	слайд 2;
Принципы работы и схемотехника сетей CAN	слайд 3;
Структура разработанного приемопередатчика CAN	слайд 4;
Схема приемопередатчика и принцип его работы	слайд 5;
Схема электрическая принципиальная, А2	слайд 6;
Топология печатной платы варианта приемопередатчика CAN смоделирована в программе Altium Designer	слайд 7;
Структура кристалла транзисторной сборки	слайд 8;
Плата. Послойные чертежи, А2	слайд 9-10;
Плата. Сборочный чертеж, А2	слайд 11;
Микросхема. Сборочный чертеж, А1	слайд 12;
Расчет себестоимости и свободной отпускной цены	слайд 13;
6 Консультанты и содержание дополнительных разделов	
6.1	
Консультант	
6.2	
Консультант	

7 Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Литературный обзор принципов в построения и работы интерфейса CAN	25%	05.06.2024	
Проектирование и моделирование приемопередатчика CAN	20%	06.06.2024	
Проектирование гибридной интегральной схемы приемопередатчика	25%	06.06.2024	
Расчет себестоимости выпуска и свободной отпускной цены приемопередатчика	10%	07.06.2024	
Оформление пояснительной записки ВКР	10%	07.06.2024	
Оформление графической части ВКР	10%	08.06.2024	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Вареник Юрий Александрович
фамилия, имя, отчество

Дата выдачи задания «10» июня

2024 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Кондрашева Мария Романовна
фамилия, имя, отчество

«10» июня

2024 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить
Декан факультета

подпись

Кревчик Владимир Дмитриевич
фамилия, имя, отчество

«10» июня

2024 г.

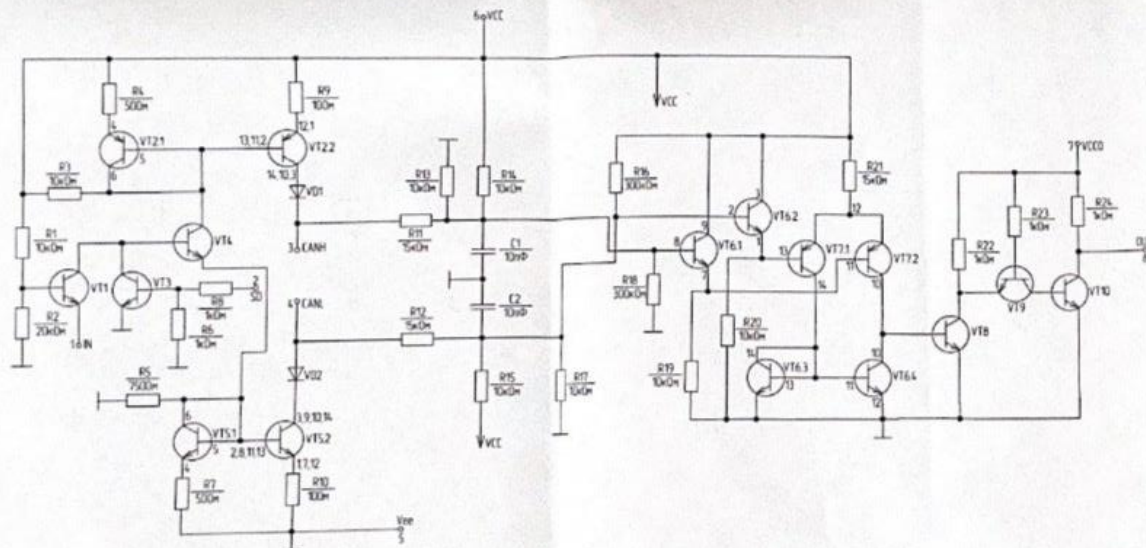
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная приемопередатчика CAN

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Лист 110304.009.33



Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
C1, C2	Конденсатор 10нФ±5% 10В	2	
Резисторы			
R1	10кОм±10% 0,1 Вт	1	
R2	20кОм±5% 0,1 Вт	1	
R3	10кОм±10% 0,1 Вт	1	
R4	50 Ом±1% 0,1 Вт	1	
R5	750 Ом±5% 0,1 Вт	1	
R6	1кОм±1% 0,1 Вт	1	
R7	50 Ом±1% 0,1 Вт	1	
R8	1кОм±1% 0,1 Вт	1	
R9, R10	10 Ом±5% 0,1 Вт	2	
R11, R12	15кОм±1% 0,1 Вт	2	
R13, R15	10кОм±10% 0,1 Вт	3	
R16	300кОм±1% 0,1 Вт	1	
R17	10кОм±10% 0,1 Вт	1	
R18	300кОм±1% 0,1 Вт	1	
R19, R20	10кОм±10% 0,1 Вт	2	
R21	15кОм±1% 0,1 Вт	1	
R22, R24	1кОм±1% 0,1 Вт	3	
VD1, VD2	Диод 2Д706АС-5 аА0.339.582 ТУ	2	
Транзисторы			
VT1	2Т3130Г-5 аА0.339.569 ТУ	1	
VT2	198НТ66Н4 АЕЯР.4.314.10.245 ТУ	1	
VT3, VT4	2Т3130Г-5 аА0.339.569 ТУ	2	
VT5	198НТ66Н4 АЕЯР.4.314.10.245 ТУ	1	
VT6	198НТ18Н4 АЕЯР.4.314.10.245 ТУ	1	
VT7	198НТ66Н4 АЕЯР.4.314.10.245 ТУ	1	
VT8, VT10	2Т3130Г-5 аА0.339.569 ТУ	3	

Лист 110304.009.33				Проект А2		
Исполн.	Н.А.Александров	Провер.	Л.А.Александров	Проект А2		
Разработ.	Александров	Провер.	Александров			
Лист	1	Листов	1	Проект А2		
Контр.		Провер.	Александров			
Исполн.	Александров	Провер.	Александров	Проект А2		
Лист	1	Листов	1			

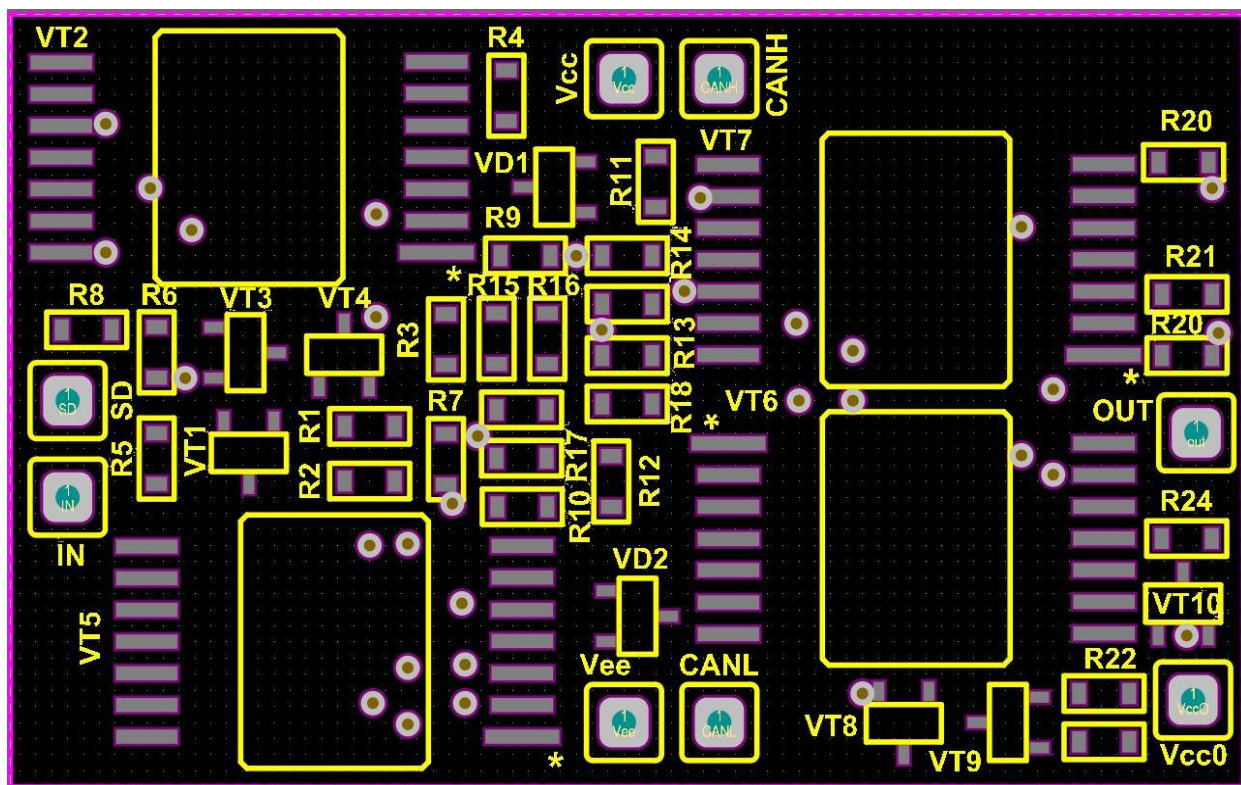
ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

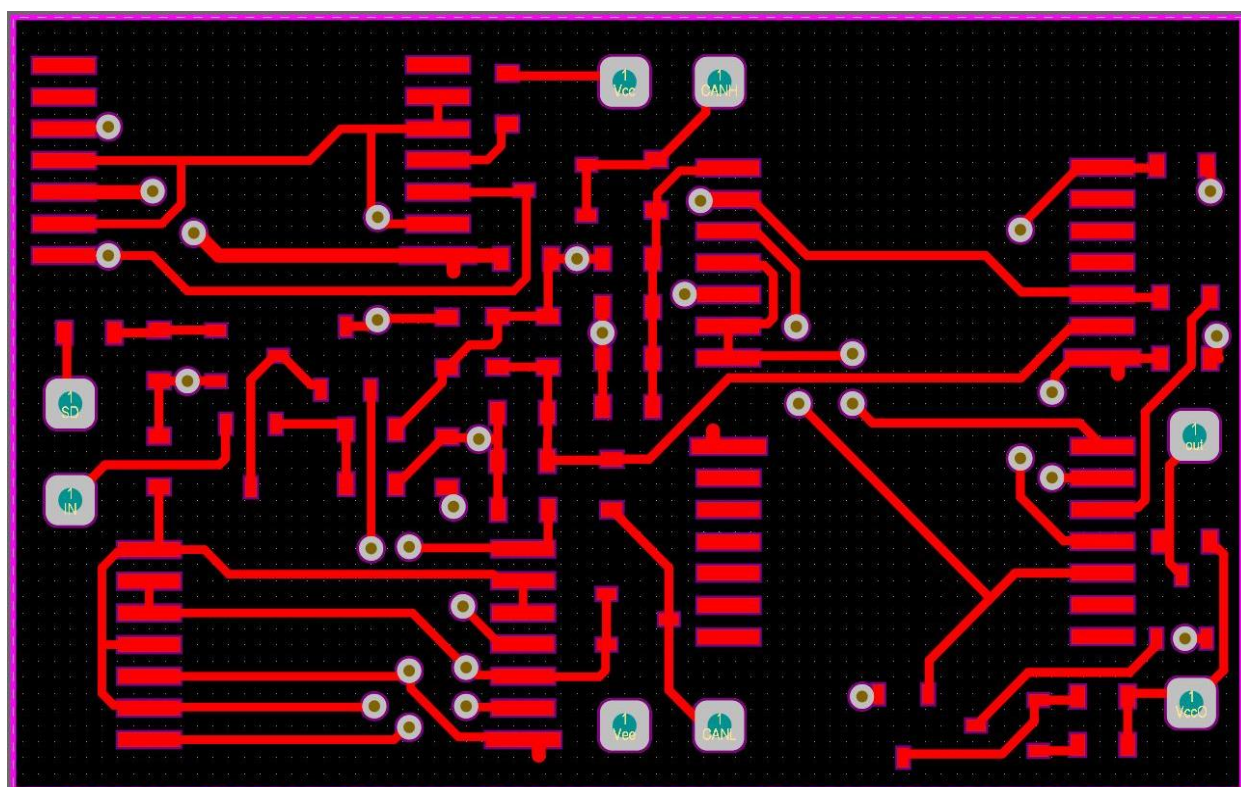
Послойный чертеж печатной платы приемопередатчика в программе

Altium Designer

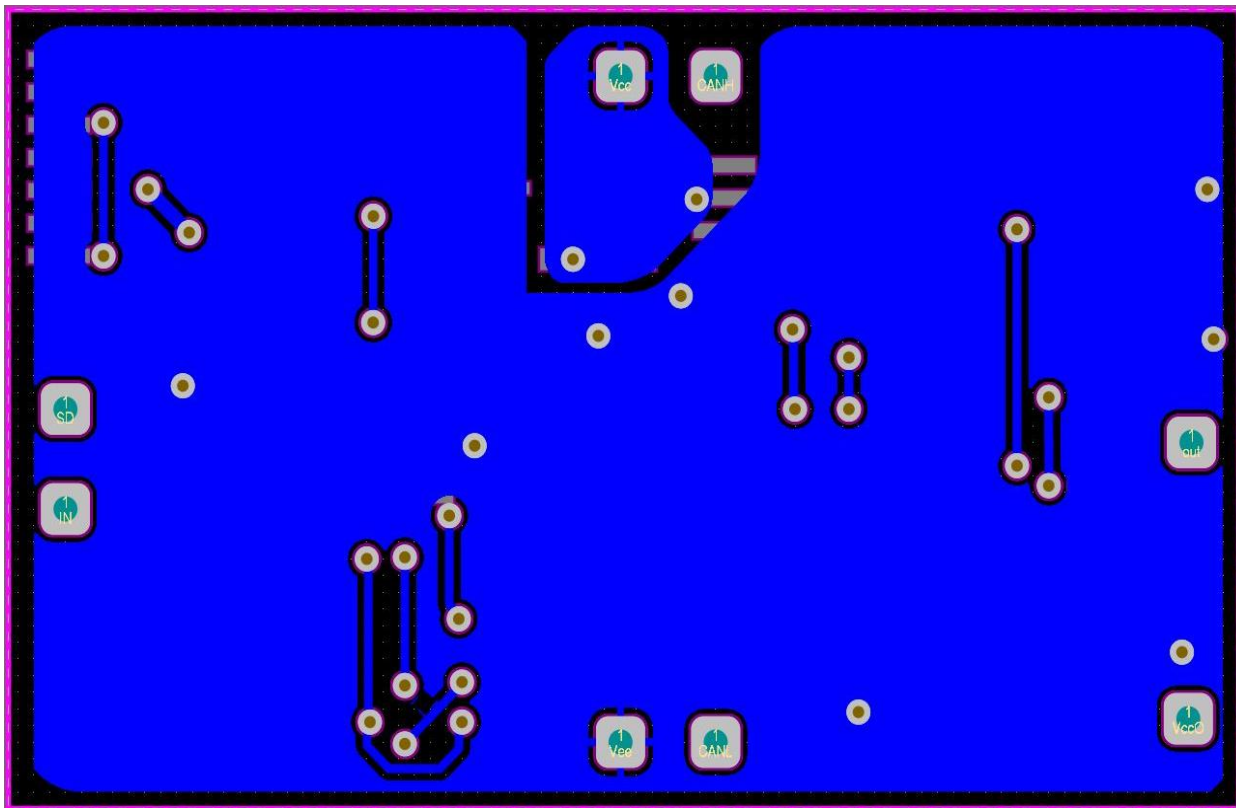
					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



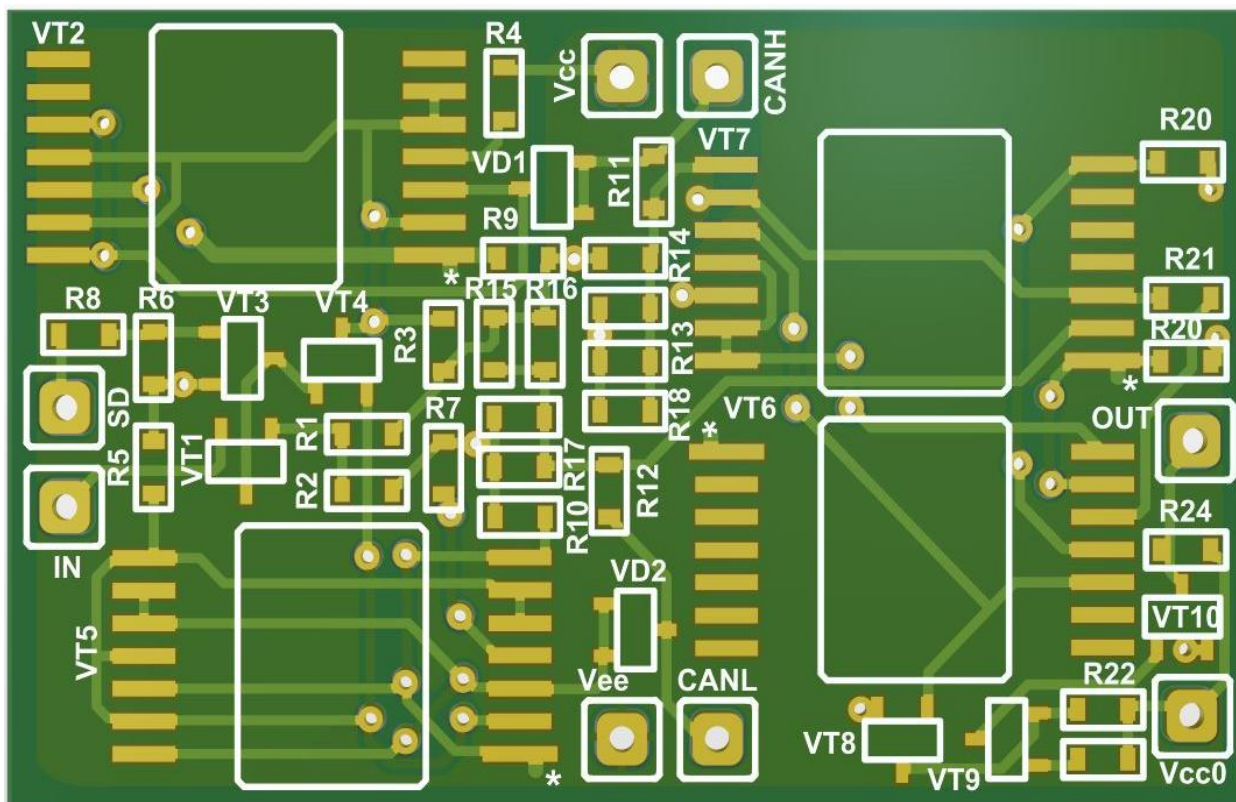
Слой шелкографии



Тор слой



Слой Bottom



Внешний вид платы (вид сверху)

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Расчет пленочных элементов в *Mathcad.exe*

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

номинальное сопротивление, Ом

$$\begin{array}{llll} R1 := 10 \cdot 10^{-3} & R7 := 50 & R13 := 10 \cdot 10^{-3} & R19 := 10 \cdot 10^{-3} \\ R2 := 20 \cdot 10^{-3} & R8 := 1 \cdot 10^{-3} & R14 := 10 \cdot 10^{-3} & R20 := 10 \cdot 10^{-3} \\ R3 := 10 \cdot 10^{-3} & R9 := 10 & R15 := 10 \cdot 10^{-3} & R21 := 15 \cdot 10^{-3} \\ R4 := 50 & R10 := 10 & R16 := 300 \cdot 10^{-3} & R22 := 1 \cdot 10^{-3} \\ R5 := 750 & R11 := 15 \cdot 10^{-3} & R17 := 10 \cdot 10^{-3} & R23 := 1 \cdot 10^{-3} \\ R6 := 1 \cdot 10^{-3} & R12 := 15 \cdot 10^{-3} & R18 := 300 \cdot 10^{-3} & R24 := 1 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

Расчет тонкопленочных резисторов простой формы

1. Оптимальное сопротивление квадрата резистивной пленки

$$\rho_{\text{sopt}} := \sqrt{\frac{R1 + R2 + R3 + R4 + \frac{23 + R24}{\left(\frac{1}{R20} + \frac{1}{R21} + \frac{1}{R22} + \frac{1}{R23} + \frac{1}{R24}\right)}}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5} + \frac{1}{R6} + \frac{1}{R7}\right) + \dots}} = 1.742 \times 10^3 \text{ Ом/квadrat}$$

3. Проверка правильности выбранного материала с точки зрения точности изготовления резистора

погрешность воспроизведения удельного поверхностного сопротивления

$$\gamma_{\text{ps}} := 2.5 \%$$

$$\gamma_1 := 10 \%$$

Температурная погрешность

$$\gamma_2 := 20 \%$$

$$\gamma_{\text{rt}} := \alpha_r \cdot (T_{\text{max}} - 20) \cdot 100 = 1.2 \%$$

погрешность обусловленная старением пленки

$$\gamma_{\text{rst}} := K_{\text{st}} \cdot t = 1.5 \%$$

погрешность переходных сопротивлений контакта

$$\gamma_{\text{rp}} := 1.5 \%$$

Допустимая погрешность коэффициента формы для резисторов простой формы

$$\gamma_{k1} := \gamma_1 - \gamma_{\text{ps}} - \gamma_{\text{rt}} - \gamma_{\text{rst}} - \gamma_{\text{rp}} = 3.3 \%$$

Допустимая погрешность коэффициента формы, для резисторов сложной формы

$$\gamma_{k2} := \gamma_2 - \gamma_{\text{ps}} - \gamma_{\text{rt}} - \gamma_{\text{rst}} - \gamma_{\text{rp}} = 13.3 \%$$

5. Расчет резистора (K_f меньше 1)

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R_4

$$l_{r4} \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot K_{f4})}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow l_{r4} \geq 0.31194295900178253121 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$l_{p4} := \sqrt{\left(\frac{P_4 \cdot K_{f4}}{P_0}\right)} = 0.171 \text{ мм}$$

Рассчитанное значение длины резистора

$$l_{r4} \geq \max(l_{r4}, l_{p4}) \text{ мм}$$

$$l_{r4} := 0.2 \text{ мм}$$

$$b_{r4} := \frac{l_{r4}}{K_{f4}} = 6.8 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$l_{\text{poln}4} := l_{r4} + 2 \cdot e = 0.4 \text{ мм}$$

$$S_4 := l_{\text{poln}4} \cdot b_{r4} = 2.72 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P_{04} := \frac{P_4}{S_4} = 7.353 \times 10^{-3} \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k_4 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{l_{\text{poln}4}} \right) + \left(\frac{\Delta b}{b_{r4}} \right) \right] = 2.647 \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta_4 := \delta k_4 + \gamma_{\text{ps}} + \gamma_{\text{rt}} + \gamma_{\text{rst}} + \gamma_{\text{rp}} = 9.047 \%$$

$$l_{t41} \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot K_{f41})}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow l_{t41} \geq 0.34224598930481283939 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$l_{p41} := \sqrt{\left(\frac{P_4 \cdot K_{f41}}{P_0}\right)} = 0.36 \text{ мм}$$

Рассчитанное значение длины резистора

$$l_{r41} \geq \max(l_{t41}, l_{p41}) \text{ мм}$$

$$l_{r41} := 0.3 \text{ мм}$$

$$b_{r41} := \frac{l_{r41}}{K_{f41}} = 2.318 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$l_{\text{poln}41} := l_{r41} + 2 \cdot e = 0.5 \text{ мм}$$

$$S_{41} := l_{\text{poln}41} \cdot b_{r41} = 1.159 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P_{041} := \frac{P_4}{S_{41}} = 0.017 \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k_{41} := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{l_{\text{poln}41}} \right) + \left(\frac{\Delta b}{b_{r41}} \right) \right] = 2.431 \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta_{41} := \delta k_{41} + \gamma_{\text{ps}} + \gamma_{\text{rt}} + \gamma_{\text{rst}} + \gamma_{\text{rp}} = 8.831 \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R7

$$lt7 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf7)}{\frac{\gamma k1}{100}} \rightarrow lt7 \geq 0.31194295900178253121 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp7 := \sqrt{\left(\frac{P7 \cdot Kf7}{P0}\right)} = 0.171 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr7 \geq \max(1, lt7, lp7) \text{ мм}$$

$$lr7 := 0.2 \text{ мм}$$

$$br7 := \frac{lr7}{Kf7} = 6.8 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln7 := lr7 + 2 \cdot e = 0.4 \text{ мм}$$

$$S7 := lpoln7 \cdot br7 = 2.72 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P07 := \frac{P7}{S7} = 7.353 \times 10^{-3} \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k7 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln7} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br7} \right) \right] = 2.647 \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta7 := \delta k7 + \gamma ps + \gamma rt + \gamma rst + \gamma rt = 9.047 \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R8

$$lt8 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf8)}{\frac{\gamma k1}{100}} \rightarrow lt8 \geq 0.48128342245989305455 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp8 := \sqrt{\left(\frac{P8 \cdot Kf8}{P0}\right)} = 1.2 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr8 \geq \max(1, lt8, lp8) \text{ мм}$$

$$lr8 := 1.2 \text{ мм}$$

$$br8 := \frac{lr8}{Kf8} = 2.04 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln8 := lr8 + 2 \cdot e = 1.4 \text{ мм}$$

$$S8 := lpoln8 \cdot br8 = 2.856 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P08 := \frac{P8}{S8} = 0.017 \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k8 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln8} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br8} \right) \right] = 1.204 \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta8 := \delta k8 + \gamma ps + \gamma rt + \gamma rst + \gamma rt = 7.604 \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R7

$$lt71 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf71)}{\frac{\gamma k1}{100}} \rightarrow lt71 \geq 0.34224598930481283939 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp71 := \sqrt{\left(\frac{P7 \cdot Kf71}{P0}\right)} = 0.36 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr71 \geq \max(1, lt71, lp71) \text{ мм}$$

$$lr71 := 0.3 \text{ мм}$$

$$br71 := \frac{lr71}{Kf71} = 2.318 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln71 := lr71 + 2 \cdot e = 0.5 \text{ мм}$$

$$S71 := lpoln71 \cdot br71 = 1.159 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P071 := \frac{P7}{S71} = 0.017 \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k71 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln71} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br71} \right) \right] = 2.431 \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta71 := \delta k71 + \gamma ps + \gamma rt + \gamma rst + \gamma rt = 8.831 \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R9

$$lt9 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf9)}{\frac{\gamma k1}{100}} \rightarrow lt9 \geq 0.30481283422459893045 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp9 := \sqrt{\left(\frac{P9 \cdot Kf9}{P0}\right)} = 0.171 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr9 \geq \max(1, lt9, lp9) \text{ мм}$$

$$lr9 := 0.2 \text{ мм}$$

$$br9 := \frac{lr9}{Kf9} = 34 \text{ мм} \text{ Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln9 := lr9 + 2 \cdot e = 0.4 \text{ мм}$$

$$S9 := lpoln9 \cdot br9 = 13.6 \text{ мм}^2 \text{ Площадь резистора}$$

Проверка

$$P09 := \frac{P9}{S9} = 7.353 \times 10^{-3} \text{ Вт/мм}^2 \text{ Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k9 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln9} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br9} \right) \right] = 2.529 \%$$

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$lt91 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf91)}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow lt91 \geq 0.33511586452762923333 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp91 := \sqrt{\left(\frac{P9 \cdot Kf91}{P0}\right)} = 0.728 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr91 \geq \max(1, lt91, lp91) \text{ мм}$$

$$lr91 = 0.7 \text{ мм}$$

$$br91 := \frac{lr91}{Kf91} = 6.611 \text{ мм} \quad \text{Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln91 := lr91 + 2 \cdot e = 0.9 \text{ мм}$$

$$S91 := lpoln91 \cdot br91 = 5.95 \text{ мм}^2 \quad \text{Площадь резистора}$$

Проверка

$$P091 := \frac{P9}{S91} = 0.017 \text{ Вт/мм}^2 \quad \text{Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k91 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln91} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br91} \right) \right] = 1.262 \quad \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta91 := \delta k91 + \gamma_{ps} + \gamma_{rt} + \gamma_{rst} + \gamma_{rt} = 7.662 \quad \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R24

$$lt24 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf24)}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow lt24 \geq 0.48128342245989305455 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp24 := \sqrt{\left(\frac{P24 \cdot Kf24}{P0}\right)} = 1.2 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr24 \geq \max(1, lt24, lp24) \text{ мм}$$

$$lr24 = 1.2 \text{ мм}$$

$$br24 := \frac{lr24}{Kf24} = 2.04 \text{ мм} \quad \text{Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln24 := lr24 + 2 \cdot e = 1.4 \text{ мм}$$

$$S24 := lpoln24 \cdot br24 = 2.856 \text{ мм}^2 \quad \text{Площадь резистора}$$

Проверка

$$P024 := \frac{P24}{S24} = 0.017 \text{ Вт/мм}^2 \quad \text{Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k24 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln24} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br24} \right) \right] = 1.204 \quad \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta24 := \delta k24 + \gamma_{ps} + \gamma_{rt} + \gamma_{rst} + \gamma_{rt} = 7.604 \quad \%$$

Длина резистора, определяемая точностью изготовления R10

$$lt10 \geq \frac{\Delta l + (\Delta b \cdot Kf10)}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow lt10 \geq 0.30481283422459893045 \text{ мм}$$

Минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$lp10 := \sqrt{\left(\frac{P10 \cdot Kf10}{P0}\right)} = 0.171 \text{ мм}$$

Расчетное значение длины резистора

$$lr10 \geq \max(1, lt10, lp10) \text{ мм}$$

$$lr10 = 0.2 \text{ мм}$$

$$br10 := \frac{lr10}{Kf10} = 34 \text{ мм} \quad \text{Ширина резистора}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln10 := lr10 + 2 \cdot e = 0.4 \text{ мм}$$

$$S10 := lpoln10 \cdot br10 = 13.6 \text{ мм}^2 \quad \text{Площадь резистора}$$

Проверка

$$P010 := \frac{P10}{S10} = 7.353 \times 10^{-3} \text{ Вт/мм}^2 \quad \text{Действительная удельная мощность}$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k10 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln10} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br10} \right) \right] = 2.529 \quad \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta10 := \delta k10 + \gamma_{ps} + \gamma_{rt} + \gamma_{rst} + \gamma_{rt} = 8.929 \quad \%$$

7. Расчет резисторов (Kf больше или равно 1)

Ширина резистора, определяемая точностью изготовления R1

$$bt1 \geq \frac{\Delta b + \left(\frac{\Delta l}{Kf1}\right)}{\frac{\gamma_{k1}}{100}} \rightarrow bt1 \geq 0.35454545454545454185 \text{ мм}$$

Минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$bp1 := \sqrt{\left(\frac{P1}{P0 \cdot Kf1}\right)} = 0.204 \text{ мм}$$

Расчетное значение ширины резистора

$$br1 \geq \max(b, bt1, bp1) \text{ мм}$$

$$br1 = 0.2 \text{ мм}$$

Длина резистора

$$lr1 := br1 \cdot Kf1 = 1.176 \text{ мм}$$

$$lr1 = 1.2 \text{ мм}$$

Полная длина резистора, с учетом перекрытия контактных площадок

$$lpoln1 := lr1 + 2 \cdot e = 1.4 \text{ мм}$$

Площадь резистора

$$S1 := lpoln1 \cdot br1 = 0.28 \text{ мм}^2$$

Проверка

Действительная удельная мощность

$$P01 := \frac{P1}{S1} = 0.018 \text{ Вт/мм}^2$$

Действительная допустимая погрешность коэффициента формы

$$\delta k1 := 100 \cdot \left[\left(\frac{\Delta l}{lpoln1} \right) + \left(\frac{\Delta b}{br1} \right) \right] = 5.714 \quad \%$$

Действительное допустимое отклонение сопротивления резистора

$$\delta1 := \delta k1 + \gamma_{ps} + \gamma_{rt} + \gamma_{rst} + \gamma_{rt} = 12.114 \quad \%$$

8. Расчет резисторов (Kf больше 10)

Резистор R16

Ширина резистора, определяемая точностью изготовления

$$bt16 := \frac{\Delta b + \left(\frac{\Delta I}{Kf16} \right)}{\frac{\gamma k2}{100}} = 0.076 \text{ мм}$$

Минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$bp16 := \sqrt{\left(\frac{P16}{P0 \cdot Kf16} \right)} = 7.775 \times 10^{-3} \text{ мм}$$

Расчетное значение ширины резистора

$$br16 \geq \max(b, bt16, bp16) \text{ мм}$$

$$br16 := 8 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Длина резистора

$$lsr16 := br16 \cdot Kf16 = 1.412 \text{ мм}$$

$$lsr16 := 1.4 \text{ мм}$$

Шаг одного звена меандра

$$t16 := a + br16 = 0.108 \text{ мм}$$

Оптимальное число звеньев меандра

$$nopt16 := \sqrt{\frac{br16 \cdot Kf16}{t16}} = 3.616$$

$$nopt16 := 4$$

Длина меандра

$$L16 := nopt16 \cdot t16 = 0.432 \text{ мм}$$

Резистор R2

Ширина резистора, определяемая точностью изготовления

$$bt2 := \frac{\Delta b + \left(\frac{\Delta I}{Kf2} \right)}{\frac{\gamma k2}{100}} = 0.082 \text{ мм}$$

Минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$bp2 := \sqrt{\left(\frac{P2}{P0 \cdot Kf2} \right)} = 0.068 \text{ мм}$$

Расчетное значение ширины резистора

$$br2 \geq \max(b, bt2, bp2) \text{ мм}$$

$$br2 := 0.1 \text{ мм}$$

Длина резистора

$$lsr2 := br2 \cdot Kf2 = 1.176 \text{ мм}$$

$$lsr2 := 1.2 \text{ мм}$$

Шаг одного звена меандра

$$t2 := a + br2 = 0.2 \text{ мм}$$

Оптимальное число звеньев меандра

$$nopt2 := \sqrt{\frac{br2 \cdot Kf2}{t2}} = 2.425$$

$$nopt2 := 3$$

Длина меандра

$$L2 := nopt2 \cdot t2 = 0.6 \text{ мм}$$

Ширина меандра

$$B16 := \frac{lsr16 - a \cdot nopt16}{nopt16} = 0.25 \text{ мм}$$

Уточненный расчет резистора

$$m16 := 4 \text{ число изгибов}$$

Сопротивление изгиба

$$Riz16 := 2.55 \cdot ps = 4.335 \times 10^3 \text{ Ом}$$

Длина прямолинейных участков

$$lp16 := \left(\frac{R16 - m16 \cdot Riz16}{ps \cdot nopt16} \right) \cdot br16 = 0.333 \text{ мм}$$

$$lp16 := 0.3 \text{ мм}$$

Уточненная габаритная ширина резистора

$$Byt16 := lp16 + 4 \cdot b = 0.7 \text{ мм}$$

Габаритная площадь резистора

$$S16 := Byt16 \cdot L16 = 0.302 \text{ мм}^2$$

Ширина меандра

$$B2 := \frac{lsr2 - a \cdot nopt2}{nopt2} = 0.3 \text{ мм}$$

Уточненный расчет резистора

$$m2 := 3 \text{ число изгибов}$$

Сопротивление изгиба

$$Riz2 := 2.55 \cdot ps = 4.335 \times 10^3 \text{ Ом}$$

Длина прямолинейных участков

$$lp2 := \left(\frac{R2 - m2 \cdot Riz2}{ps \cdot nopt2} \right) \cdot br2 = 0.137 \text{ мм}$$

$$lp22 := 0.2 \text{ мм}$$

Уточненная габаритная ширина резистора

$$Byt2 := lp22 + 4 \cdot br2 = 0.6 \text{ мм}$$

Габаритная площадь резистора

$$S2 := Byt2 \cdot L2 = 0.36 \text{ мм}^2$$

Проверка

Действительная удельная мощность

$$P02 := \frac{P2}{S2} = 3.025 \times 10^{-3} \text{ Вт/мм}^2$$

6. Определение удельной емкости конденсатора с учетом точности его изготовления

$$C0toch := \frac{C1}{10^{-12}} \cdot \left(\frac{\frac{\gamma_8}{100}}{2 \cdot \Delta L} \right)^2 = 93.025 \quad \text{пФ/мм}^2$$

7. Выбор минимального значения удельной емкости конденсатора, учитывая электрическую прочность и точность изготовления

$$C0 \leq \min(C0v, C0toch, C0min)$$

Значение удельной емкости при котором конденсатор будет занимать минимальную площадь на подложке

$$Smin := 1 \quad \text{мм}^2 \quad \text{минимальная площадь}$$

$$C0min := \frac{C1 \cdot 10^{12}}{Smin} = 10 \quad \text{пФ/мм}^2$$

$$C0 := 10 \quad \text{пФ/мм}^2$$

8. Определение толщины диэлектрика, соответствующая выбранной удельной емкости

$$d := \frac{0.0885 \cdot \epsilon}{C0} = 0.097 \quad \text{мм}$$

Размеры нижней обкладки конденсатора, с учетом допусков на перекрытие

$$Ln1 := Lv1 + 2q = 1.5 \quad \text{мм}$$

$$Bn1 := Lv1 + 2q = 1.5 \quad \text{мм}$$

Размеры диэлектрика

$$Ld1 := Ln1 + 2 \cdot f = 1.7 \quad \text{мм}$$

$$Bd1 := Ln1 + 2 \cdot f = 1.7 \quad \text{мм}$$

Площадь, занимаемая конденсатором

$$Sd1 := Ld1 \cdot Bd1 = 2.89 \quad \text{мм}^2$$

Проверка расчетов

Тангенс угла потерь в обкладках

$$tg\delta_{ob1} := \left(\frac{2}{3} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{max} \cdot Rob \cdot C1 = 2.094 \times 10^{-6}$$

Тангенс угла диэлектрических потерь

$$tg\delta_{d1} := 0.006$$

Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь

$$tg\delta_{r1} := tg\delta_{ob1} + tg\delta_{d1} = 0.006$$

Рабочая напряженность электрического поля

$$Erab1 := \frac{Urab}{d} = 51.361 \quad \text{В/мм}$$

Относительная погрешность активной площади конденсатора

$$\gamma_{srab1} := 100 \cdot \Delta L \cdot \left(\frac{1 + Kf}{\sqrt{Kf \cdot S1}} \right) = 1.796 \quad \%$$

Площадь, занимаемая конденсатором

$$Sd2 := Ld2 \cdot Bd2 = 2.89 \quad \text{мм}^2$$

Проверка расчетов

Тангенс угла потерь в обкладках

$$tg\delta_{ob2} := \left(\frac{2}{3} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{max} \cdot Rob \cdot C2 = 2.094 \times 10^{-6}$$

Тангенс угла диэлектрических потерь

$$tg\delta_{d2} := 0.006$$

Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь

$$tg\delta_{r2} := tg\delta_{ob2} + tg\delta_{d2} = 0.006$$

Рабочая напряженность электрического поля

$$Erab2 := \frac{Urab}{d} = 51.361 \quad \text{В/мм}$$

Относительная погрешность активной площади конденсатора

$$\gamma_{srab2} := 100 \cdot \Delta L \cdot \left(\frac{1 + Kf}{\sqrt{Kf \cdot S2}} \right) = 1.796 \quad \%$$

9. Расчет геометрических размеров конденсаторов

Расчет конденсатора C1 и C2

Определение коэффициента, учитывающего краевой эффект

$$\frac{C1}{C0 \cdot 10^{-12}} = 1 \quad \text{мм}^2$$

$$K1 := 1.3 - 0.06 \cdot \frac{C1}{C0 \cdot 10^{-12}} = 1.24$$

Определение площади верхней обкладки

$$S1 := \left(\frac{C1}{C0 \cdot 10^{-12}} \right) \cdot K1 = 1.24 \quad \text{мм}^2$$

Форма обкладок перекрещивающиеся полоски квадратной формы $Kf := 1$

Размеры верхней обкладки конденсатора

$$Lv1 := \sqrt{S1} = 1.114 \quad \text{мм}$$

$$Bv1 := \sqrt{S1} = 1.114 \quad \text{мм}$$

$$Lv1 := 1.1 = 1.1 \quad \text{мм}$$

$$Bv1 := 1.1 = 1.1 \quad \text{мм}$$

Определение коэффициента, учитывающего краевой эффект

$$\frac{C2}{C0 \cdot 10^{-12}} = 1 \quad \text{мм}^2$$

$$K2 := 1.3 - 0.06 \cdot \frac{C2}{C0 \cdot 10^{-12}} = 1.24$$

Определение площади верхней обкладки

$$S2 := \left(\frac{C2}{C0 \cdot 10^{-12}} \right) \cdot K2 = 1.24 \quad \text{мм}^2$$

Форма обкладок перекрещивающиеся полоски квадратной формы $Kf := 1$

Размеры верхней обкладки конденсатора

$$Lv2 := \sqrt{S2} = 1.114 \quad \text{мм}$$

$$Bv2 := \sqrt{S2} = 1.114 \quad \text{мм}$$

$$Lv2 := 1.1 = 1.1 \quad \text{мм}$$

$$Bv2 := 1.1 = 1.1 \quad \text{мм}$$

Размеры нижней обкладки конденсатора, с учетом допусков на перекрытие

$$Ln2 := Lv2 + 2q = 1.5 \quad \text{мм}$$

$$Bn2 := Lv2 + 2q = 1.5 \quad \text{мм}$$

Размеры диэлектрика

$$Ld2 := Ln2 + 2 \cdot f = 1.7 \quad \text{мм}$$

$$Bd2 := Ln2 + 2 \cdot f = 1.7 \quad \text{мм}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Чертежи и спецификация слоев подложки ГИС

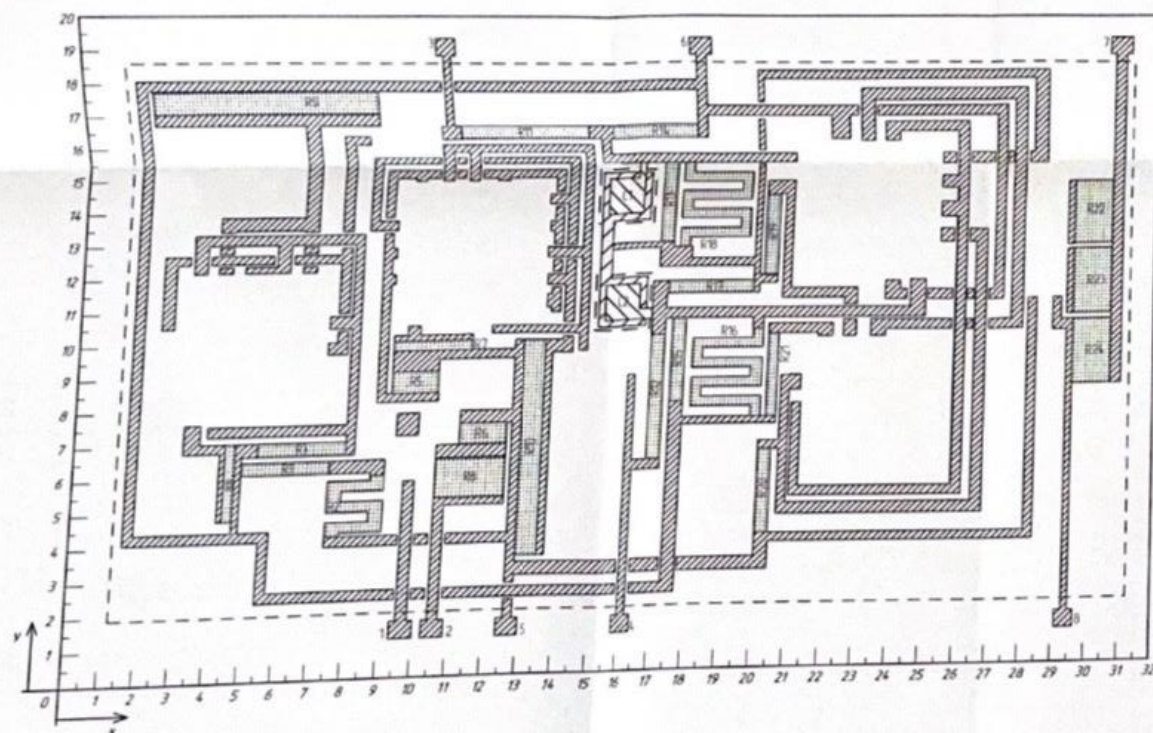
					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A2			ПГУ2.110304.009 СБ	Сборочный чертеж		
		A4			ПГУ2.110304.009 И2	Инструкция по настройке платы		
						<u>Сборочные единицы</u>		
		A2			ПГУ2.110304.009 СБ	Плата		
						<u>Материалы</u>		
				5	48-1-763-84 ТУ	Проволока Зл999.9		
				6		Клей ЭД-5 ГОСТ 10587-84		
					6-21-14-90 ТУ	Лак УР-231, В2		
						<u>Детали</u>		
				1	АЕЯР.431410.245 ТУ	Транзисторная сборка 198НТ6БН4	2	
				2	аА0.339.569 ТУ	Кремниевый транзистор 2Т3130Г-5	6	
				3	аА0.339.582 ТУ	Диод 2Д706АС-5	2	
		<div style="text-align: right; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">ПГУ2. 110304. 009</div> <div style="text-align: center; font-size: 1.5em; font-weight: bold; margin-top: 10px;">Плата</div> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 5px;">спецификация</div>						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
	Разраб.	Кондрашева	М.С.	10.06.04			1	2
	Проб.	Вареник	А.В.	10.06.04				
	Н.контр.	Рыжова	А.В.	10.06.04				
	Утв.					гр.20ПД1		

Копировал

Формат А4

[illegible]



Специфик обозначения слоя	Наименование слоя	Материалы слоя				Плотность, кг/м³	
		Нормативный код	ГОСТ, ГОСТ Р	Дополнительные характеристики	Минимум		
	Рельеф	Слой РТ-4(20)	ГОСТ 24777-79	-	$\rho \geq 0.01 \text{ г/см}^3$	Полнотелый	2
	Полнотелый конструктивный и защитный слой бетона	Слой РТ-4(20)	ГОСТ 24777-79	1	$\rho \leq 0.1 \text{ г/см}^3$	Полнотелый конструктивный и защитный слой бетона	3
		Слой РТ-4(20)	ГОСТ 24777-79	2			
		Слой РТ-4(20)	ГОСТ 24777-79	3			
	Армирование	Армирование (связи)	ГОСТ 24777-79	-	$\rho \geq 0.002 \text{ г/см}^3$	Армирование (связи)	4
	Защитный слой бетона	Армирование (связи)	ГОСТ 24777-79	-	$\rho \leq 0.1 \text{ г/см}^3$	Защитный слой бетона	5
	Защитный слой	Защитный слой (связи)	ГОСТ 24777-79	-	$\rho \geq 0.002 \text{ г/см}^3$	Защитный слой	6

1. *Размеры для справки.
2. Значения в столбе вычитаются по координатам, приведенным на соответствующих листах. Координаты даны в масштабе чертежа.
3. Характеристики отдельных слоев приведены в табл.1
4. Координаты отдельных слоев приведены в таблицах 2-7.
5. Нюмера контактных площадок и обозначения элементов показаны условно и соответствуют схеме электрических принципиальных.

					ПР42. 110304. 009		
					Плата		
Имя	Фамилия	№ докум.	Подпись	Дата	Имя	Фамилия	Место
Писарев	Александрович	1/4	10.10				10.10
Прот	Владимир	1/4	10.10				
Имя					Имя	Фамилия	Место
Т. Кисель	Т. Кисель	1/4	10.10				
Имя	Фамилия				Сумма (750-1-2-06) (7500-4343102) 75		
Имя					Группа 20121		

Вид на резистивный слой

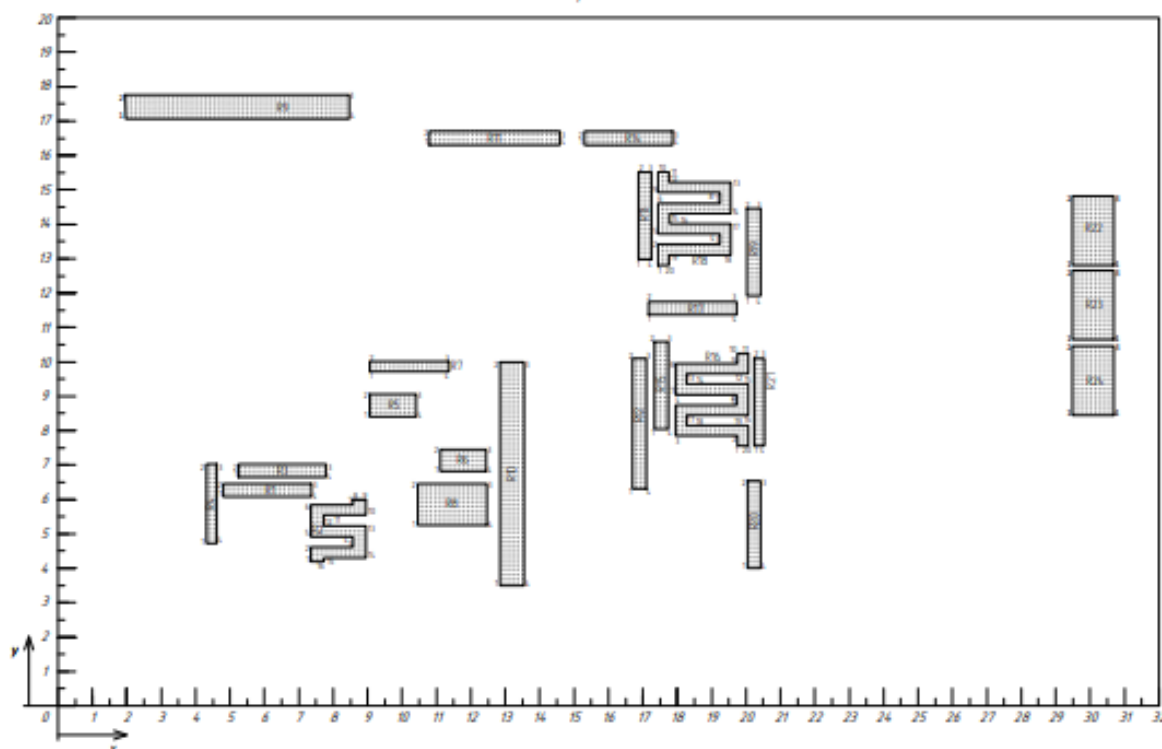
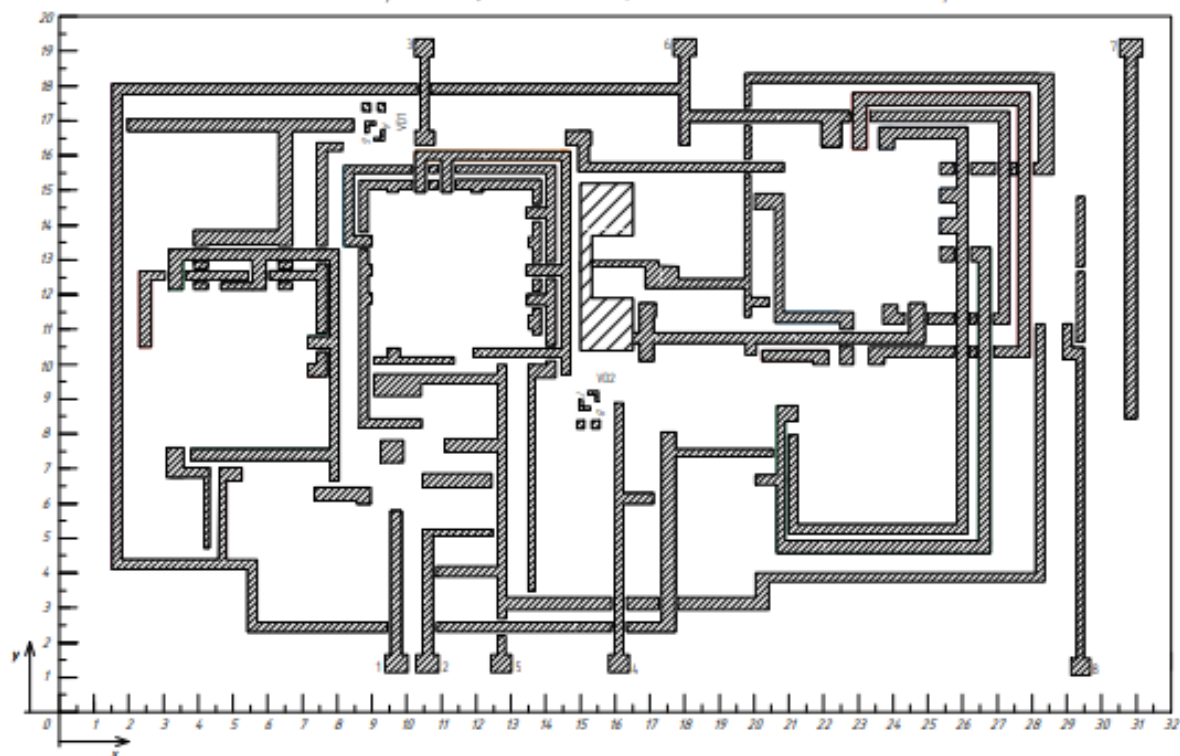


Таблица 2

Обозначение элемента	Номер беремки	Координаты, мм		Обозначение элемента	Номер беремки	Координаты, мм	
		x	y			x	y
R1	1	48	60	R13	1	168	130
	2	48	64		2	168	154
	3	72	64		3	172	154
	4	72	60		4	172	130
R2	1	715	90	R14	1	153	163
	2	715	90		2	153	167
	3	86	775		3	177	167
	4	12	86		4	177	163
	5	13	715	R15	1	1715	805
	6	14	715		2	1715	1045
	7	15	86		3	1775	1045
	8	16	86		4	1775	805
R3	1	52	665	R16	1	198	201
	2	52	705		2	198	201
	3	76	705		3	1795	183
	4	76	665		4	1795	183
R4	1	43	475		5	198	201
	2	43	705		6	198	201
	3	46	705		7	1795	183
	4	46	475		8	1795	183
R5	1	905	845		9	198	201
	2	905	905		10	198	201
	3	104	905	R17	1	1725	1115
	4	104	845		2	1725	1115
R6	1	111	685		3	1965	1115
	2	111	745		4	1965	1115
	3	123	745	R18	1	1745	1775
	4	123	685		2	1745	1775
R7	1	905	97		3	1925	1955
	2	905	100		4	1925	1955
	3	1135	100		5	1745	1775
	4	1135	97		6	1745	1775
R8	1	1045	525		7	1925	1955
	2	1045	645		8	1925	1955
	3	1245	645		9	1745	1775
	4	1245	525		10	1745	1775
R9	1	195	1705	R19	1	200	119
	2	195	1775		2	200	143
	3	855	1775		3	204	143
	4	855	1705		4	204	119
R10	1	1085	35	R20	1	200	40
	2	1085	101		2	200	64
	3	1355	101		3	204	64
	4	1355	35		4	204	40
R11	1	108	163	R21	1	2025	755
	2	108	167		2	2025	995
	3	144	167		3	2053	995
	4	144	163		4	2053	755
R12	1	167	63	R22	1	295	128
	2	167	99		2	295	148
	3	171	99		3	307	148
	4	171	63		4	307	128
R23	1	295	1265	R23	1	295	1265
	2	295	1265		2	295	1265
	3	307	1265		3	307	1265

Вид на слой с проводниками, контактными площадками и нижними обкладками конденсатора



Мас	Автом	МР	Автом	Результ	Дата
-----	-------	----	-------	---------	------

ПЧ 110304.009

Вид на слой дисплея

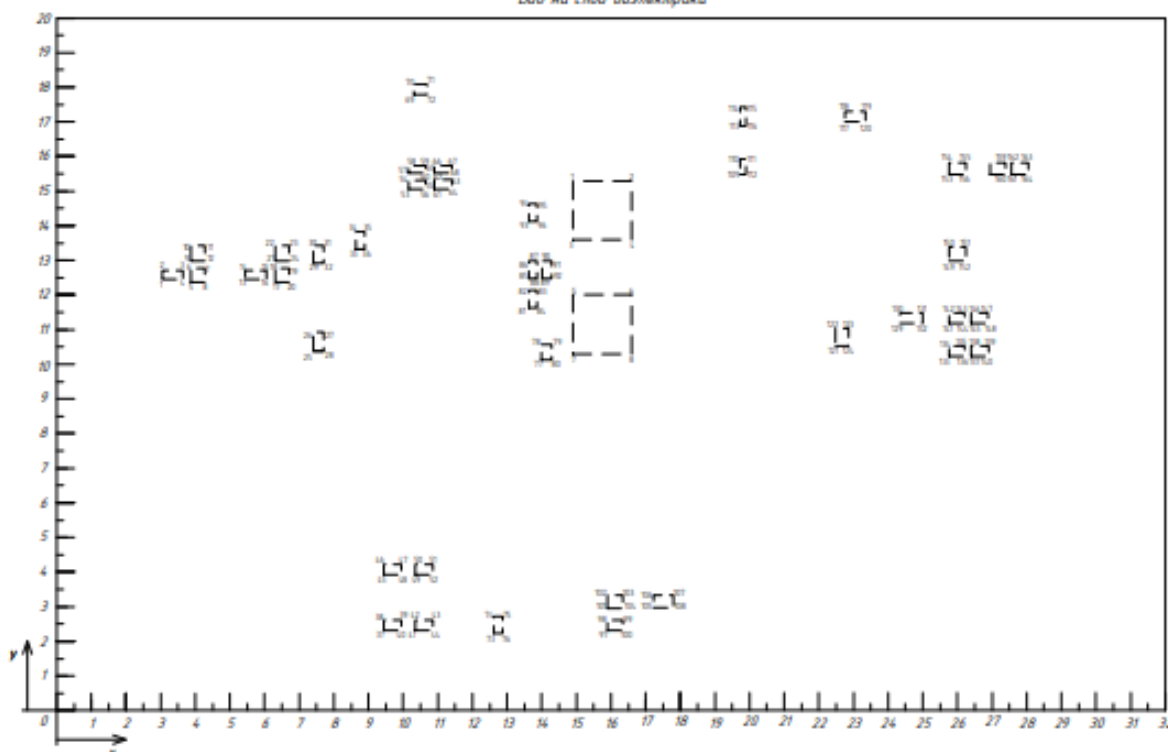


Таблица 3

Номер Вывода	Координата, см	Номер Вывода	Координата, см	Номер Вывода	Координата, см	Номер Вывода	Координата, см
1	805 125	42	805 25	83	199 121	84	2285 85
2	805 127	43	885 26	86	199 126	95	2315 805
3	865 127	44	885 23	85	186 125	96	2315 865
4	865 125	45	865 29	86	186 1295	97	2315 865
5	89 1215	46	865 42	87	199 1295	98	2315 805
6	89 1275	47	895 42	88	199 1265	99	2415 895
7	43 1275	48	895 39	89	805 125	100	2415 865
8	43 1215	49	805 39	90	805 1295	101	250 865
9	89 1295	50	8056 42	91	843 1295	102	250 895
10	89 126	51	885 42	92	843 1265	103	2575 102
11	43 126	52	885 39	93	186 843	104	2575 895
12	43 1295	53	805 805	94	186 846	105	262 895
13	845 125	54	805 863	95	199 846	106	262 895
14	845 127	55	865 863	96	199 843	107	264 895
15	805 127	56	865 805	97	89 23	108	264 895
16	805 125	57	805 85	98	89 26	109	269 895
17	43 1215	58	805 87	99	815 26	110	269 895
18	43 1275	59	865 87	100	815 23	111	2575 895
19	67 1275	60	865 85	101	89 295	112	2575 865
20	67 1215	61	809 805	102	89 31	113	262 865
21	43 1295	62	809 863	103	815 31	114	262 895
22	43 126	63	86 863	104	815 295	115	264 895
23	67 126	64	86 805	105	112 295	116	264 865
24	67 1295	65	809 85	106	112 31	117	269 865
25	74 805	66	809 87	107	178 31	118	269 895
26	74 89	67	86 86	108	295 89	119	2575 295
27	77 89	68	86 85	109	843 89	120	2575 1115
28	77 805	69	803 815	110	89 89	121	2625 1115
29	74 129	70	803 805	111	89 89	122	2625 895
30	74 126	71	803 805	112	89 843	123	2575 865
31	77 126	72	803 815	113	89 865	124	2575 86
32	77 129	73	806 22	114	89 86	125	2625 86
33	86 113	74	806 27	115	89 176	126	2625 865
34	86 118	75	809 27	116	89 865	127	2695 865
35	89 118	76	809 22	117	2215 110	128	2695 86
36	89 113	77	840 80	118	2215 1125	129	274 86
37	845 21	78	840 805	119	2315 1125	130	274 865
38	845 26	79	843 805	120	2315 110	131	2755 865
39	845 26	80	843 80	121	225 86	132	2755 86
40	895 21	81	846 86	122	225 84	133	2805 86
41	805 21	82	846 87	123	2285 110	134	2805 865

Таблица 4

Номер Вывода	Координата, см
1	843
2	86
3	86
4	86
5	843
6	86
7	843
8	86

Вид на слой с верхними обкладками конденсатора

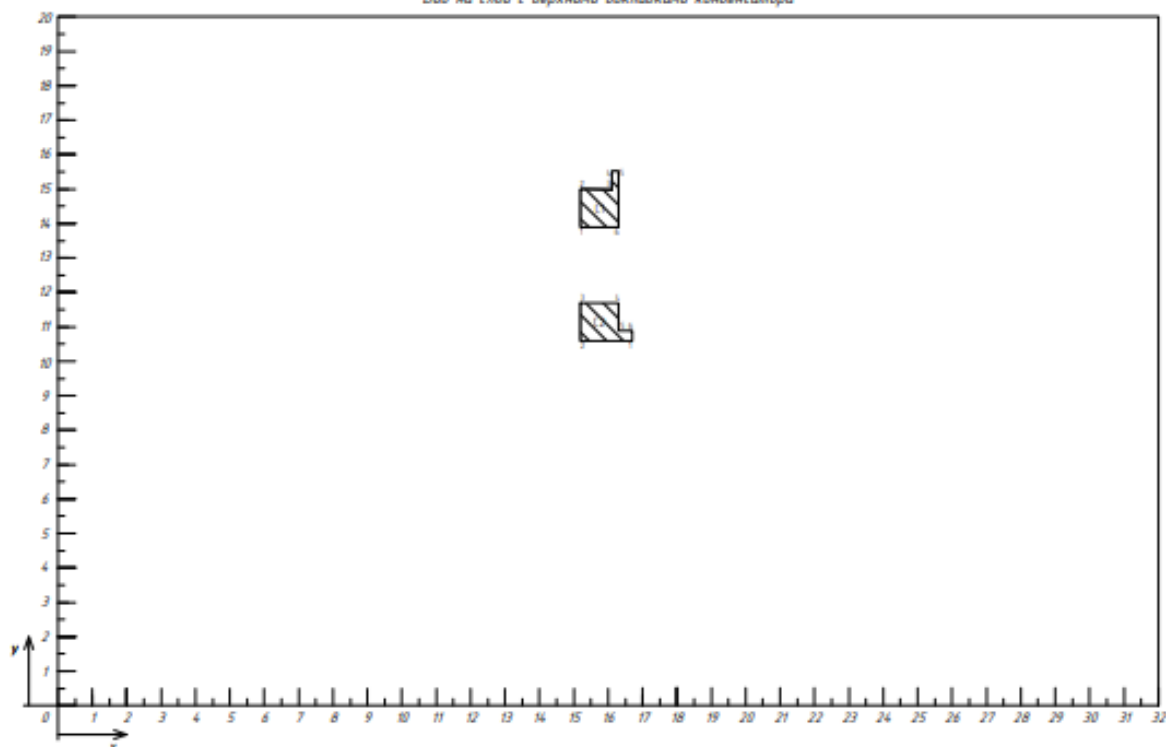


Таблица 5

Обозначение элемента	Номер вершины	Координаты, мм	
		x	y
C1	1	15,2	139
	2	15,2	150
	3	16,1	150
	4	16,1	155,5
	5	16,3	155,5
	6	16,3	139
C2	1	16,7	106
	2	15,2	106
	3	15,2	117
	4	16,3	117
	5	16,3	104
	6	16,7	104

Вид на защитный слой

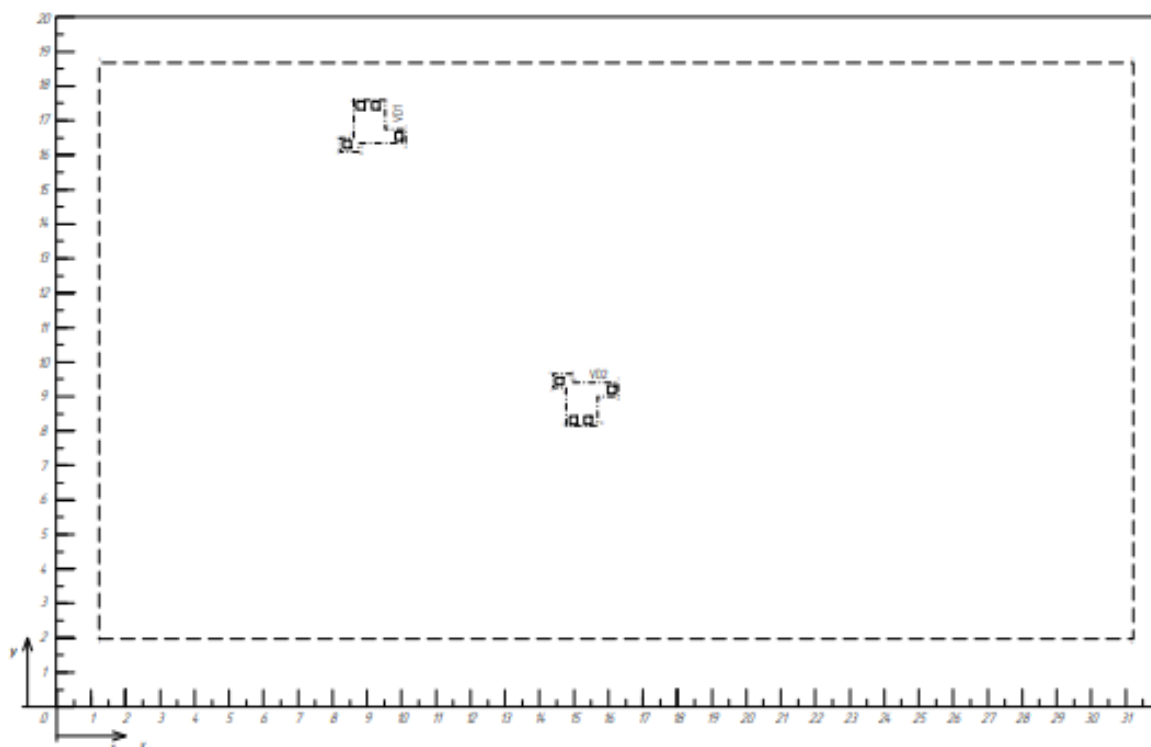


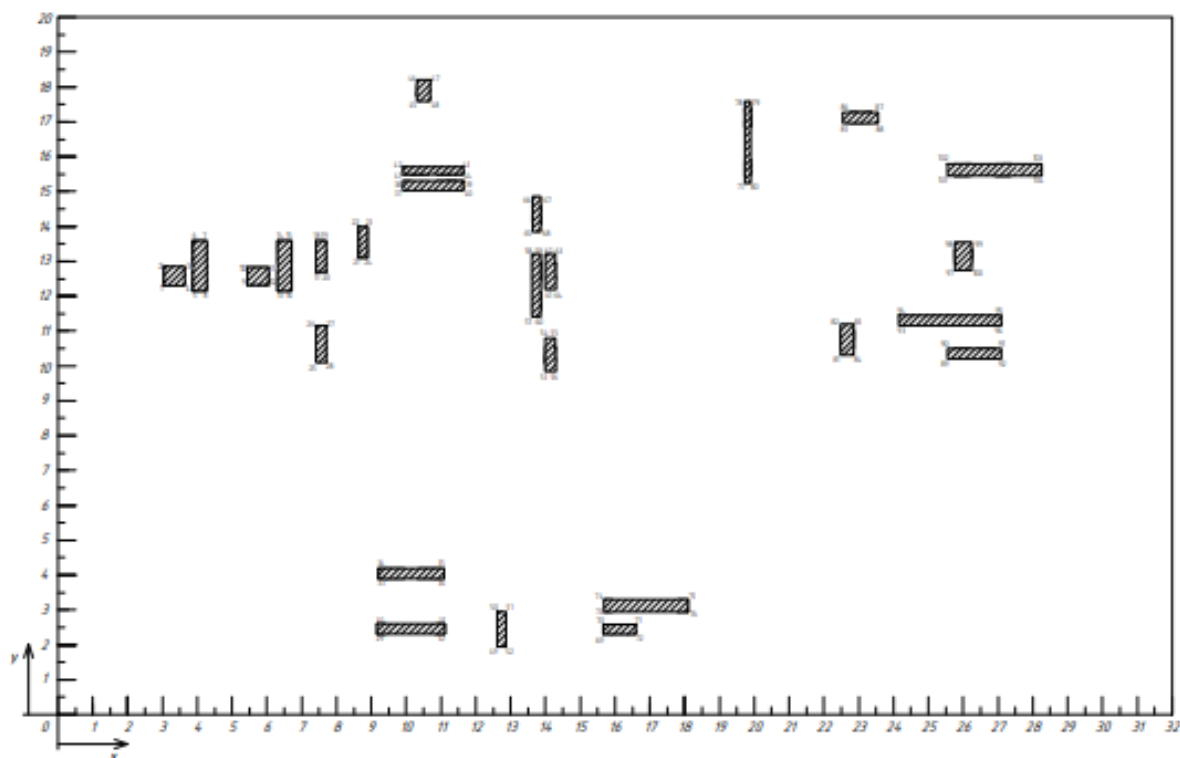
Таблица 6

Обозначение элемента	Номер детали	Координаты, мм			
		x	y	z	h
V01	1	6	82	95	161
	2	7	82	101	165
	3	8	86	101	165
	4	9	96	875	176
	5	10	95	875	176
V02	1	6	948	945	815
	2	7	948	963	925
	3	8	944	963	925
	4	9	944	957	965
	5	10	945	957	965
	1	12	12	20	
	2	12	12	187	
	3	312	12	187	
	4	312	20	20	

Имя	Лист	№ документа	Дата

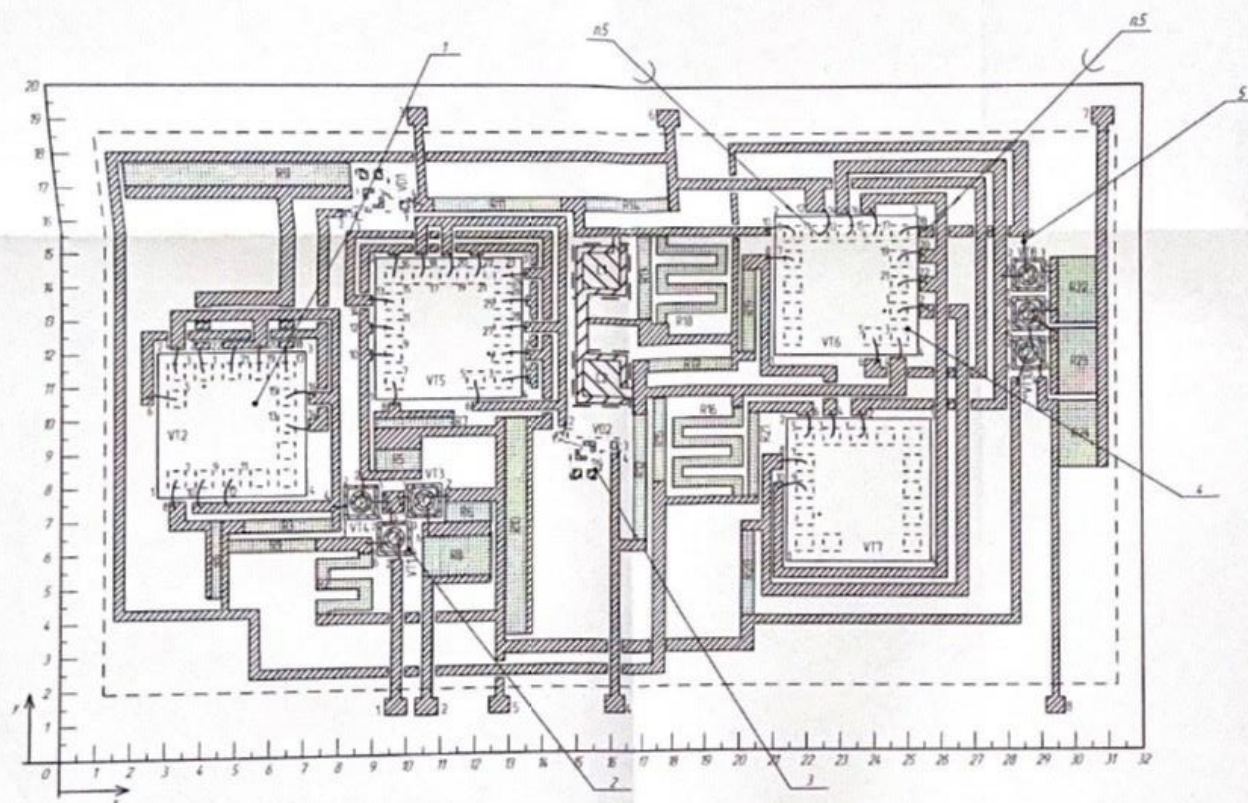
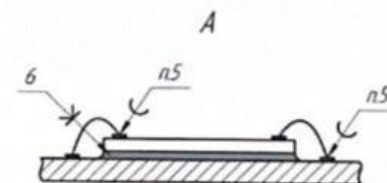
№42. 110304. 009

Вид на слой с перемычкой



Ταβουλιά 7

Hromi Sezonsa	Kaspilacina, m		Hromi Sezonsa	Kaspilacina, m		Hromi Sezonsa	Kaspilacina, m		Hromi Sezonsa	Kaspilacina, m	
	A	B		A	B		A	B		A	B
1	363	363	21	371	371,5	33	360	363,5	39	399	399
2	363	363,5	26	371	371	34	360	368	40	399	397,5
3	363	363	31	371,5	371,5	35	361	368	41	399,5	397,5
4	363	363	36	371,5	371,5	36	361	368,5	42	399,5	397,5
5	39	371,5	31	371	371	37	356	361	43	398,5	397
6	371	371	36	371	371	38	356	361	44	398,5	397
7	371	371	41	371,5	371,5	39	356,5	362	45	398,5	397,5
8	371	371,5	34	372	372	40	356,5	362	46	398,5	397,5
9	343,5	371,5	36	371	371	42	361	362	47	398,5	397,5
10	343,5	371,5	46	371	371	43	360	362	48	398,5	397,5
11	360,5	371,5	37	399	380,5	43	361	362	49	398,5	397,5
12	360,5	371,5	38	399	383	44	361	362	50	398,5	397,5
13	363	371,5	46	371,5	383	45	356	365	51	398,5	397,5
14	363	371,5	46	371,5	380,5	46	356	365	52	398,5	397,5
15	363	371,5	47	399	382	47	356,5	365,5	53	398,5	397,5
16	367	371,5	42	399	387	48	356,5	365,5	54	398,5	397,5
17	363	371	43	371,5	387	49	360,5	371	55	398,5	397,5
18	363	371	44	371,5	382	50	360,5	371	56	398,5	397,5
19	371	371	45	383	376	51	362	376	57	397,5	397,5
20	371	371	46	383	382	52	362	371	58	397,5	397,5
21	383,5	371	47	383	382	53	361	371,5	59	397,5	397,5
22	383,5	371	48	383	376	54	361	371	60	397,5	397,5
23	383	371	49	386	385	55	361	371	61	397,5	397,5
24	383	371	50	386	391,5	56	361	371,5	62	397,5	397,5
25	383	371	51	383,5	391,5	57	361	371,5	63	397,5	397,5
26	383	371,5	52	383,5	385	58	361	371	64	397,5	397,5



1. *Примеры для справок:
2. Монтаж элементов паллиа Т. 2, 3, 4 вести по виду А с помощью клея коллоидного отвердевания на основе смолы 3В-5 ГОСТ 10587-84.
3. После монтажа покрыть плату лаком УР-23Т, БЗ ТУ 6-21-14-90 при этом контактные площадки 1-8 защитить от тока.
4. В пайкалы Т. 2, 3 и 4 проведены координаты расположения навесных компонентов на плате, а также координаты их сооси.
5. Точка сварки

[illegible]

Таблица 1

Обозначение элемента	Номер начала соединения	Координата, мм		Номер конца соединения	Координата, мм	
		х	у		х	у
VT2	1	41	194,5	2	41	122
	3	33	194,5	4	33	122
	5	33	106,5	6	25	106,5
	7	33	82,5	8	33	74
	9	41	82,5	10	41	74
	11	49	82,5	12	49	74
	13	65	98,5	14	72,5	98,5
	15	65	106,5	16	72,5	106,5
	17	65	194,5	18	65	122
	19	57	194,5	20	57	122
VT1	21	49	194,5	22	49	122
	1	97	61,5	2	97	56,5
	3	94	68,5	4	94	72,5
	5	94	62,5	6	89	62,5
VT3	1	106	76	2	102	76
	3	106	73	4	106	67,5
	5	100,5	76	6	98	76
VT4	1	87	76	2	87	83
	3	82	74	4	79	74
	5	88,5	74	6	94	74
VT5	1	128	119	2	136	119
	3	128	111	4	136	111
	5	120	111	6	120	103,5
	7	96	111	8	96	103,5
	9	96	119	10	89	119
	11	96	127	12	89	127
	13	96	135	14	89	135
	15	96	143	16	96	151
	17	104	143	18	104	151
	19	102	143	20	102	151
	21	120	143	22	120	151
	23	128	143	24	136	143
	25	128	135	26	136	135
	27	128	127	28	136	127
VT6	1	247	137,5	2	255	137,5
	3	247	127,5	4	247	116
	5	239	127,5	6	239	116
	7	235	147,5	8	207	147,5
	9	235	156	10	207	156
	11	223	156	12	223	164
	13	237	156	14	237	164
	15	239	156	16	239	164
	17	247	156	18	255	156
	19	247	147,5	20	255	147,5
	21	247	140	22	255	140
	1	235	91,5	2	235	101
	3	227	91,5	4	227	101
	5	219	91,5	6	219	101
VT7	7	219	85,5	8	211	85,5
	9	219	77,5	10	211	77,5
VT8	1	285	143	2	285	156
	3	290,5	143	4	294	143
	5	284	143	6	278	143
VT9	1	287	132	2	294	132
	3	287	126,5	4	287	121
	5	287	128,5	6	294	125
VT10	1	285	118	2	282	110
	3	290,5	118	4	290,5	110
	5	287	121	6	287	126,5

Таблица 2

Обозначение элемента	Номер вершин	Координата, мм	
		х	у
VT1	1	91	59
	2	91	69
	3	101	69
	4	101	59
VT3	1	100,5	70
	2	100,5	80
	3	110,5	80
	4	110,5	70
VT4	1	81,5	70
	2	81,5	80
	3	91,5	80
	4	91,5	70
VT8	1	281,5	137,5
	2	281,5	147,5
	3	291,5	147,5
	4	291,5	137,5
VT9	1	281,5	126
	2	281,5	136
	3	291,5	136
	4	291,5	126
VT10	1	281,5	114
	2	281,5	124
	3	291,5	124
	4	291,5	114

Таблица 3

Обозначение элемента	Начало точки сварки	Координата, мм		Конец точки сварки	Координата, мм	
		х	у		х	у
V01	1	146	94	2	146	98
	3	161,5	91,5	4	161,5	88
	1	84,5	162,5	2	80,5	162,5
V02	3	99,5	165	4	104	165

Таблица 4

Обозначение элемента	Номер вершин	Координата, мм	
		х	у
VT2	1	27,5	77
	2	27,5	120
	3	70,5	120
	4	70,5	77
VT5	1	91	105,5
	2	91	148,5
	3	134	148,5
	4	134	105,5
VT6	1	210	118
	2	210	161
	3	253	161
	4	253	118
VT7	1	214	56
	2	214	99
	3	257	99
	4	257	56

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

Паспорта компонентов, входящие в состав приемопередатчика на
основе печатной платы

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

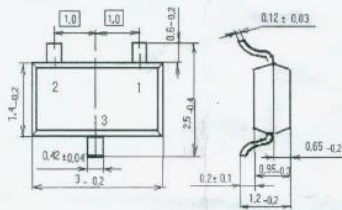


Набор диодов 2Д803АС9

Код ОКП 63 4120 2285

ЭТИКЕТКА дРЗ.363.007 ЭТ

Кремневые эпитаксиально-плавящиеся наборы импульсных диодов типа 2Д803АС9 в миниаторном пластмассовом корпусе, требующие дополнительных мер индивидуальной или общей защиты в составе аппаратуры от воздействия климатических и биологических факторов и предназначенные для работы в аппаратуре специального назначения.



Масса - не более 0,009 г.
Маркировка - кодом "9А".

Схема соединения электродов с выводами



1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1.1 Основные электрические параметры при $t_{amb} = (25 \pm 10) ^\circ C$

Наименование параметра, режим измерения, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма не более
Постоянное прямое напряжение диода, ($I_F = 200 \text{ мА}$), В	U_F	1,1
Постоянный обратный ток диода, ($U_R = 50 \text{ В}$), мкА	I_R	1,0
Заряд восстановления диода, ($I_F = 50 \text{ мА}$, $U_{RM} = 10 \text{ В}$), пКл	Q_r	400
Общая емкость диода, ($U = 0 \text{ В}$), пФ	$C_{об}$	4,0

- 1.2. Содержание драгоценных металлов в одном наборе диодов:
золото - 0,0423 мг, серебро - 0,1441 мг, палладий - 0,0009 мг.
1.3. Содержание цветных металлов и их сплавов в одном наборе диодов:

2. НАДЕЖНОСТЬ

- 2.1. Минимальная наработка - 80000 ч.
Минимальная наработка в облегченных режимах по параметрам I_D , U_{DM} с коэффициентом 0,5 - 120000 часов.
2.2. Срок сохраняемости - 25 лет.
2.3. 95-процентный ресурс наборов диодов в режимах и условиях, допускаемых ТУ, не менее 160000 ч. 95-процентный ресурс наборов диодов в облегченных режимах по параметрам I_D , U_{DM} с коэффициентом 0,5 - 200000ч.

3. ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

Изготовитель гарантирует соответствие качества набора диодов аА0.339.471ТУ при соблюдении потребителем условий и правил хранения, монтажа и эксплуатации, приведенных в ТУ на изделия.

Гарантийный срок - 25 лет с момента изготовления.

Гарантийная наработка - 80000ч. в режимах и условиях, допускаемых ТУ в пределах гарантийного срока.

Время обратного восстановления $t_r < 4$ не гарантируется измерением заряда восстановления.

Устойчивость к воздействию акустического шума гарантируется конструкцией набора диодов.

4. СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМКЕ

Набор диодов 2Д803АС9 соответствует техническим условиям аА0.339.471ТУ и признан годным для эксплуатации.

Приняты по извещению № 09 от 18.04.2016 (дата)

Место для штампа ОТК
ТОТК-330

Место для штампа
Представителя заказчика

Место для штампа «Перепроверка произведена» (дата)

Приняты по извещению № от (дата)

Место для штампа ОТК

Место для штампа
Представителя заказчика

Цена договорная.

5. УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

5.1. Не допускается использование наборов диодов более, чем в двух совмещенных предельных электрических режимах, не рекомендуется также совмещение предельных температурных и электрических режимов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

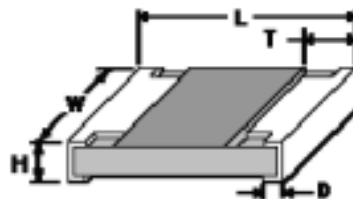
ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ

Лист

100

Основные размеры SMD - компонентов

Резисторы



Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)	T (mm)
0402	1005	1.0±0.1	0.5±0.05	0.35±0.05	0.25±0.1	0.2±0.1
0603	1608	1.6±0.1	0.85±0.1	0.45±0.05	0.3±0.2	0.3±0.2
0805	2012	2.1±0.1	1.3±0.1	0.5±0.05	0.4±0.2	0.4±0.2
1206	3216	3.1±0.1	1.6±0.1	0.55±0.05	0.5±0.25	0.5±0.25
1210	3225	3.1±0.1	2.6±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.5±0.25
2010	5025	5.0±0.1	2.5±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25
2512	6332	6.35±0.1	3.2±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25

Керамические конденсаторы



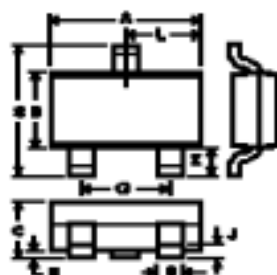
Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)
0402	1005	1.0	0.5	0.55
0603	1608	1.6	0.8	0.9
0805	2012	2.0	1.25	1.3
1206	3216	3.2	1.6	1.5
1210	3225	3.2	2.5	1.7
1812	4532	4.5	3.2	1.7
1825	4564	4.5	6.4	1.7
2220	5650	5.6	5.0	1.8
2225	5664	5.6	6.3	2.0

Танталовые конденсаторы

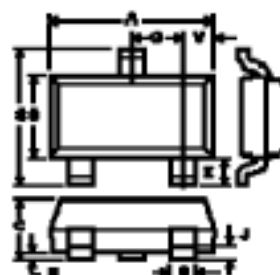


Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)
A 3216	3.2	1.6	1.6	1.2
B 3528	3.5	2.8	1.9	2.2
C 6032	6.0	3.2	2.5	2.2
D 7343	7.3	4.3	2.9	2.4
E 7343H	7.3	4.3	4.1	2.4

Полупроводниковые компоненты



SC59 / SOT346 / SMT3					
Размер	Значение, мм		Размер	Значение, мм	
	мин	макс		мин	макс
A	2.70	3.1	B	1.30	1.70
C	1.0	1.3	D	0.35	0.5
G	1.7	2.10	H	0.013	0.1
J	0.09	0.18	K	0.2	0.6
L	1.25	1.65	S	2.5	3.0

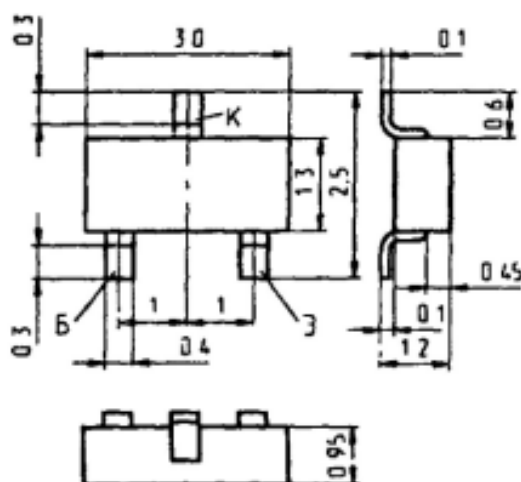


SOT323 / SC70-3 / UMT3					
Размер	Значение, мм		Размер	Значение, мм	
	мин	макс		мин	макс
A	1.80	2.2	B	1.15	1.35
C	0.8	1.1	D	0.1	0.3
G	0.65	BSC	H	0.013	0.100
J	0.1	0.25	K	0.1	0.425
S	2.11	2.48	V	0.45	0.60

**2Т3130А9, 2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Г9, 2Т3130Д9,
2Т3130Е9, КТ3130А9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Г9,
КТ3130Д9, КТ3130Е9, КТ3130Ж9**

Транзисторы кремниевые эпитаксиально-планарные структуры *n-p-n* усилительные. Предназначены для применения во входных каскадах малошумящих низкочастотных усилителей, в высокочастотных усилителях, генераторах, стабилизаторах напряжения герметизированной аппаратуры. Выпускаются в пластмассовом корпусе с жесткими выводами. Тип прибора указывается в этикетке. Транзисторы маркируются цветной меткой на корпусе: КТ3130А9 — красной, КТ3130Б9 — желтой, КТ3130В9 — зеленой, КТ3130Г9 — голубой, КТ3130Д9 — синей, КТ3130Е9 — белой.

2Т3130(А9-Е9) КТ3130(А9-Ж9)



Масса транзистора не более 0,1 г.

Изготовитель — акционерное общество открытого типа «Элекс», г. Александров.

Электрические параметры

Коэффициент шума на $f = 1$ кГц при $U_{КЗ} = 5$ В,
 $I_K = 0,2$ мА, $R_T = 2$ кОм:

2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Г9, не более	10 дБ
2Т3130Д9, 2Т3130Е9, не более	4 дБ
КТ3130Ж9	0,7...2,5...4 дБ

Статический коэффициент передачи тока
в схеме ОЭ при $U_{КБ} = 5$ В, $I_3 = 2$ мА:

$T = +25$ °С:

2Т3130А9, КТ3130А9	100...200...250
2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Д9	200...350...500
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9,	

ООО компания "Электроника и связь"
тел. (473) 277-14-34, 277-35-34
www.eandc.ru

КТ3130Е9	400...650...1000
КТ3130Ж9	100...500
$T = +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менее:	
2Т3130А9, КТ3130А9	100
2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Д9	200
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9	400
$T = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$:	
2Т3130А9, КТ3130А9	25...250
2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Д9	50...500
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9	100...1000
Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме ОЭ при $U_{кб} = 5\text{ В}$, $I_b = 10\text{ мА}$:	
2Т3130А9, 2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130А9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Д9	150*...400*... 450* МГц
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9	300*...400*... 550* МГц
КТ3130Ж9, не менее	150* МГц
Граничное напряжение при $I_b = 10\text{ мА}$, не менее:	
2Т3130А9, 2Т3130Б9, КТ3130А9, КТ3130Б9	30* В
2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130В9, КТ3130Д9	20* В
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9	15* В
КТ3130Ж9	25* В
Емкость коллекторного перехода при $U_{кб} = 5\text{ В}$, не более	
	12* пФ
Обратный ток коллектора при $U_{кб} = U_{кб, \text{макс}}$, не более	
	0,1 мкА

Предельные эксплуатационные данные

Постоянное напряжение коллектор—база:

2Т3130А9, 2Т3130Б9, КТ3130А9, КТ3130Б9	50 В
2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130В9, КТ3130Д9, КТ3130Ж9	30 В
2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9	20 В

Постоянное напряжение коллектор—эмиттер

при $R_{\text{кз}} = 10 \text{ кОм}$:

2Т3130А9, 2Т3130Б9, КТ3130А9, КТ3130Б9 40 В

КТ3130Ж9 25 В

2Т3130В9, 2Т3130Д9, КТ3130В9, КТ3130Д9 20 В

2Т3130Г9, 2Т3130Е9, КТ3130Г9, КТ3130Е9 15 В

Постоянное напряжение эмиттер—база 5 В

Постоянный ток коллектора 100 мА

Постоянная рассеиваемая мощность коллектора¹:

$T = -60...+25 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

2Т3130А9, 2Т3130Б9, 2Т3130В9,
2Т3130Г9, 2Т3130Д9, 2Т3130Е9 200 мВт

КТ3130А9, КТ3130Б9, КТ3130В9,
КТ3130Г9, КТ3130Д9, КТ3130Е9,
КТ3130Ж9 100 мВт

$T = +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

2Т3130А9, 2Т3130Б9, 2Т3130В9,
2Т3130Г9, 2Т3130Д9, 2Т3130Е9 80 мВт

КТ3130А9, КТ3130Б9, КТ3130В9,
КТ3130Г9, КТ3130Д9, КТ3130Е9,
КТ3130Ж9 40 мВт

Температура р-п перехода $+125 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Тепловое сопротивление переход—среда:

2Т3130А9, 2Т3130Б9, 2Т3130В9, 2Т3130Г9,
2Т3130Д9, 2Т3130Е9 $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/мВт}$

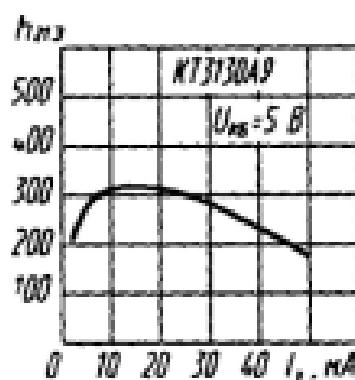
КТ3130А9, КТ3130Б9, КТ3130В9, КТ3130Г9,
КТ3130Д9, КТ3130Е9, КТ3130Ж9 $1 \text{ }^{\circ}\text{C/мВт}$

Температура окружающей среды $-60...+85 \text{ }^{\circ}\text{C}$

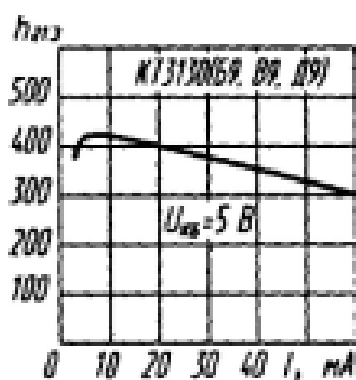
При T от $+25$ до $+85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора уменьшается линейно.

Пайку выводов рекомендуется проводить с применением лудящих паст и припоев на расстоянии не менее $0,15 \text{ мм}$ от корпуса транзистора, время пайки не более 4 с , температура пайки не более $+265 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

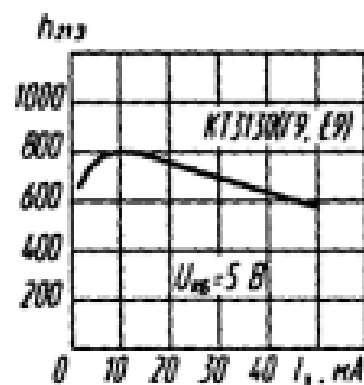
Зависимости электрических параметров от режимов транзисторов 2Т3130(А9—Е9) аналогичны зависимостям КТ3130(А9—Е9).



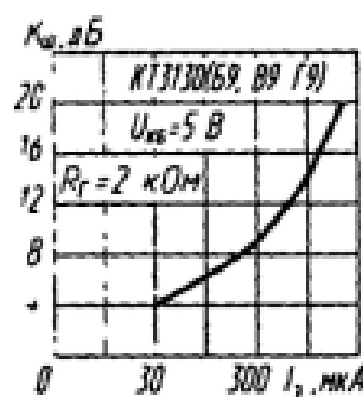
Зависимость статического коэффициента передачи тока от тока эмиттера



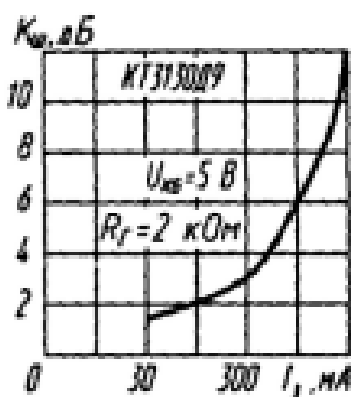
Зависимость статического коэффициента передачи тока от тока эмиттера



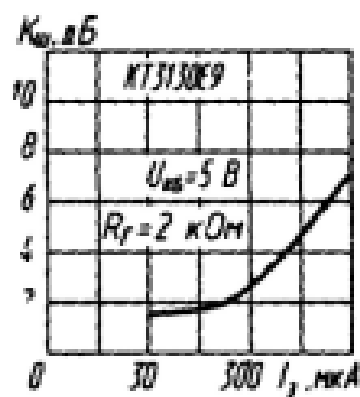
Зависимость статического коэффициента передачи тока от тока эмиттера



Зависимость коэффициента шума от тока эмиттера



Зависимость коэффициента шума от тока эмиттера



Зависимость коэффициента шума от тока эмиттера

СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМКЕ

Микросхемы интегральные 198НТ6АТВК, 198НТ6БТВК, 198НТ6АТ1ВК, 198НТ6БТ1ВК соответствуют техническим условиям АЕЯР.431410.245 ТУ; ОСМ198НТ6АТ1ВК, ОСМ198НТ6БТ1ВК соответствуют техническим условиям АЕЯР.431410.245 ТУ и ПО.070.052 и признаны годными для эксплуатации.

Приняты по извещению № _____ от _____ Дата

Штамп ОТК Штамп представителя заказчика

Пере проверка произведена _____ Дата

Приняты по извещению № _____ от _____ Дата

Штамп ОТК Штамп представителя заказчика

УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

«ВНИМАНИЕ-Соблюдайте меры предосторожности при работе – ПРИБОРЫ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К СТАТИЧЕСКОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ».

Допустимое значение статического потенциала 200 В.



МИКРОСХЕМЫ

198НТ6АТВК, 198НТ6БТВК, 198НТ6АТ1ВК, 198НТ6БТ1ВК, ОСМ198НТ6АТ1ВК, ОСМ198НТ6БТ1ВК

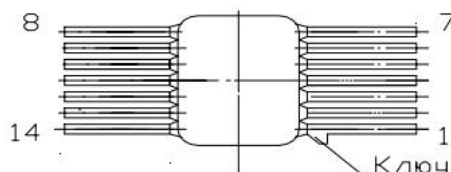
Код ОКП: 6331328375-198НТ6АТВК
6331328385-198НТ6АТ1ВК, ОСМ198НТ6АТ1ВК
6331328415-198НТ6БТВК
6331328425-198НТ6БТ1ВК, ОСМ198НТ6БТ1ВК

ЭТИКЕТКА

САРЛ.431130.031 ЭТ2

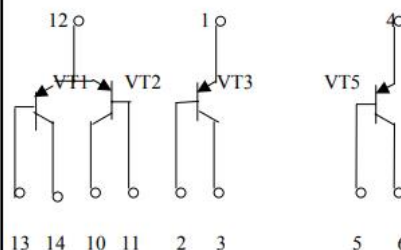
Микросхемы интегральные 198НТ6АТВК, 198НТ6БТВК, 198НТ6АТ1ВК, 198НТ6БТ1ВК, ОСМ198НТ6АТ1ВК, ОСМ198НТ6БТ1ВК – матрица транзисторов PNP типа.

Схема расположения выводов



Нумерация выводов показана условно.
Ключ показывает начало отсчета выводов.
Масса не более 0,8 г.

Схема электрическая принципиальная



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при температуре (25±5) °С

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквен- ное обозна- чение	Норма			
		198НТ6АТВК 198НТ6АТ1ВК ОСМ198НТ6АТ1ВК		198НТ6БТВК 198НТ6БТ1ВК ОСМ198НТ6БТ1ВК	
		не менее	не более	не менее	не более
Статический коэффициент передачи тока, при: $U_{CB} = -3 \text{ В}$; $I_E = 0,5 \text{ мА}$	h_{21E}	30	250	30	250
Обратный ток коллектора, мкА, при: $U_{CB} = -15 \text{ В}$ $U_{CB} = -30 \text{ В}$	I_{CBO}	-0,075 -	- -	- -0,1	- -
Напряжение насыщения база-эмиттер, В, при: $I_C = -3 \text{ мА}$; $I_B = -0,5 \text{ мА}$	$U_{BE \text{ sat}}$	-0,85	-	-0,85	-
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В, при: $I_C = -3 \text{ мА}$; $I_B = -0,5 \text{ мА}$	$U_{CE \text{ sat}}$	-0,5	-	-0,75	-
Разброс статических коэффициентов передачи тока (транзисторов VT1, VT2), %, при: $U_{CB} = -3 \text{ В}$; $I_E = 0,5 \text{ мА}$	Δh_{21E}	-	15	-	15
Разброс напряжения база- эмиттер (транзисторов VT1, VT2), мВ, при: $U_{CB} = -3 \text{ В}$; $\Sigma I_E = 0,5 \text{ мА}$	ΔU_{BE}	-	[5]	-	[5]
Ток утечки, нА	I_L	-	50	-	50
Обратный ток эмиттера, нА	I_{EBO}	-	100	-	100

Содержание драгоценных металлов в 1000 шт.
микросхем:
- золото

Цветных металлов не содержится.

НАДЕЖНОСТЬ

Минимальная наработка (T_{nm}) микросхем в режимах и условиях допускаемых ТУ, - 100000 ч, а в следующих облегченных режимах при напряжениях, токах и мощностях, не превышающих 60 % от предельных значений - 120000 ч.

Гамма-процентный ресурс ($T_{гп}$) микросхем при $\gamma=95\%$ 200000 ч.

Минимальный срок сохраняемости микросхем ($T_{см}$) при их хранении:

- в отапливаемом хранилище или в хранилище с регулируемой влажностью и температурой или местах хранения микросхем, смонтированных в защищенную аппаратуру, или находящихся в защищенном комплекте ЗИП, - 25 лет;
- в неотапливаемом хранилище - 16,5 лет;
- под навесом и на открытой площадке, смонтированными в аппаратуру (в составе незащищенного объекта), или в комплекте ЗИП - 12,5 лет.

Срок сохраняемости исчисляется с даты изготовления, указанной на микросхеме.

ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

Изготовитель гарантирует соответствие поставляемых микросхем всем требованиям АЕЯР.431410.245 ТУ; а микросхем с индексом «ОСМ» - АЕЯР.431410.245 ТУ и ПО.070.052 в течение срока сохраняемости и минимальной наработки в пределах срока сохраняемости при соблюдении потребителем режимов и условий эксплуатации, правил хранения и эксплуатации, а также указаний по применению, установленных ТУ.

Срок гарантии исчисляется с даты изготовления, нанесенной на микросхеме.

СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМКЕ

Микросхемы интегральные 198НТ1АТВК, 198НТ1БТВК, 198НТ1ВТВК, 198НТ1АТ1ВК, 198НТ1БТ1ВК, 198НТ1ВТ1ВК соответствуют техническим условиям АЕЯР.431410.245 ТУ; ОСМ198НТ1АТ1ВК, ОСМ198НТ1БТ1ВК, ОСМ198НТ1ВТ1ВК соответствуют техническим условиям АЕЯР. 431410.245 ТУ и ПО.070.052 и признаны годными для эксплуатации.

Приняты по извещению № _____ от _____ Дата _____

Штамп ОТК Штамп представителя заказчика

Перепроверка произведена _____ Дата _____

Приняты по извещению № _____ от _____ Дата _____

Штамп ОТК Штамп представителя заказчика

УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

«ВНИМАНИЕ-Соблюдайте меры предосторожности при работе – ПРИБОРЫ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К СТАТИЧЕСКОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ».
Допустимое значение статического потенциала 200 В.



МИКРОСХЕМЫ 198НТ1АТВК, 198НТ1БТВК, 198НТ1ВТВК, 198НТ1АТ1ВК, 198НТ1БТ1ВК, 198НТ1ВТ1ВК, ОСМ198НТ1АТ1ВК, ОСМ198НТ1БТ1ВК, ОСМ198НТ1ВТ1ВК

Код ОКП:

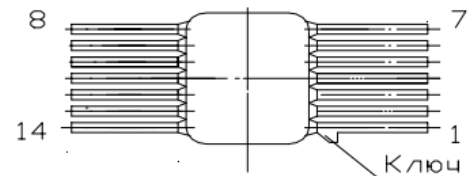
6331328235 – 198НТ1АТВК; 6331328245 – 198НТ1АТ1ВК, ОСМ198НТ1АТ1ВК
6331328275 – 198НТ1БТВК; 6331328285 – 198НТ1БТ1ВК, ОСМ198НТ1БТ1ВК
6331328315 – 198НТ1ВТВК; 6331328325 – 198НТ1ВТ1ВК, ОСМ198НТ1ВТ1ВК

ЭТИКЕТКА

САРЛ.431130.030 ЭТ1

Микросхемы интегральные 198НТ1АТВК, 198НТ1БТВК, 198НТ1ВТВК, 198НТ1АТ1ВК, 198НТ1БТ1ВК, 198НТ1ВТ1ВК, ОСМ198НТ1АТ1ВК, ОСМ198НТ1БТ1ВК, ОСМ198НТ1ВТ1ВК – матрица транзисторов NPN типа.

Схема расположения выводов

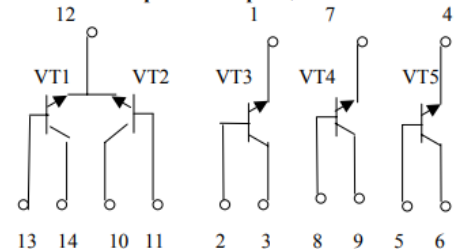


Нумерация выводов показана условно.

Ключ показывает начало отсчета выводов.

Масса не более 0,8 г.

Схема электрическая принципиальная



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при температуре (25±5) °С

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Норма					
		198НТ1АТВК 198НТ1АТ1ВК ОСМ198НТ1АТ1ВК		198НТ1БТВК 198НТ1БТ1ВК ОСМ198НТ1БТ1ВК		198НТ1ВТВК 198НТ1ВТ1ВК ОСМ198НТ1ВТ1ВК	
		не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более
Статический коэффициент передачи тока при: $U_{CB}=3$ В; $I_E=-0,5$ мА при: $U_{CB}=3$ В; $I_E=-0,05$ мА	h_{21E}	30	200	30	200	-	-
Обратный ток эмиттера, нА	$I_{ЕБО}$	-	100	-	100	-	100
Ток утечки, нА	I_L	-	50	-	50	-	50
Обратный ток коллектора, мкА, при: $U_{CB}=6$ В	I_{CBO}	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Напряжение насыщения база-эмиттер, В, при: $I_C=3$ мА; $I_B=0,5$ мА	$U_{BE sat}$	-	0,8	-	0,8	-	0,8
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В, при: $I_C=3$ мА; $I_B=0,5$ мА	$U_{CE sat}$	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Разброс статических коэффициентов передачи тока (транзисторов VT1, VT2), % при: $U_{CB}=3$ В; $I_E=-0,5$ мА	Δh_{21E}	-	15	-	15	-	15
Разброс напряжения база-эмиттер (транзисторов VT1, VT2), мВ, при: $U_{CB}=3$ В; $\Sigma I_E=0,5$ мА	ΔU_{BE}	-	[3]	-	[10]	-	[3]

Содержание драгоценных металлов в 1000 шт. микросхем:
- золото –

Цветных металлов не содержится.

НАДЕЖНОСТЬ

Минимальная наработка (Тм) микросхем в режимах и условиях допускаемых ТУ, - 100000 ч, а в следующих облегченных режимах при напряжениях, токах и мощностях, не превышающих 60 % от предельных значений – 120000 ч.
Гамма-процентный ресурс (Тру) микросхем при $\gamma=95\%$ 200000 ч

Минимальный срок сохраняемости микросхем (Тсм) при их хранении:

- в отапливаемом хранилище или в хранилище с регулируемой влажностью и температурой или местах хранения микросхем, смонтированных в защищенную аппаратуру, или находящихся в защищенном комплекте ЗИП, - 25 лет;
- в неотапливаемом хранилище – 16,5 лет;
- под навесом и на открытой площадке, смонтированными в аппаратуру (в составе незащищенного объекта), или в комплекте ЗИП – 12,5 лет.

Срок сохраняемости исчисляется с даты изготовления, указанной на микросхеме.

ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

Изготовитель гарантирует соответствие поставляемых микросхем всем требованиям АЕЯР.431410.245 ТУ; а микросхем с индексом «ОСМ» - АЕЯР.431410.245 ТУ и ПО.070.052 в течение срока сохраняемости и минимальной наработки в пределах срока сохраняемости при соблюдении потребителем режимов и условий эксплуатации, правил хранения и эксплуатации, а также указаний по применению, установленных ТУ.

Срок гарантии исчисляется с даты изготовления, нанесенной на микросхеме.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

Заявление и протокол для проверки ВКР на оригинальность

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

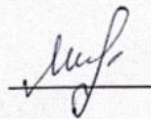
Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Кондрашевой Марии Романовной

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Кондрашева Мария Романовна, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, прошу провести с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «*Интегральный приемопередатчик интерфейса CAN*», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

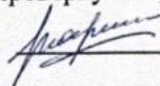
Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета



Кондрашева М.Р.

ВКР представлена на проверку 04.06.2024

Руководитель ВКР



Вареник Ю.А.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной
бакалаврской работы на тему «*Интегральный приемопередатчик интерфейса
CAN*», студента 4 курса Кондрашевой Марии Романовны
направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, профиль
"Микроэлектроника и твердодельная электроника"

Руководитель ВКР Вареник Юрий Александрович





СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ ANTIPLAGIAT.VUZ

Автор работы: Кондрашева Мария Романовна
Самоцитирование
рассчитано для: Кондрашева Мария Романовна
Название работы: Интегральный приемопередатчик интерфейса CAN
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	17.35%	СОВПАДЕНИЯ	17.35%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	81.57%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	81.57%
ЦИТИРОВАНИЯ	1.08%	ЦИТИРОВАНИЯ	1.08%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 10.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 10.06.2024 15:29

Структура
документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: библиография с.68-69, титульный лист с.1, содержание с.3-4, основная часть с.2, 5-68
Диссертации НББ; Публикации РГБ; IEEE; СПС ГАРАНТ: аналитика; ИПС Адилет; Коллекция НБУ; Перефразирования по коллекции IEEE; Библиография; Переводные заимствования*; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Шаблонные фразы; Цитирование; Патенты СССР, РФ, СНГ; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Кольцо вузов; Публикации eLIBRARY; Медицина; Перефразирования по Интернету (EN); СМИ России и СНГ; Сводная коллекция ЭБС; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Перефразирования по Интернету;

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 10.06.2024



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Подпись проверяющего

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(обязательное)

Презентация к ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						112
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет информационных технологий и электроники
Кафедра Нано – и микроэлектроника

Интегральный приемопередатчик интерфейса *CAN*

Студент группы 20ПД1 Кондрашева М.Р.

Руководитель: Вареник Ю.А.

Интегральный приемопередатчик интерфейса CAN

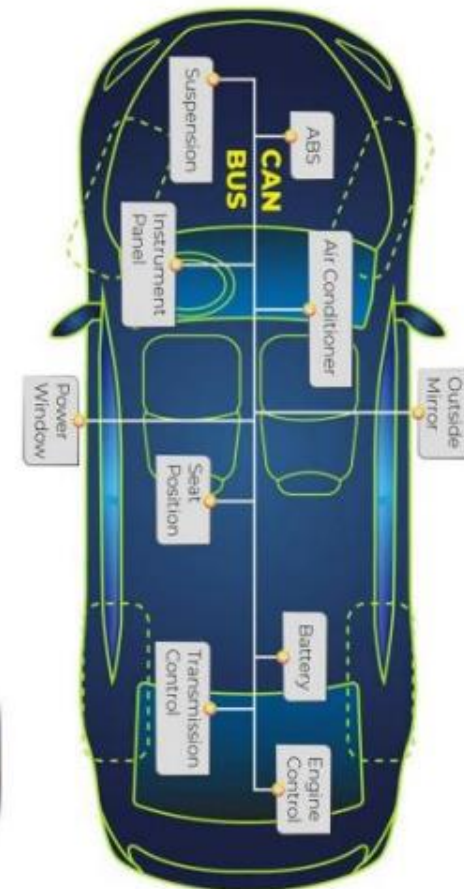
Цель работы: проектирование гибридной интегральной микросхемы приемопередатчика CAN

Задачи:

- проанализировать принцип функционирования сети;
- разработать и реализовать модель схем приемной и передающей частей, а также смоделировать их взаимодействие;
- спроектировать вариант приемопередатчика на основе печатной платы;
- спроектировать гибридную интегральную схему (ГИС) приемопередатчика.



Пример использования сети CAN в бортовой системе автомобиля

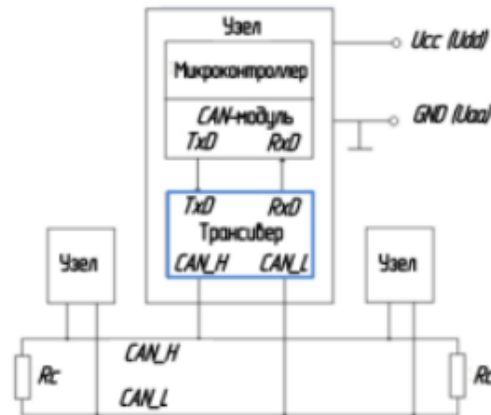


Автомобильная CAN-шина

Принципы работы интегрального приемопередатчика интерфейса CAN

Схематехника сетей CAN

Структура сети CAN



Блок-схема протокола CAN



Уровни сигналов на CAN-шине

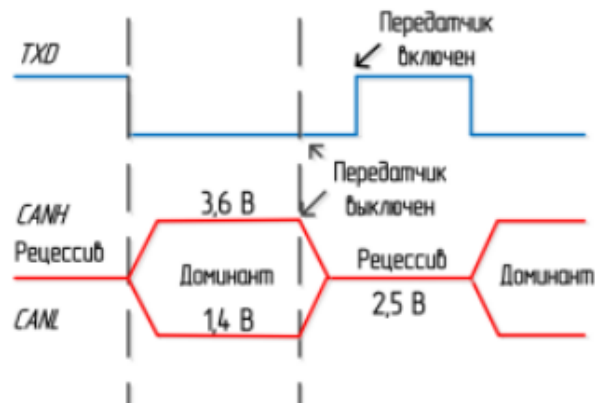
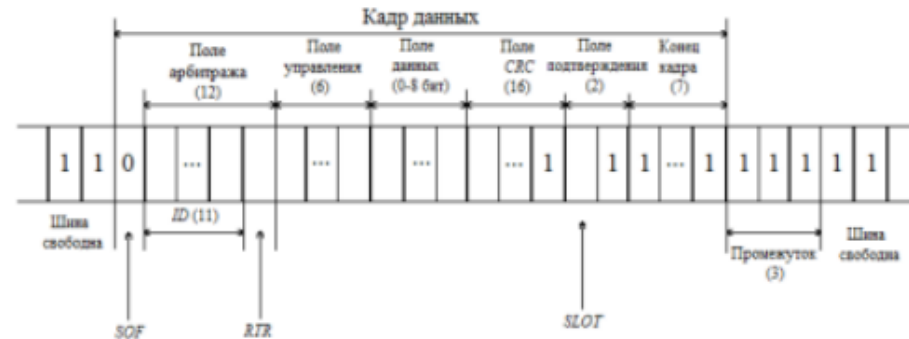
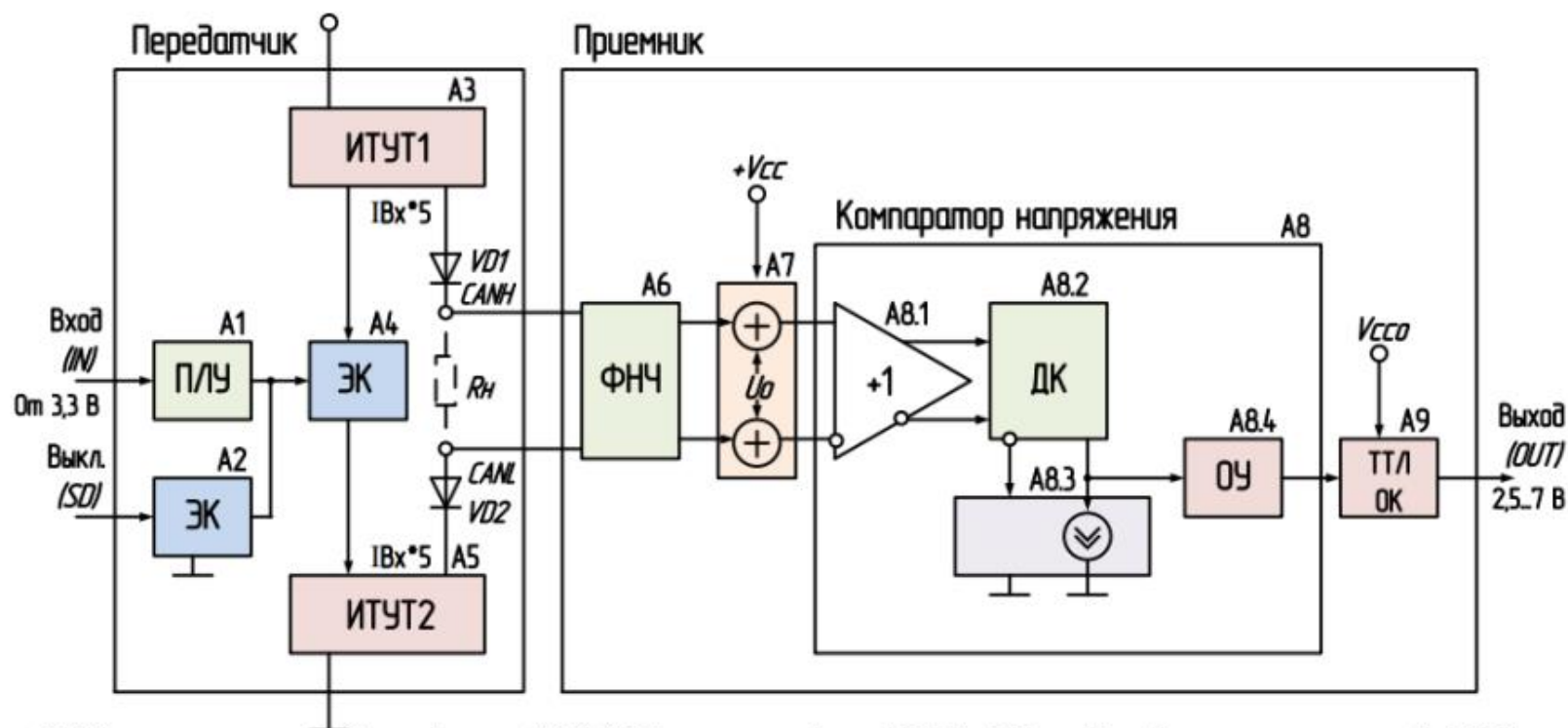


Схема стандартного формата сообщения фрейма данных



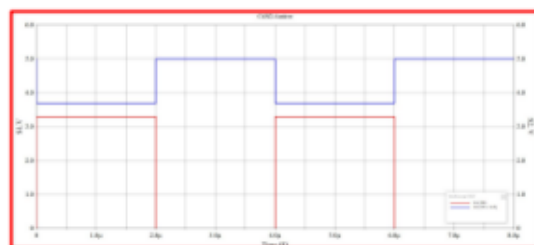
Структурная схема интегрального приемопередатчика интерфейса CAN



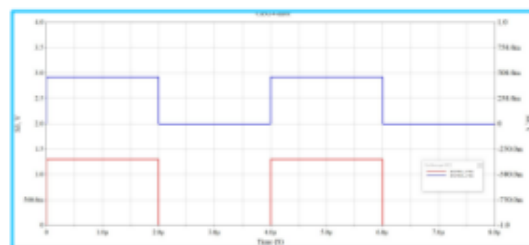
*ИТУТ-источник тока управляемый ток (A3, A5); ЭЛ-электронный ключ (A2,A4); ПЛУ-преобразователь логических уровней (A1); ФНЧ-фильтр нижних частот (A6); Схема смещения (A7); Компаратор напряжения (A8);Подторитель напряжения (A8.1); ДК- дифференциальный каскад (A8.2);Токовое зеркало (A8.3); ОУ-оконечный усилитель (A8.4); ТТЛ ОК- ТТЛ оконечный каскад (A9); R_H -линия связи.

Схема интегрального приемопередатчика интерфейса CAN. Принцип его работы

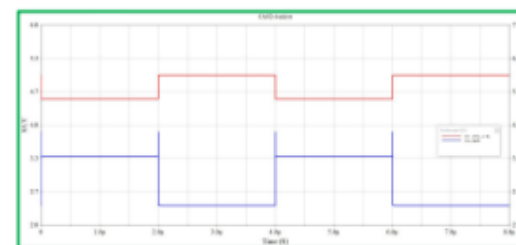
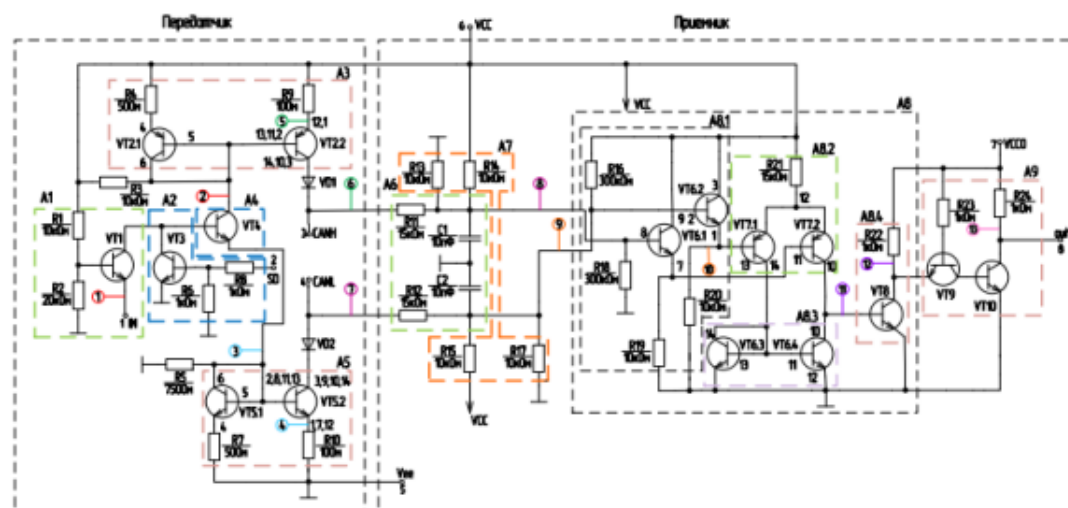
Сигнал №1 и №2



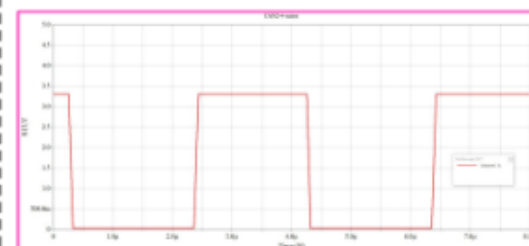
Сигнал №3 и №4



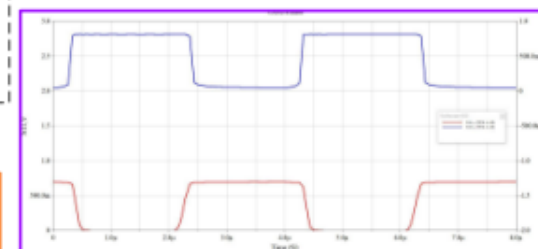
Сигнал №5 и №6



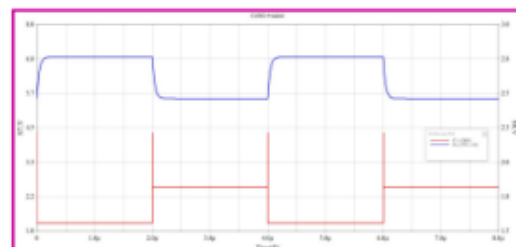
Сигнал №13



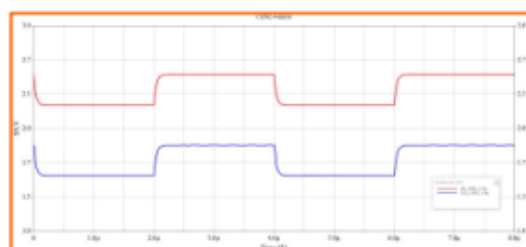
Сигнал №11 и №12



Сигнал №7 и №8

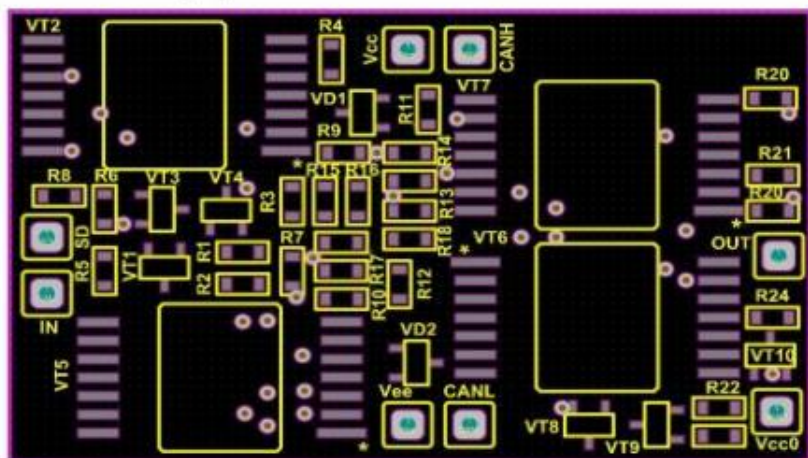


Сигнал №9 и №10

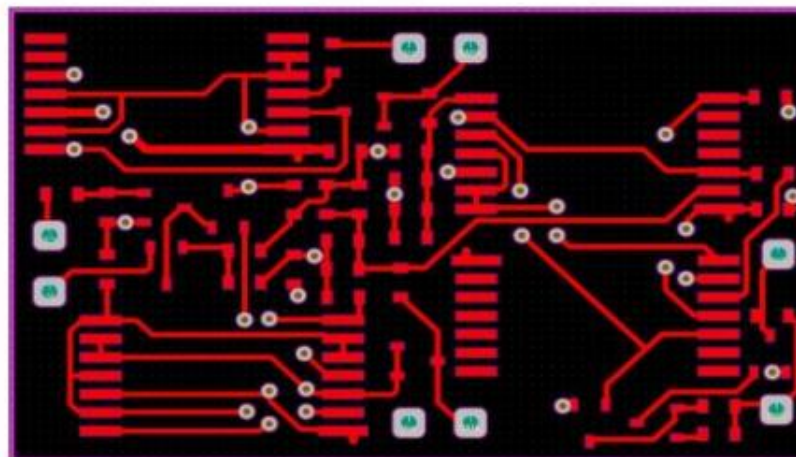


Топология варианта приемопередатчика CAN на основе печатной платы

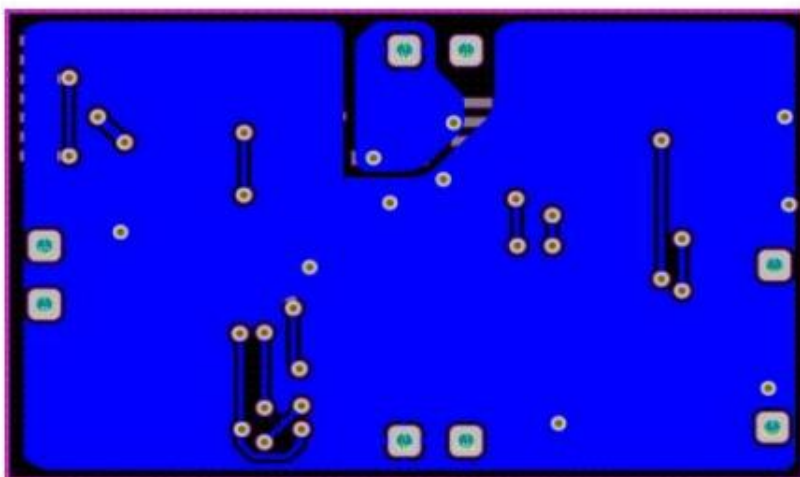
Слой шелкографии



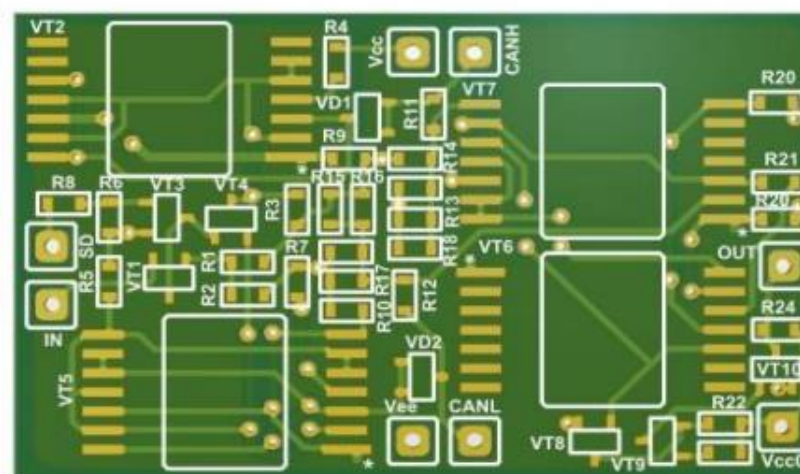
Слой TOP



Слой Bottom



Внешний вид платы (вид сверху)



Габариты печатной платы составляют 49,5*30,5 мм

Структура кристалла транзисторной сборки 198НТ1

Кристалл транзисторной сборки 198НТ1

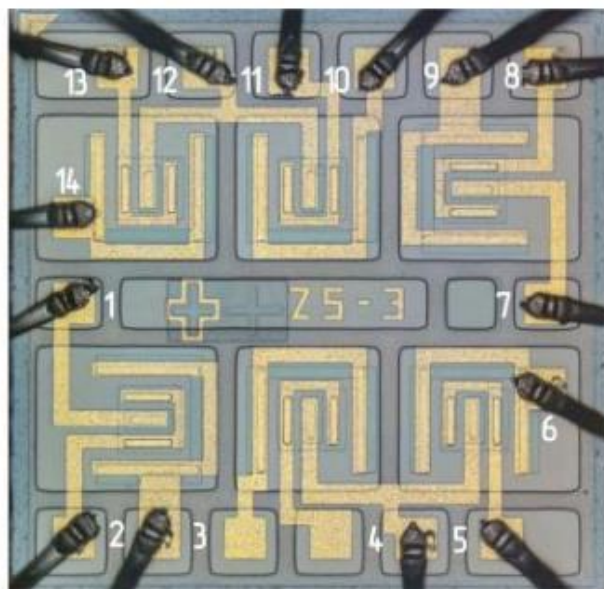
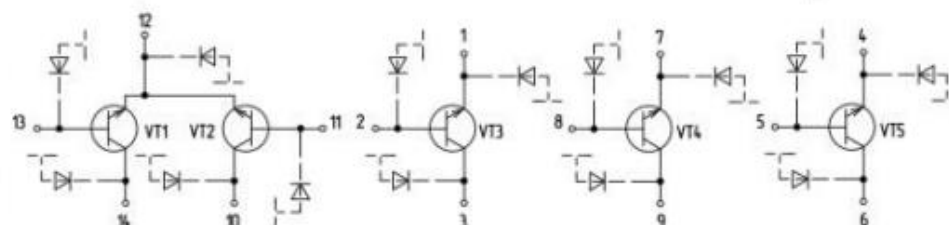
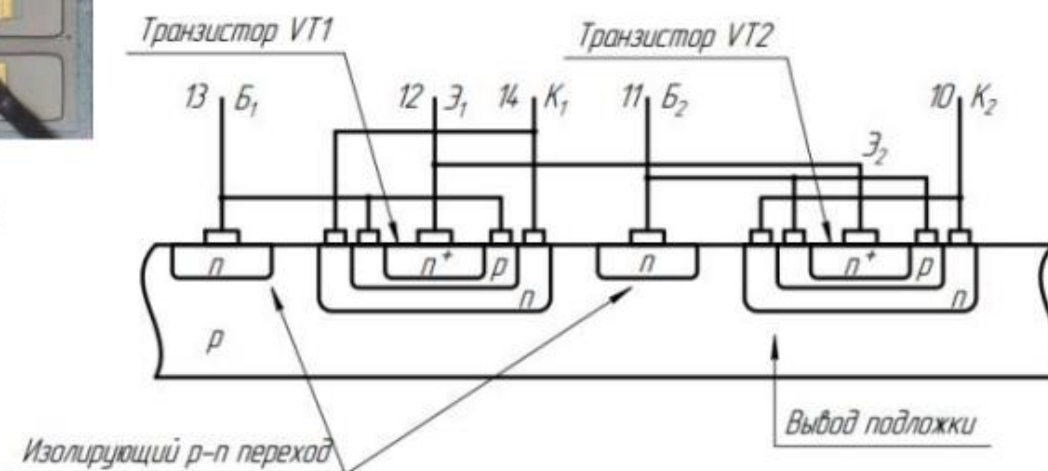


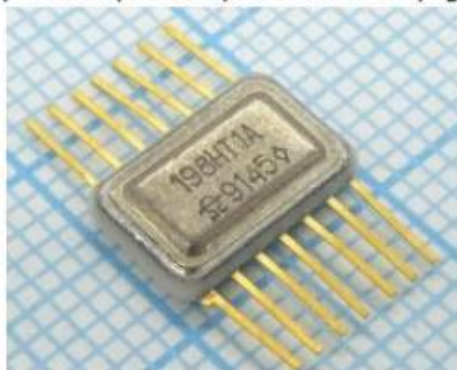
Схема сборки 198НТ1



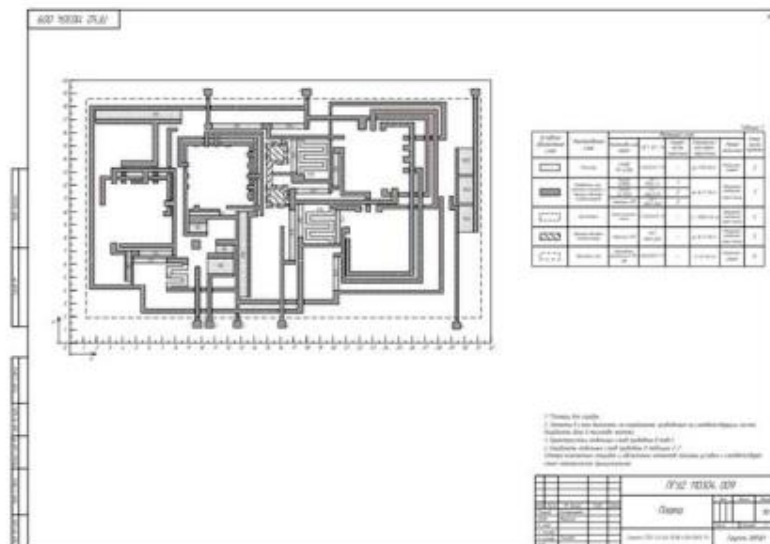
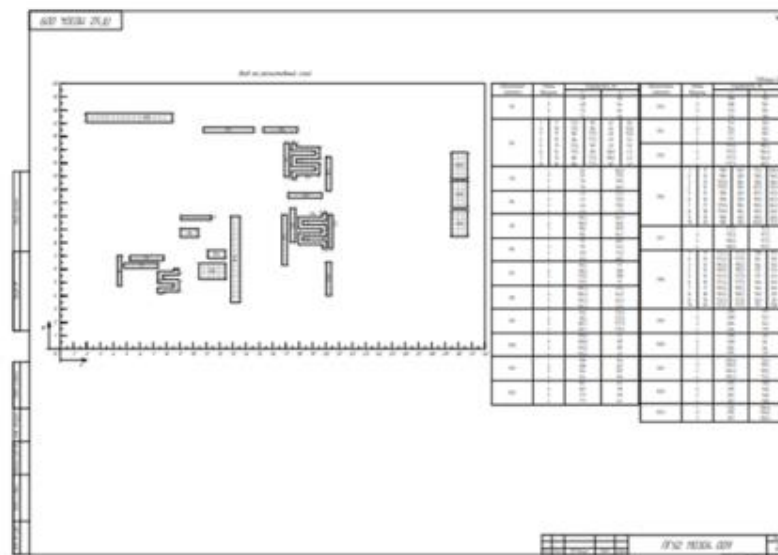
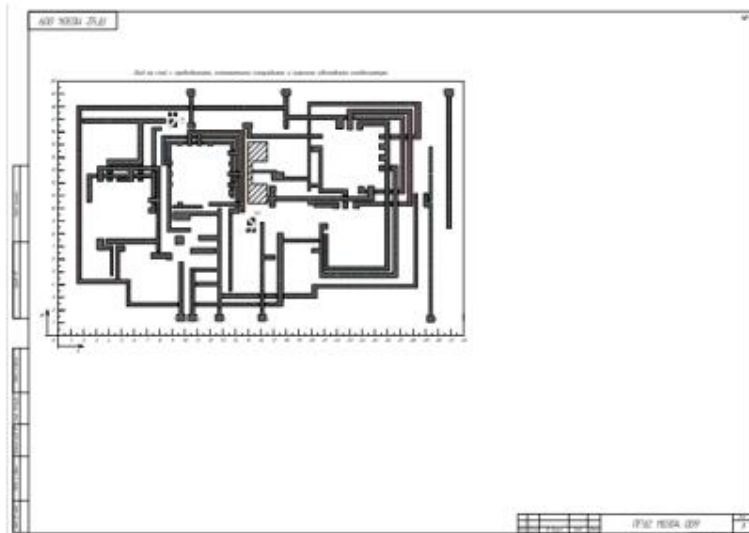
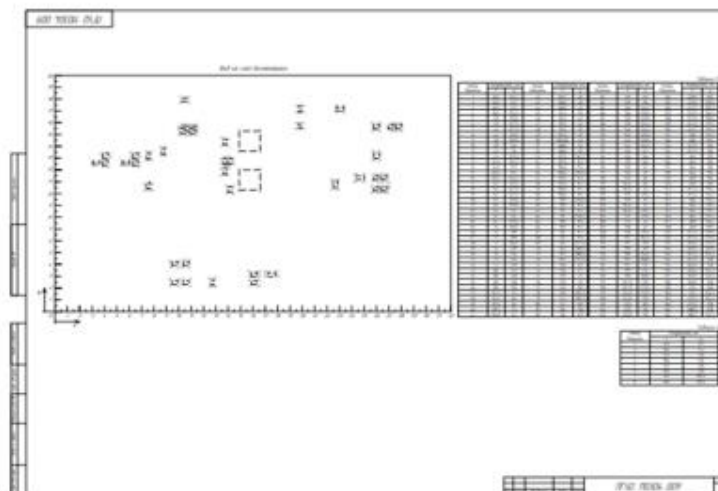
Кристалл транзисторной сборки 198НТ1 в разрезе

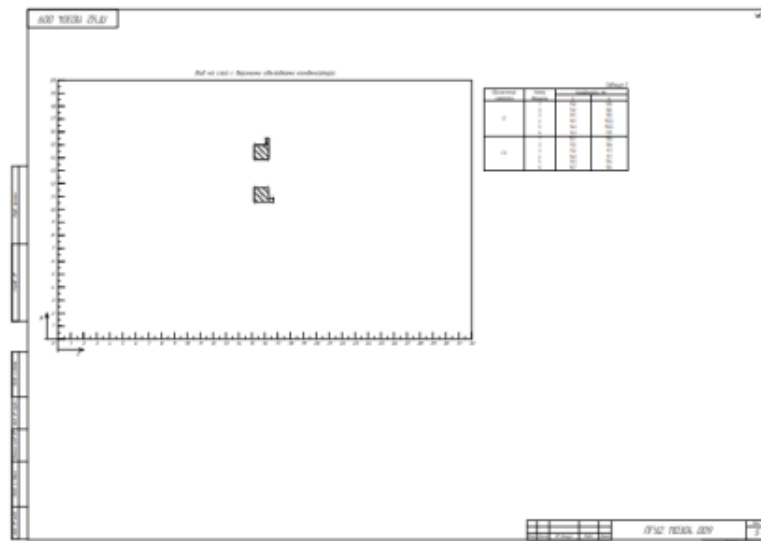
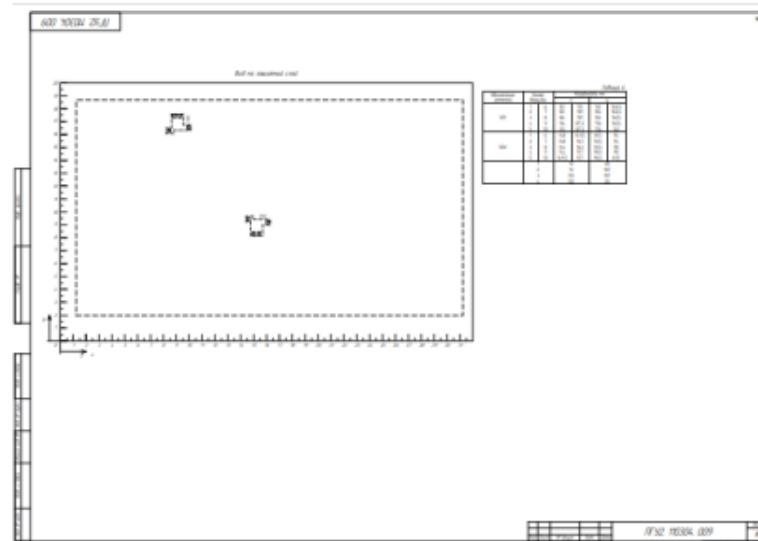


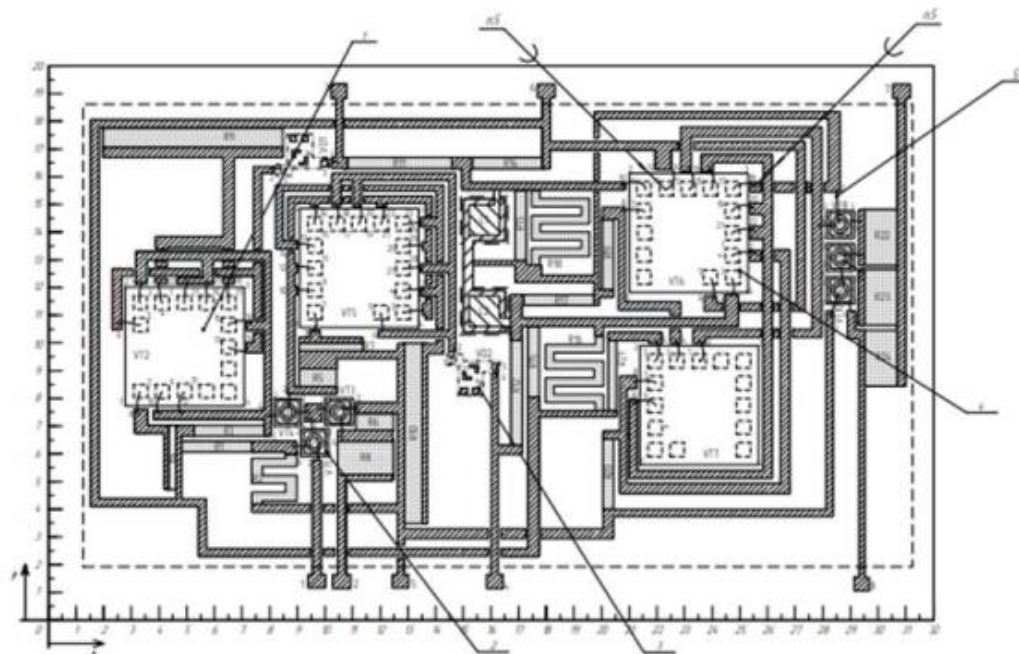
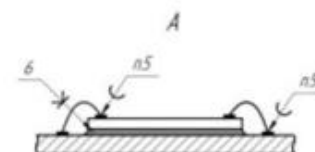
Транзисторная сборка 198НТ1 в корпусе



Плата. Послойные чертежи







- 1 Установки для сборки
- 2 Монтажные элементы платы 1 2 3 4 Вести по виду А с точками или линиями отсчета
- 3 После монтажа покрыть плату лаком ИР-211 БР ТУ 6-21-4-90 при этом контактные площадки 1-8 защитить от лака
- 4 В таблицах 1 2 3 и 4 приведены координаты расположения кабелек компонентов на плате и также координаты их соединения
- 5 Точка сборки

ПГУЗ. 110304. 009 СБ									
Плата									
Сборочный чертеж									
Группа 20181									

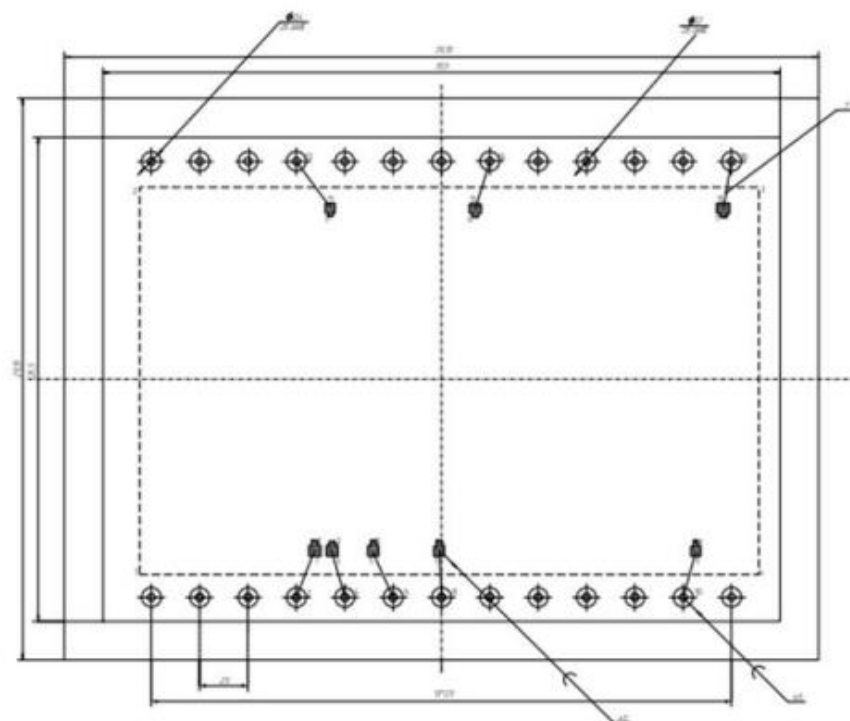
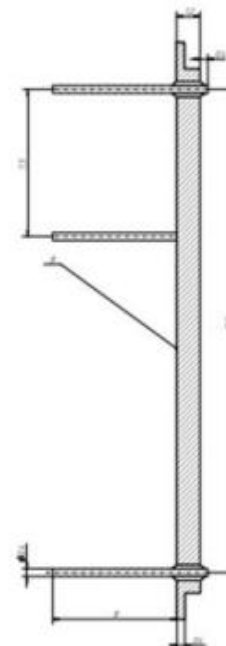


Table 1

Dimension	Value	Unit	Value	Unit
1	1000	mm	1000	mm
2	1000	mm	1000	mm
3	1000	mm	1000	mm
4	1000	mm	1000	mm
5	1000	mm	1000	mm
6	1000	mm	1000	mm

Table 2

Dimension	Value	Unit
1	1000	mm
2	1000	mm
3	1000	mm
4	1000	mm
5	1000	mm
6	1000	mm

1. Top edge
2. Inner frame
3. Outer frame
4. Bottom edge
5. Side edge
6. Corner fastener

IT'S2 113304.009.03	
Project name	IT'S2 113304.009.03
Project number	IT'S2 113304.009.03
Project date	IT'S2 113304.009.03
Project status	IT'S2 113304.009.03
Project location	IT'S2 113304.009.03
Project contact	IT'S2 113304.009.03

Расчет себестоимости и свободной отпускной цены

№	Наименование статьи	Сумма (руб)
1	Сырье и материалы (М)	175,5
2	Комплекующие детали, узлы, покупные полуфабрикаты (ПФ)	1119,36
3	Транспортно-заготовительные расходы ($K_{тз}$)	155,3832
4	Основная заработная плата производственных рабочих ($З_0$)	362,5
5	Дополнительная заработная плата производственных рабочих ($З_д$)	54,375
6	Начисления на заработную плату на соц.страхование (O_{cc})	141,7374
7	Общепроизводственные расходы ($P_{пр}$)	1341,25
8	Цеховая себестоимость изделия ($C_{ц}$)	3350,1026
9	Общехозяйственные расходы ($P_{ох}$)	1087,5
10	Расходы на освоение производства ($P_{ос}$)	66,564
11	Производственная себестоимость ($C_{пр}$)	4504,167
12	Коммерческие расходы ($P_{ком}$)	135,125
13	Полная себестоимость изделия ($C_{п}$)	4639,292

Прибыль от продаж устройства составит:

$$П = 0,25 * C_{п} = 0,25 * 4639,292 = 1159,823 \text{ рублей}$$

Оптовая цена изделия будет равна:

$$C_{опт} = C_{п} + П = 4639,292 + 1159,823 = 5799,115 \text{ рублей}$$

Налог на добавленную стоимость:

$$НДС = 0,18 * C_{опт} = 0,18 * 5799,115 = 1043,8407 \text{ рублей}$$

Итоговая отпускная свободная цена будет составлять:

$$C_{св} = C_{опт} + НДС = 5799,115 + 1043,8407 = 6842,9557 \text{ рублей}$$

Спасибо за внимание!

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу

Кондрашевой Марии Романовны

Тема ВКР: Интегральный приёмопередатчик интерфейса CAN

С апреля по июнь 2024г. студентка группы 20ПД1 Кондрашева М.Р. выполняла выпускную квалификационную работу в ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет». Цель работы состояла в разработке гибридной интегральной схемы приёмопередатчика интерфейса CAN. Тема ВКР, выбранная Марией Романовной, актуальна ввиду широкого применения сетей CAN в системах автоматизации работы электронного оборудования подвижных машин гражданского и специального назначения, а также недостатка отечественных образцов интегральных микросхем-согласователей сети CAN и микроконтроллеров.

За время выполнения ВКР Марией Романовной в соответствии с заданием изучены принципы построения и работы сетей CAN, рассмотрены современные иностранные образцы интегральных микросхем приёмопередатчиков данного интерфейса. В соответствии с заданием на практику Кондрашева М.Р. разработала схему электрическую принципиальную, выполнила имитационное моделирование её работы, спроектировала топологию печатной платы по разработанной электрической схеме приёмопередатчика. В работе были использованы современные компьютерные программы для расчёта, проектирования и моделирования электронных схем: *MathCad*, *SimOne*, *Proteus*, *Altium Designer*. По разработанной электрической схеме Марией Романовной выполнены расчёты тонкоплёночных резисторов и конденсаторов, спроектирован приёмопередатчик интерфейса CAN в гибридном интегральном исполнении, выполнена оценка себестоимости разработанного изделия.

При выполнении ВКР Кондрашева М.Р. проявила себя грамотным специалистом, способным самостоятельно решать сложные технические задачи, продемонстрировала умение работать с современной элементной базой, знание компьютерных технологий и программ автоматизированного проектирования, а также владение математическим аппаратом. Рекомендую Кондрашеву М.Р. к продолжению обучения в магистратуре. Считаю, что ВКР выполнена с оценкой "отлично", а её автор, Кондрашева Мария Романовна, заслуживает присвоения степени бакалавра по направлению 11.03.04 – Электроника и микроэлектроника.

Руководитель ВКР, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Нано- и микроэлектроника»


Ю.А. Вареник