

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.И. Войтович

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Разработка модуля расширения видеографического регистратора  
технологических процессов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-110303.2019.283.00 ПЗ ВКР

Консультант  
начальник отдела перспективных  
разработок  
\_\_\_\_\_ Крахмалев Е.И.  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы  
доцент кафедры КиПР  
\_\_\_\_\_ Ершов А.В.  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы  
студент группы КЭ-460  
\_\_\_\_\_ Шафилов Т.И.  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер  
\_\_\_\_\_ Ершов А.В.  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Шафиков Т.И. Разработка модуля расширения видеографического регистратора технологических процессов – Челябинск: ЮУрГУ, ВШ ЭКН; 2019, 47 с. 10 ил., библиогр. список – 18 наим., 4 прил., 2 листа чертежей ф. А1, 1 лист ф. А2 и 2 листа ф. А3.

В данной выпускной квалификационной работе разработан печатный узел модуля расширения видеографического регистратора технологических процессов «Мультиграф-Сталь» (Модуль расширения ВГР) для предприятия ООО «Теплоприбор-Сенсор». При разработке модуля произведены работы по разработке структурной схемы печатного узла; схемы электрической принципиальной; по выбору элементной базы, соответствующей техническому заданию и схеме электрической принципиальной; выбран класс точности печатного узла; создан комплект конструкторской документации.

В выборе материала платы учитывались такие факторы, как высокая прочность и искробезопасность, а также хорошие электроизоляционными свойствами.

Полностью учтены требования технического задания. Вариант компоновки и соответствующий ему вариант трассировки являются достаточно удачными и одобрены предприятием.

В процессе разработки печатной платы использовались такие программы, Altium Designer 2017, Autodesk AutoCAD 2018.

					<b>110303.2019.460.283.00 ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Шафиков Т.И.			Разработка модуля расширения видеографического регистратора технологических процессов	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Ершов А.В.					2	47
Консул.		Крашмалев Е.И.				ЮУрГУ Кафедра КиПР		
Н. Контр.								
Утверд.		Войтович Н.И.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОБЗОР АНАЛОГИЧНЫХ УСТРОЙСТВ .....	6
1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ .....	13
1.1 Общие принципы работы интерфейса стандарта rs-485.....	13
1.2 Анализ требований, предъявляемых гост 26.010-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные».....	15
1.3 Основной принцип работы модуля. ....	16
1.4 Анализ схемотехнических и конструкторских решений.....	17
2 СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	20
2.1 Разработка и расчет схемы электрической принципиальной.....	20
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ .....	31
3.1 Создание печатного узла.....	31
3.1.1. Составление перечня элементов .....	32
3.1.2. Выбор материалов .....	34
3.1.3. Посадочные места, создание библиотеки .....	35
3.1.4. Размещение элементов и трассировка печатной платы.....	35
3.1.5. Разработка и оформление комплекта конструкторской документации на модуль.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	42
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	47

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

## ВВЕДЕНИЕ

«Мультиграф-Сталь» предназначен для измерения, отображения, хранения и передачи информации от преобразователей термоэлектрических одноразового или многоразового применения: зондов кислорода и первичных преобразовательных приборов измерения температуры, таких как термопары и термометры сопротивления, измерительных приборов физических величин с унифицированными выходными сигналами тока и напряжения по нескольким каналам [1].

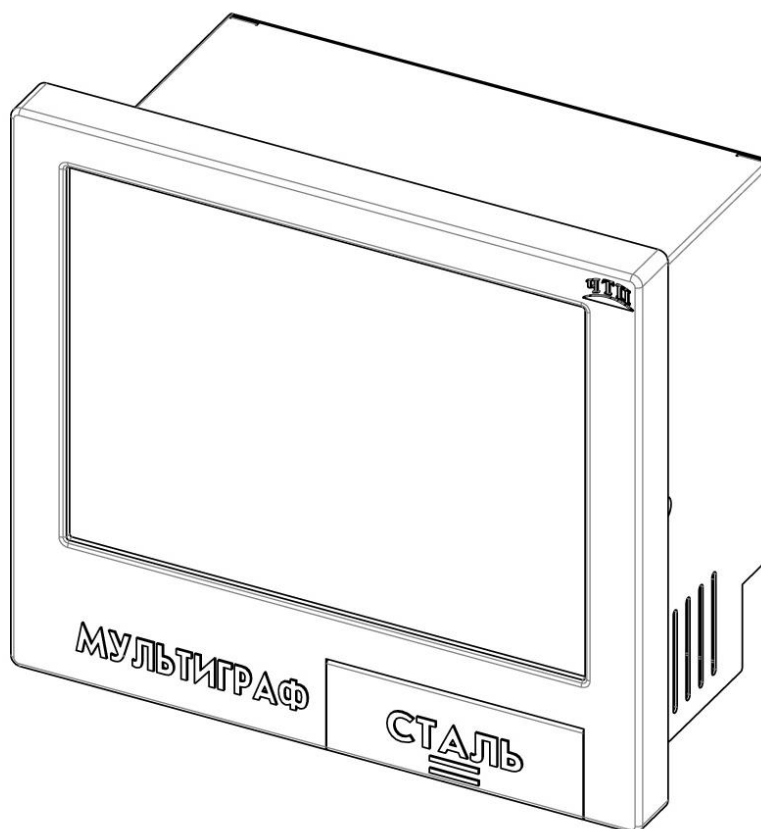


Рисунок 1 – Внешний вид «Мультиграф-Сталь»

Прибор может математически обрабатывать сигналы и функции регулирования технологических процессов, в том числе определять температуры расплава металла, окисленности и расчетных значений массы алюминия, количества углерода.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Устройство содержит в себе различные интерфейсы связи: HART, Modbus RTU/TPC, Ethernet, Profibus DP/PA. Главной функцией прибора является определение расплава металла (определение площадки), кислородосодержания и аналитического расчета количества алюминия и кислорода.

Установка дополнительных модулей расширения повышает возможности прибора. Один из таких модулей подключает к прибору два канала частотного сигнала, передающегося через разъемы 2EDGR-5.08.

Целью данной работы является создание модуля расширения для видеографического регистратора «Мультиграф-Сталь» с возможностью двухканальной передачи частотного сигнала.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

## ОБЗОР АНАЛОГИЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Аналогичные устройства представляют собой видеорегистраторы технологических процессов, в которых применяются аналогичные разрабатываемым нами модулем.

Одним из таких устройств является Memograph M RSG45 от группы компаний Endress+Hauser (Швейцария). Используется в измерениях параметров процессов; окружающей среды и климата; мониторинге-расчете эффективности паровых котлов; обеспечение качества и требуемых параметров производства. Принцип его работы заключается в измерении массы и количества теплоты в воде и пару. Обладает поддержкой стандартных цифровых шин: Modbus, Profibus DP, PROFINET, EtherNet/IP [2].

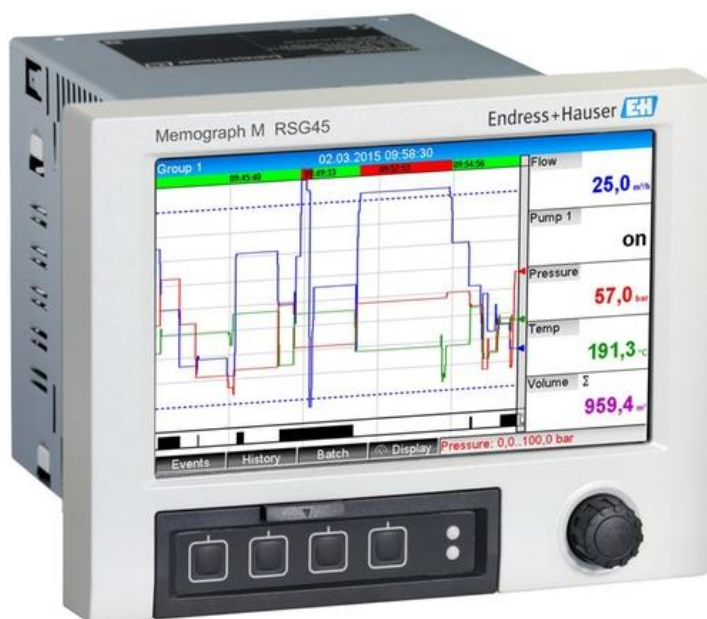


Рисунок 2 – Внешний вид видеорегистратора Memograph M RSG45

Также рассмотрим видеографические регистраторы технологических процессов от компании ЭЛМЕТРО.

Видеографический безбумажный регистратор ЭлМетро-ВиЭР-104К необходим для измерения, регистрации, визуализации и преобразования электрических сигналов от датчиков и приборов: тока и напряжения постоянного

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

тока, сопротивления, термометров сопротивления, термопар, цифровых сигналов (RS-485, CAN, Ethernet), а также вычисления расхода сред [3]. Регистратор имеет экран с сенсорной клавиатурой (емкостного типа), общепромышленное и взрывозащищенное ([Exia] ПС) исполнения. Во взрывозащищенном исполнении все входы имеют взрывозащиту вида "искробезопасная электрическая цепь" с маркировкой [Exia] ПС.



Рисунок 3 – Внешний вид ЭлМетро-ВиЭР-104К

Регистраторы ЭлМетро-ВиЭР-104К предназначены для замены бумажных самописцев и могут выступать как системы сбора и передачи данных в систему управления, так как имеют интерфейсы RS-485 (Modbus RTU), CAN 1.0/2.0 и Ethernet (Modbus TCP). Регистраторы ЭлМетро-ВиЭР-104К выполняют функции регулирования, сигнализации, математической обработки измеряемых параметров. Отображение измеряемых параметров может производиться в виде шкал, чисел,

трендов-шкал, циферблатов и мнемосхем с широким выбором настроек отображения.

Использование мнемосхем техпроцесса намного облегчает понимание информации, особенно в аварийных ситуациях на объекте. Имеется возможность построения распределенных систем сбора и регистрации данных на базе регистратора ЭлМетро-ВиЭР-104К, используя внешние модули ввода вывода ЭлМетро-МВВ. Регистраторы могут использоваться практически во всех отраслях промышленности, в том числе для ответственных и опасных производств:

- металлургия – многоканальные исполнения, конструкция с высокой вандалоустойчивостью (лицевая панель защищена закаленным стеклом 5мм);
- энергетика и машиностроение – одно и двухканальные исполнения (установка на прокатные линии и прочее);
- нефтяные, химические и газовые производства – взрывозащищенное исполнение.

Благодаря расширенным математическим и логическим возможностям, могут выполнять функции схожие с возможностями промышленных контроллеров. Также могут использоваться в качестве вычислителей расхода сред по перепаду давления, корректоров газа (вычисление расхода в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005.

Технические характеристики. Модель ЭлМетро-ВиЭР-104К имеет металлический корпус, на лицевой панели TFT-дисплей диагональю 264 мм (10,4”) и разрешением 800x600 пикселей. Подсветка дисплея – светодиодная. Клавиатура сенсорная (емкостного типа), «нажатие» на кнопку сопровождается свечением светодиода над ней. Многоканальные регистраторы имеют «слотовую» конструкцию. В наличии 6 слотов ввода-вывода, в которые, устанавливаются необходимые платы (платы аналоговых входов, платы токовых выходов и т.д.).

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



Центральный процессор производит опрос всех аналоговых, дискретных и частотно-импульсных входов, выдает команды управления токовыми выходами и выходными реле. Обработанная процессором информация находится во внутренней энергонезависимой памяти и отображается на дисплее. Конструкция регистратора не предусматривает наличие коммутатора. Каждый аналоговый вход имеет свой АЦП. Опрос каналов идет параллельно, т. е. все каналы опрашиваются одновременно. Это обеспечивает высокую надежность и быстродействие – цикл измерения по всем каналам 0,1 с. Встроенные интерфейсы дают возможность обмениваться данными с компьютером или с другими устройствами с интерфейсами.

Максимальное количество математических каналов до 64. Максимальное количество аналоговых каналов можно расширить до 32 при подключении внешних модулей ввода вывода ЭлМетро-МВВ или ЭлМетро-МВВ-02-Ех.

Для обеспечения питания подключаемых датчиков в конфигурацию регистратора может входить:

1) одноканальный источник питания (на плате 1АВ1АЕ1ИП):

- выходное напряжение:  $(24 \pm 2)$  В;
- максимальный выходной ток: 25 мА;
- встроенная защита от КЗ и перегрузки;
- напряжение изоляции: 1500 В (среднеквадратическое значение) ко входу питания: ~ 220В;
- защита от КЗ или перегрузки на выходе.

2) 4-х канальный источник питания:

- изолированных выхода источника питания  $U_{\text{вых}} = (24,0 \pm 2,4)$  В;
- выходной ток – не менее 100 мА на канал;
- амплитуда пульсаций выходного напряжения – не превышает 50 мВ;

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

- электрическая прочность изоляции – 1500 В (среднеквадратическое значение) ко входу питания ~220 В;
- контроль состояния (индикация, запись) КЗ или перегрузки на выходе;
- защита от КЗ или перегрузки на выходе.

Плата источников питания 4ИП может обеспечивать питание до 16-ти датчиков с питанием от токовой петли 4-20 мА, подключенных к регистратору. Плата источников питания ИП является самостоятельным источником питания и работает отдельно от аналоговых входов с каналами питания датчиков АП и АВП.

Энергопотребление. Общепромышленное исполнение:

- от сети переменного однофазного тока частотой 47-63 Гц и напряжением 220 В;
- от сети постоянного тока напряжением 185-340 В (полярность подключения не имеет значения).

Взрывозащищенное исполнение:

- от сети переменного однофазного тока частотой 47...63 Гц и напряжением 176...250 В.

Мощность, потребляемая регистратором от сети питания при номинальном напряжении питания – не более 30 В•А, потребляемый в установившемся режиме от сети ток – не более 140 мА.

Аналогичные нашему модулю функции имеет модуль ввода вывода ЭлМетро-МВВ (МВВ).

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



Рисунок 4 – Внешний вид модуля ввода вывода ЭлМетро-МВВ

Модуль выполняет измерения и преобразования сигналов различных датчиков распределенных систем сбора данных (силы и напряжения постоянного тока, сопротивления, термопар, термопреобразователей сопротивления, пирометров), вычисляет расход сред, а также выполняет сбор и передачу полученной информации в систему управления производственными процессами по интерфейсам RS-485, CAN, Ethernet [4]. Модули ввода вывода могут использоваться как автономно, так и интегрироваться во внешнюю систему управления.

Группа модулей ввода вывода ЭлМетро-МВВ является компонентами для распределенных систем сбора данных и управления. Модули могут соединяться как между собой, так и с внешней системой управления. В сочетании с большим выбором доступных конфигураций это дает возможности построения высокоэффективных и недорогих систем управления производственными процессами, в том числе и распределенных. Наличие открытых протоколов Modbus и CAN позволяет интегрировать МВВ в существующую (или планируемую) на предприятии АСУТП, а это, в свою очередь, обеспечивает оперативный и простой доступ к измерениям, конфигурированию, управлению.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

### Основные функции:

- измерение (сбор данных с аналоговых и дискретных датчиков);
- возможность построения системы сигнализации и управления;
- вычисление расхода сред в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005;
- передача информации на верхний уровень АСУТП, на сервисный ПК или АРМ оператора;
- передача информации с помощью токовых выходов (функция нормирующего преобразователя).

Конфигурации. МВВ имеет несколько вариантов, различающихся сочетанием аналоговых и дискретных входов/выходов, поддержкой передачи питания через Ethernet (PoE), исполнением для взрывобезопасных и взрывоопасных условий.

Помимо того, что в модулях каждый аналоговый вход (АВ и АВП) может являться математическим, для расширения возможностей предусмотрено два дополнительных математических канала. Каждый канал обеспечивает математическую обработку данных, позволяющую вычислять и передавать значения физических величин, являющихся функциями входных аналоговых и/или дискретных сигналов.

Функция вычислителя расхода сред и корректора газа. Модули могут обеспечивать вычисление расхода сред в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005 и приведение его к нормальным условиям, тем самым выполняется функция вычислителя корректора газа и расхода сред.

Электропитание модулей осуществляется от источника питания постоянного тока напряжением 20-42 В, или через линию Ethernet (PoE), в соответствии с IEEE 802.3af. Потребляемая мощность 1,5 до 15 Вт (в зависимости от конфигурации).

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

# 1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

## 1.1 Общие принципы работы интерфейса стандарта RS-485

RS-485 является стандартом физического уровня для асинхронных интерфейсов [5]. Название стандарта: ANSI TIA/EIA-485-A:1998 Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems. Настраивает электрические параметры полудуплексной многоточечной дифференциальной линии связи, такой как «общая шина».

Этот стандарт широко используется для создания промышленных сетей, которые повсеместно используются в промышленной автоматизации.

В стандарте RS-485 витая пара используется для передачи и приема данных, иногда с применением экранирующей оплетки или общей линии.

Передача данных осуществляется с использованием дифференциальных сигналов. Разница напряжений между проводниками одной полярности представляет собой логическую единицу, а разница другой полярности равна нулю.

Электрические и временные характеристики интерфейса RS-485:

- Одновременно может быть активирован только один передатчик.
- Максимальное количество узлов в сети — 256 с учётом магистральных усилителей.
- Характеристика скорость обмена/длина линии связи:
  - 62,5 кбит/с 1200 м (одна витая пара),
  - 375 кбит/с 500 м (одна витая пара),
  - 500 кбит/с,
  - 1000 кбит/с,
  - 2400 кбит/с 100 м (две витых пары),
  - 10000 кбит/с 10 м.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Стандарт RS-485 определяет скорость обмена 62,5 кбит/с, 375 кбит/с, 2400 кбит/с. Экранированная витая пара рекомендуется на скоростях обмена свыше 500 кбит/с.

Тип приёмопередатчиков — дифференциальный, потенциальный. Изменения входного и выходного напряжения на линиях А и В:  $U_a$  ( $U_b$ ) от  $-7$  В до  $-12$  В ( $+7$  В до  $+12$  В).

Требования к выходному каскаду:

- выходным каскадом является источник напряжения с низким выходным сопротивлением,  $|U_{\text{вых}}|=1,5:5,0$  В (не  $<1,5$  В и не  $>6,0$  В);
- логическое состояние «1»:  $U_a < U_b$  (гистерезис 200 мВ) — MARK, OFF;
- логическое состояние «0»:  $U_a > U_b$  (гистерезис 200 мВ) — SPACE, ON (производитель микросхем — драйверов, часто выбирает намного меньшие значения, гистерезис от 10 мВ);

Выходной каскад должен выдерживать режим короткого замыкания с максимальным выходным током 250 мА и скоростью нарастания 1,2 В/мкс для выходного сигнала. Требования к входному каскаду: – входной каскад представляет собой дифференциальный вход с высоким входным сопротивлением и пороговой характеристикой от  $-200$  мВ до  $+200$  мВ:

- допустимый диапазон входных напряжений  $U_{ag}$  ( $U_{bg}$ ) относительно земли (GND) от  $-7$  В до  $+12$  В;
- входной сигнал представлен дифференциальным напряжением ( $U_i$   $+0,2$  В и более);

Согласно этому стандарту на микроконтроллер будут приходиться задания с ИС интерфейса ADM3483ARZ-REEL7.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

1.2 Анализ требований, предъявляемых ГОСТ 26.010-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные».

Стандарт распространяется на средства измерений и автоматизации (СИА) и устанавливает основные параметры входных и выходных частотных электрических непрерывных сигналов, предназначенных для информационной связи между СИА, у которых частота синусоидального или несинусоидального напряжения (тока) однозначно соответствует значениям непрерывной величины, которую они представляют, а также к параметрам входных и выходных цепей этих СИА [6].

Выходной сигнал разрабатываемого модуля должен удовлетворять требованиям данного ГОСТа. А именно: уровни выходных сигналов несинусоидальной формы должны соответствовать указанным в табл. 1.

Таблица 1

Высокий уровень	От 2,4 до 5,25 В	От 1,0 до 1,6 В	От 8 до 12 мА	От 16 до 24 мА	От 40 до 60 мА
Низкий уровень	От 0 до 0,4 В	От - 1,6 до 0 В	От 0 до 0,5 мА	От 0 до 1 мА	От 0 до 2,5 мА

Номинальные значения активного сопротивления нагрузки выбирают из ряда 75, 150, 300, 600, 1400, 6000 Ом с допускаемыми отклонениями, установленными в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов.

### 1.3 Основной принцип работы модуля.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы необходимо разработать модуль расширения для видеографического регистратора «Мультиграф-Сталь». Для разработки печатного узла необходима структурная и принципиальная электрические схемы, перечень элементов с указанием номиналов, необходимое размещение важных элементов, краткое описание работы устройств.

В процессе проектирования печатных плат можно использовать программное обеспечение систем автоматического проектирования, такое как P-CAD, OrCAD, Altium Designer, Mentor Graphics Pads и другие.

Принцип работы модуля заключается в формировании частотного (импульсного) сигнала, управляемого микроконтроллером, который необходимо будет выбрать, исходя из требований по выполняемым задачам. Загрузка управляющих программ микроконтроллера будет осуществляться через специальный разъем PLS-5.

Микроконтроллер получает задание от видеографического регистратора «Мультиграф-Сталь» по протоколу Modbus RTU. Для согласования этого протокола с микроконтроллером необходима будет микросхема информационной системы данного протокола.

Хранение полученных заданий будет осуществляться в памяти устройства. После чего формируется частотный сигнал согласно ГОСТ 26.010-80 по двум каналам. Формирование данного сигнала будет осуществляться по цифро-аналоговому преобразователю, встроенному в микроконтроллер. Наличие этого преобразователя будет необходимым требованием в выборе микроконтроллера.

Сформированный преобразователем сигнал передается на разъем 2EDGR-5.08, откуда уже будет считываться другими устройствами.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



Питание всех элементов платы будет выполнять стабилизатор напряжения. Для защиты элементов платы от повреждения электрическим током и для обеспечения искробезопасности необходимо реализовать гальваническую развязку.

#### 1.4 Анализ схемотехнических и конструкторских решений

Выбор используемых элементов будет производиться исходя из предпочтений предприятия. Основным выбором будут SMD компоненты, так как их установка будет производиться с помощью прибора автоматической компоновки печатных плат. Также на плате необходимо будет разместить несколько технологических отверстий, для координации платы в приборе.

На аналогичных платах имеется присутствует подключение модуля RS-485, на котором реализована схема подключения микросхемы интерфейса RS-485 ADM3485ARZ-REEL7. Рассмотрим его техническое описание: питание осуществляется от напряжения 3,3 В; скорость передачи данных 10 Мбит/с [7].

Аналогично этой схеме можно реализовать питание нашего микроконтроллера с помощью стабилизатора напряжения. Питание всех эти элементов будем осуществлять с помощью импульсного регулятора напряжения TPS62203DBVT. TPS62203DBVT работает от входных напряжений диапазоном от 2,5 до 6 В и на выходе мы получаем необходимые нам 3,3 В, с током до 300 мА. Тип корпуса – sot23-5 [8].

Также из этой схемы можно позаимствовать элементы защиты входов от перенапряжения и смены полярности нагрузки, используя стабилитроны и предохранители.

Рассмотрим техническое описание микроконтроллера STM32L151CCT6. Его выбор обоснован тем, что он удовлетворяет нашим требованиям по

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

формированию аналогового сигнала по командам, принимаемых по протоколу Modbus RTU и широко используется предприятием в других разработках [9].

Из описания можно узнать, что генерацию сигнала могут производить, имеющиеся в микроконтроллере цифро-аналоговые преобразователи, выходы которых находятся на пинах 15 и 16. В эти преобразователи встроены операционные усилители. На выходе мы получаем треугольную форму сигнала напряжение от 0,2 до 3,4 В.

Реализация памяти модуля будет выполнена с помощью оперативной памяти FM24W256 на 256 Кбит. Питание осуществляется от напряжения 3,3 В [10].

Различают три класса ЭА по объекту установки: наземная, морская и бортовая. В каждом классе различают специализированные группы в зависимости от объекта установки. Конструкция ЭА различного назначения, устанавливаемой на различные объекты, имеют особенности, вытекающие из специфики назначения и условий эксплуатации.

В данной работе используется стационарная электронная аппаратура (ЭА) [11]. Группа ЭА обуславливает уровень внешних воздействий, конструкторско-технологические ограничения в соответствии со стандартами: типоразмеры модулей и ПП, конструкцию модулей, способ закрепления в модулях более высокого конструктивного уровня и пр.

Для стационарной ЭА характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями: температурой  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ , относительной влажностью  $(65 \pm 15)\%$  (при  $30^\circ\text{C}$ ), атмосферным давлением  $(8,36—10,6) \cdot 104 \text{ Па}$  (630—800 мм рт. ст.), воздух без химических примесей и пыли, отсутствие механических перегрузок во время работы; подверженность механическим воздействиям в нерабочем состоянии при транспортировке.

Выбор класса точности ПП:

ГОСТ Р 53429-2009 устанавливает семь классов точности выполнения

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

элементов конструкции ПП, каждый из которых характеризуется минимальным допустимым значением номинальной ширины проводника ( $t$ ), расстоянием между проводниками ( $S$ ), расстоянием от края просверленного отверстия до края контактной площадки, ширины контактной площадки ( $b$ ) [12].

Таблица 2 - класс точности печатного монтажа (ГОСТ Р 53429-2009)

Наименование элемента проводящего рисунка	Обоз.	Размеры элементов, мм						
		1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	$t$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводников и контактной площадкой	$S$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	$b$	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02	0,015

В качестве основания печатной платы используются слоистые диэлектрики на основе стеклоткани (стеклотекстолиты). Выбор материала определяется электроизоляционными свойствами, механической прочностью, обрабатываемостью, стабильностью параметров при воздействии агрессивных сред и изменяющихся климатических условий, себестоимостью.

## 2 СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Разработка и расчет схемы электрической принципиальной.

Принципиальная схема устройства была условно разделена на несколько функциональных блоков: питание; интерфейс Modbus RS-485; память; формирователь частотного сигнала; гальваническая развязка и прочие вспомогательные элементы, включая разъемы.

Рассмотрим выбранный нами микроконтроллер STM32L151CCT6. Это программируемый микроконтроллер со сверх малым энергопотреблением. Его основные и необходимые нам особенности:

- напряжение питания от 1,65 до 3,6 В;
- объем флэш-памяти с возможностью коррекции ошибок 256 Кбайт и 32 Кбайт оперативной памяти;
- двухканальный ЦАП с операционным усилителем;
- девять периферийных интерфейсов связи.

Все эти особенности далее будут подробно проанализированы при подключении к микроконтроллеру необходимых блоков.

В силу того, что напряжение питания выбранного нами микроконтроллера должно быть в пределах от 1,65 до 3,6 В, а питание самого модуля осуществляется платой питания с напряжением 5 В, то необходимо размещение, ранее выбранного нами, DC-DC преобразователя TPS62203DBVT.

DC-DC преобразователи (конверторы) – модульные электронные устройства, предназначенные для построения шин питания в схемах с гальванической развязкой. Использование такого типа, а не линейного, связано с необходимостью обеспечить высокий КПД преобразования. Выбор данного преобразователя обусловлен его техническими параметрами, а именно диапазоном

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

входных напряжений от 2,5 до 6 В; выходным напряжением 3,3 В и выходным током 300 мА (погрешность выходного напряжения не более 3%); поверхностным типом монтажа на печатной плате. Функциональная блок-схема устройства показана на рисунке 5.

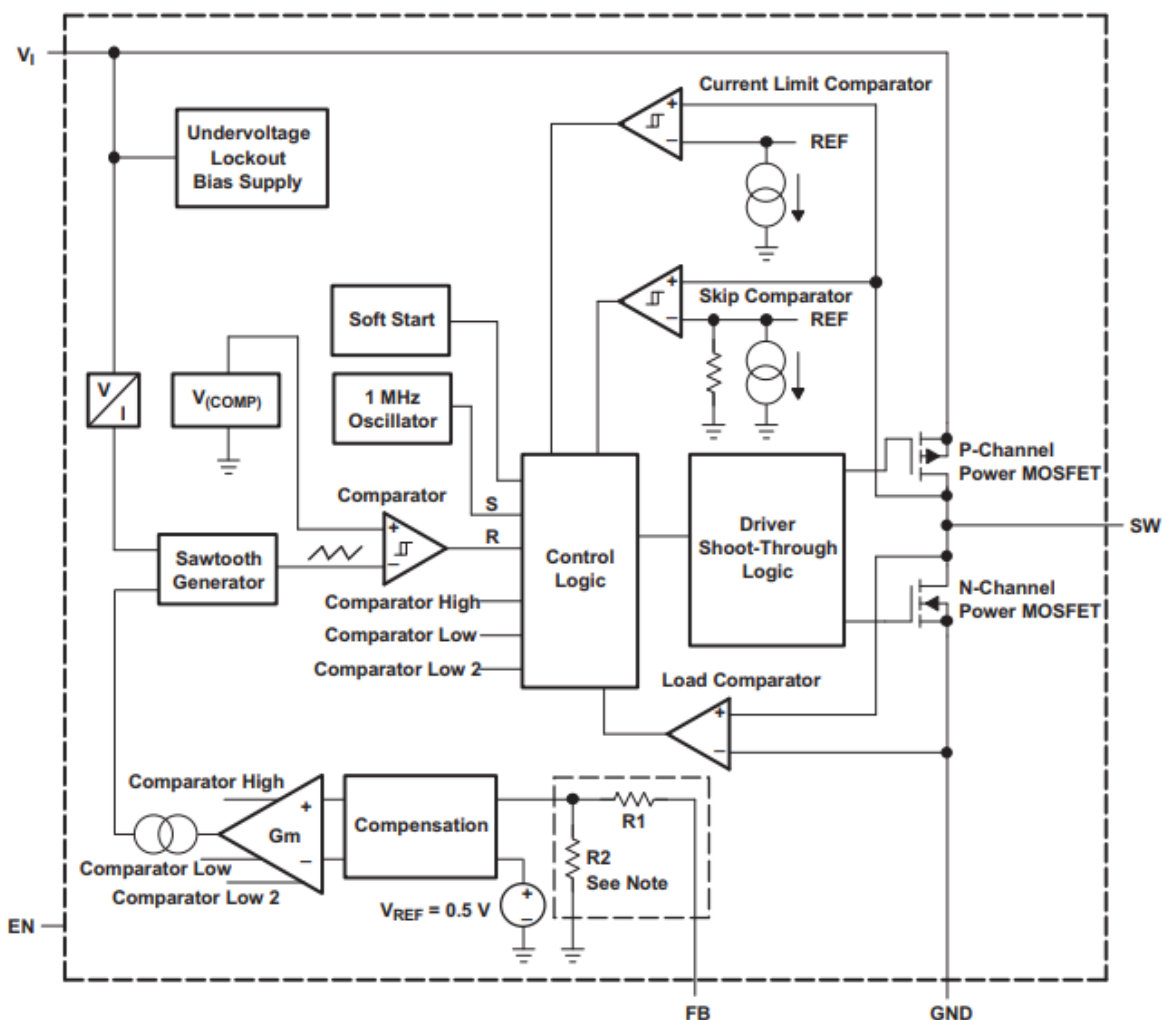


Рисунок 5 – Функциональная схема DC-DC преобразователя  
TPS62203DBVT

Основные блоки функциональной схемы:

- Undervoltage Lockout Bias Supply – блок блокировки при низком уровне входного напряжения;
- Current Limit Comparator – компаратор ограничения тока;
- Skip Comparator – компаратор пропуска тока;
- Soft Start – блок плавного запуска;

- 1 MHz Oscillator – генератор частоты 1 МГц;
- Sawtooth Generator – генератор сигналов пилообразной формы;
- Control Logic – блок логики управления;
- Driver Shoot-Through Logic – драйвер управления сквозными токами;
- Load Comparator – нагрузочный компаратор;
- Gm – детектор напряжения.

Согласно типовой схеме подключения преобразователя, используются конденсаторы C18 на 4,7 мкФ и C19 на 10 мкФ с резисторами R12 и R13 с сопротивлениями 22 и 100 пФ на выводах блока в качестве фильтра верхних частот. Значения сопротивления резисторов рассчитаны с условием фильтрации частот выше 1000 Гц. Катушка индуктивности L2 на 10 мкГн на пятом выводе является дросселем накачки. Вывод номер 1 объединен с выводом номер 2 и подключен к источнику напряжения 5 В. Вывод 2 соединен с землей и через конденсатор с выводом номер 1. Выходное напряжение в 3,3 В формируется на соединенных через катушку индуктивности выводах 4 и 5. Параметры элементов выбраны в соответствии с рекомендациями производителя преобразователя.

Рассмотрим вариант соединения преобразователя с микроконтроллером. Вывод схемы блока преобразователя подключим к Vdd, Vdda, Vddi02, выводам под номерами 1, 9, 24, 48. Соответственно выводы Vss и Vssa под номерами 8, 23, 35, 47 соединим с заземлением. Эти выводы отвечают за питание микроконтроллера. При этом между выводами 24 – 23, 36 – 35, 48 – 47 установим блокировочные конденсаторы на 0,1 мк С1, С5 и С10.

Для фильтрации помех от непосредственного источника питания нашей платы, установим LC фильтр нижних частот, состоящий из катушки индуктивности L1 2,2 мкГн и конденсаторов C11 и C16 по 1 мкФ каждый. При этом питание будет подключено к разъему XP1L на контакты 12А, 12В, 13А, 13В. Контакты 10А, 10В соединим с землей.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Далее расположим в цепи интерфейс ModBus RTU. Для получения информации по стандарту RS-485 мы будем использовать пины для протокола UART1 под номерами 30, 31, 33. Их по шине соединим с пинами на микросхеме ADM3485ARZ-REEL7. Выбор данного элемента обусловлен его характеристиками:

- скорость передачи данных 10 Мбит/с с вариантом полудуплексной и дуплексной связи;
- рабочее напряжение питания  $3,3 \pm 0,3$  В;
- рабочий ток источника питания 2,2 мА;
- вид монтажа SMD;
- минимальная рабочая температура  $-40$  °С, максимальная рабочая температура  $+85$  °С;
- время задержки распространения 35 нс;
- совместимость со стандартами RS-485 и RS-422 в полном синфазном диапазоне.

Данные параметры полностью удовлетворяют заданным требованиям для обработки сигналов стандарта RS-485.

Питание микросхемы выполним типовым способом: соединим пины питания Vcc под номер 8 и GND под номером 5 с преобразователем TPS62203DBVT и с заземлением соответственно. Между ними установим блокировочный конденсатор С6 на 0,1 мкФ.

Как выше было сказано, пины 30, 31, 33 соединим с пинами номер 1, 2 и 4 на микросхеме интерфейса. При этом пин 4 соединим с 3. В качестве нагрузки в цепи управления интерфейсом для улучшения помехоустойчивости подсоединим к ним резистор R8 с сопротивлением 10 кОм. К выводу номер 1 установим нагрузку в виде конденсатора С2 на 1,5 мкФ и резистора R1 на 10 кОм для корректировки выходного напряжения.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Прием сигналов в данном элементе осуществляется с помощью двух каналов А и В. Расположенными на пинах с номерами 6 и 7. Их мы подсоединим к разъему DIN 41612R к контактам 1А и 1В соответственно. По ним будет приходить разрешение для работы микроконтроллера. В подключении используем резисторы с сопротивлением 100 Ом: R5 и R6.

Для хранения данных будем использовать дополнительный блок памяти, так как память микроконтроллера необходима для записи на нее программы работы и обладает малым количеством возможных перезаписей. Для этой задачи мы выбрали FM24W256. Ее технические особенности:

- объем памяти 256 Кбит;
- тип памяти F-RAM;
- диапазон рабочих температур от -40 до +85 °С;
- при благоприятной температуре работы 65 °С минимальное время хранения данных 151 год, с увеличением температуры срок службы уменьшается, при 75 °С – 38 лет, при 85 °С – 10 лет;
- количество перезаписей – 100 триллионов раз;
- наличие последовательной асимметричной шины I2C с частотой до 1 МГц;
- широкий диапазон питающих напряжений от 2,7 до 5,5 В;
- вариант установки SMD.

Соединять память с микроконтроллером будем по шине I2C, используя две двунаправленные линии связи (SDA и SCL). Она использует две двунаправленные линии, подтянутые к напряжению питания и управляемые через открытый коллектор или открытый сток — последовательная линия данных (SDA) и последовательная линия тактирования (SCL). Стандартные напряжения +5 В или +3,3 В. Основной режим работы — 100 кбит/с; 10 кбит/с в режиме работы с пониженной скоростью. Эти линии на микросхеме памяти расположены на пинах 5 и 6, следовательно соединим их с пинами 21 и 22 на микроконтроллере.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



Питание будем осуществлять с нашего преобразователя TPS62203DBVT. Подключим его вывод 3,3 В на Vdd пин под номером 8 на микросхеме памяти. Вывод Vss под номером 4 соответственно соединим с заземлением. Остальные пины соединим согласно типовой схеме подключения, используя резисторы R2 и R3 на 10 кОм.

Опишем схему формирователя частотного сигнала. Согласно техническому описанию выбранный нами микроконтроллер имеет два 12-битных буферизированных канала цифро-аналогового преобразователя со встроенными операционными усилителями, которые могут использоваться для формирования аналогового сигнала из цифрового, формируемого микроконтроллером. Рассмотрим характеристики этих преобразователей:

- генерация шумового или треугольного сигнала;
- выходное напряжение от 0,2 до 3,4 В;
- частота обновлений 1 мс;
- частоту выходного сигнала и значение выходного тока можно задать с помощью программы.

Выводы этих преобразователей находятся под номерами 15 и 16. Далее необходимо будет соединить данные выходы с выходами номер 3 и 4 на микросхеме ADuM1401.

Рассмотрим остальные части схемы. К выводу 14 необходимо подключить делитель напряжения, для приема аналогового сигнала, так как на этом выводе находится аналого-цифровой преобразователь. Делитель напряжения состоит из резистора R9 и конденсатора C9, их значения согласно типовым схемам равны 1 кОм и 0,1 мкФ соответственно. Начало цепи будет в разъеме DIN41612R подключено к объединенным контактам 15А и 16В.

Тактовый генератор микроконтроллера STM вырабатывает частоту 8 МГц, генератор автоматически запускается при появлении питания Vcc. Тактовая

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

частота устройства определяет скорость работы блоков. Недостатком генератора с использованием внутренней RC-цепью относится низкая стабильность частоты генерируемого сигнала, а при умножении на PLL (систему фазовой автоподстройки частоты) погрешность тоже умножается. Например, частота внутреннего генератора при разных температурных условиях колеблется от 7,3 до 8,7 МГц. При множителе в 9 на выходе будет разброс уже от 65,7 до 78,3 МГц. Поэтому в нашей работе мы будем использовать внешние времязадающие элементы, состоящие из конденсаторов C3 и C4 и кварцевого резонатора ZQ1 на 8 МГц.

Они подключаются на ножки OSC\_IN и OSC\_OUT под номерами 5 и 6. Использование этих элементов обеспечивает высокую стабильность частоты.

Значение емкости, включенной параллельно с кварцевым резонатором, рассчитывается по формуле:

$$C = 2 * (C_L - C_S) \quad (1)$$

где  $C_L$  – нагрузочная емкость резонатора, Ф;

$C_S$  – значение паразитной емкости, Ф.

Выбранный нами резонатор обладает емкостью нагрузки 16 пФ и значение паразитной емкости 5 пФ. Подставив данные значения, получим емкости конденсаторов C6 и C7 равными по 22 пФ каждый.

Для определения наличия питания на микроконтроллере на вывод I/O установим красный светодиод HL1. Для защиты его от повышенного тока, установим резистор R7. Его сопротивление определяется по формуле:

$$R \geq \frac{U_r}{I_{\text{номин.}}} \quad (2)$$

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

где  $U_r$  – падение напряжения на резисторе, В;

$I_{\text{номин.}}$  – номинальный ток светодиода.

В свою очередь падение напряжения определяется по формуле:

$$U_r = U_{\text{пит.}} - U_{\text{прям.}} \quad (3)$$

где  $U_{\text{пит.}}$  – напряжение цепи, В;

$U_{\text{прям.}}$  – прямое напряжение светодиода, В.

Для наших целей мы выбрали светодиод красного цвета с корпусом для поверхностного монтажа. Его  $I_{\text{номин.}} = 1$  мА, а  $U_{\text{прям.}} = 1,4$  В. Подставим данные значения в формулу и получим, что  $R = 2$  кОм.

Для фильтрации помех от непосредственного источника питания нашей платы, установим LC фильтр нижних частот, состоящий из катушки индуктивности L1 2,2 мкГн и конденсаторов C11 и C16 по 0,1 мкФ каждый. При этом питание будет подключено к разъему XP1L на контакты 12А, 12В, 13А, 13В. Контакты 10А, 10 В соединим с землей.

Рассмотрим гальваническую развязку. Для защиты оборудования от повреждения электрическим током, будем применять трансформаторную развязку. Реализуем ее с помощью трансформатора, микросхемы для него, регулятора напряжения и цифрового изолятора. Типовым вариантом данной развязки является использование драйвера MAX253ESA+T, трансформатора П1304042101, регулятора напряжения LM1117DT-5.0/NOPB и цифрового изолятора ADuM1401.

Соберем схему питания трансформатора с драйвером MAX253ESA+T [14].

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

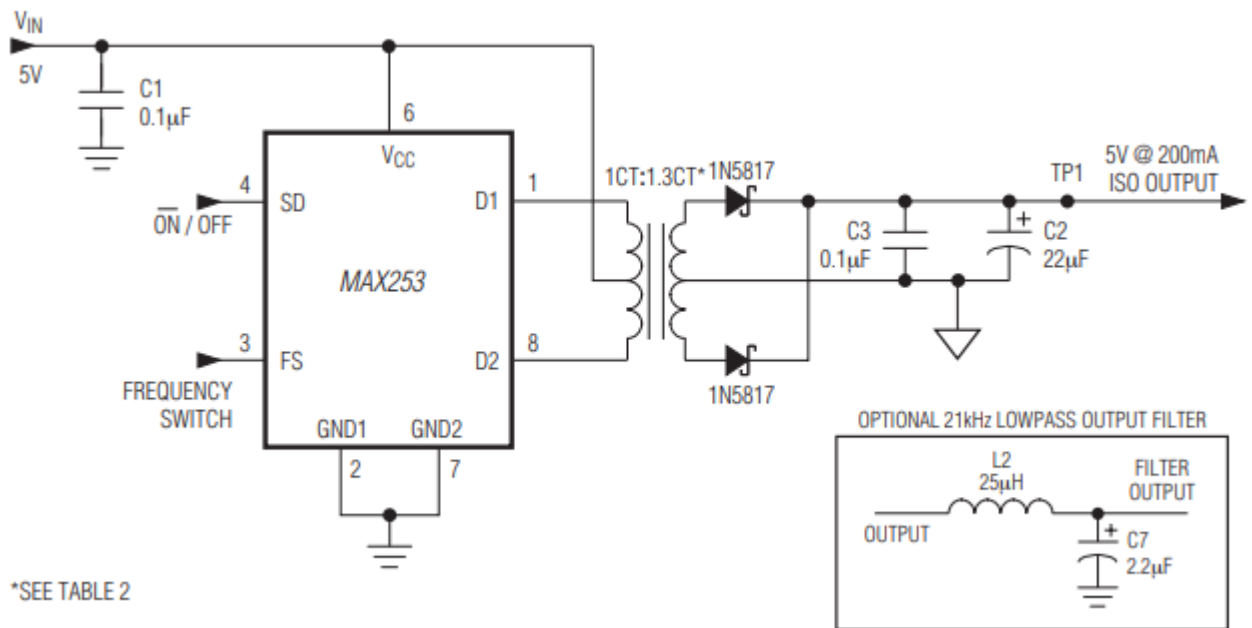


Рисунок 6 – Типовая схема изолированной цепи питания 5 В

Используем трансформатор П1304042101 с коэффициентом трансформации 1,3, так как его рекомендуют применять при реализации данной схемы [15]. Диоды Шоттки 1N5817 VD1, VD2 с максимальным обратным напряжением 20 В, выполненные в корпусе SM-1 для поверхностного монтажа. C14 выполним с использованием электролитического танталового конденсатора с емкостью 22 мкФ и погрешностью 10%, выполненном в корпусе для поверхностного монтажа. Так же для улучшения параметров напряжения, выходящего с трансформатора, установим линейный регулятор напряжения LM1117DT-ADJ/NOPB выбор которого основан на малом падении напряжения на нем (до 1,2 В) и корпусе для поверхностного монтажа [16]. Согласно его техническому описанию, при его подключении нужно использовать танталовые конденсаторы с емкостью 10 мкФ и 22 мкФ.

Дале устанавливается цифровой изолятор данных. Для возможности дальнейшей модернизации модуля и увеличения числа частотных выходов, выберем ADuM1401 с четырьмя каналами [17]. Корпус данного изделия так же выполнен для поверхностного монтажа. Он позволит нам, при условии

гальванической развязки элементов, пропускать сигнал с одной стороны на другую. Также преимущество данного элемента в том, что ему не требуется одинаковое напряжения питания с обеих сторон. Поэтому со стороны входящего сигнала напряжения будет 3 В, а со стороны выхода сигнала – 5 В. Следовательно выходной сигнал у нас будет с напряжением 5 В, что соответствует ГОСТ 26.010-80. Установим его согласно типовому исполнению, взятому из листа данных.

Сопротивление нагрузки частотного выхода, согласно заданию и ГОСТ 26.010-80, выберем равное 600 Ом. Для защиты от нелинейных искажений установим последовательно резистор R14 и конденсатор C20. Сопротивление конденсатора рассчитаем по формулам постоянной времени цепи RC:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f} \quad (4)$$

$$C = \frac{\tau}{R} \quad (2)$$

где  $\tau$  – постоянная времени;

R – сопротивление нагрузки, Ом;

f – частота сигнала, ее мы примем равную 1000 Гц;

C – емкость конденсатора.

Подставив значения, и округлив полученное значение в большую сторону, получим что нам необходим конденсатор емкостью 0,3 мкФ. Сопротивление резистора же в типовых случаях берут в 10 раз меньше сопротивления нагрузки, но округленное в большую сторону, следовательно его сопротивление примем равное 100 Ом.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Для обеспечения защиты от переплюсовки сразу после резистора ответвлением в цепи установим стабилитрон VD3 на 5 В. Он предотвратит прохождение обратного тока. Напряжение 5 В выбрано с запасом, чтобы не нарушать форму рабочего сигнала. И, для защиты от случайных токов, направленных от разъема, установим самовосстанавливающийся предохранитель с максимальным током 0,1 А. Соединяем начало этой цепи с выводом 14 на микросхеме ADuM1401 и конец на контакте 1 разъема 2EDGR-5.08. На 13 выводе микросхемы располагаем идентичную цепь.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

### 3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Создание печатного узла

Целью данной ВКР является разработка печатного модуля расширения видеографического регистратора.

Конструктивные требования, сформулированные заказчиком:

- Размещение элементов должно быть на плате из фольгированного стеклотекстолита, размер платы должен соответствовать чертежу;
- Переходные отверстия должны быть металлизированы с двух сторон.
- Класс точности 4-ый;
- Расположение элементов на лицевой стороне платы, максимально компактно, с малой длиной печатных проводников;
- SMD-элементы в корпусе 0805, конденсаторы фирмы Murata;
- Наличие гальванической развязки;
- На лицевой стороне платы наличие поясняющих меток для тестирования платы;
- Габаритные размеры платы, разъемы и места их установки, представлена на эскизе, (рисунок 6).

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

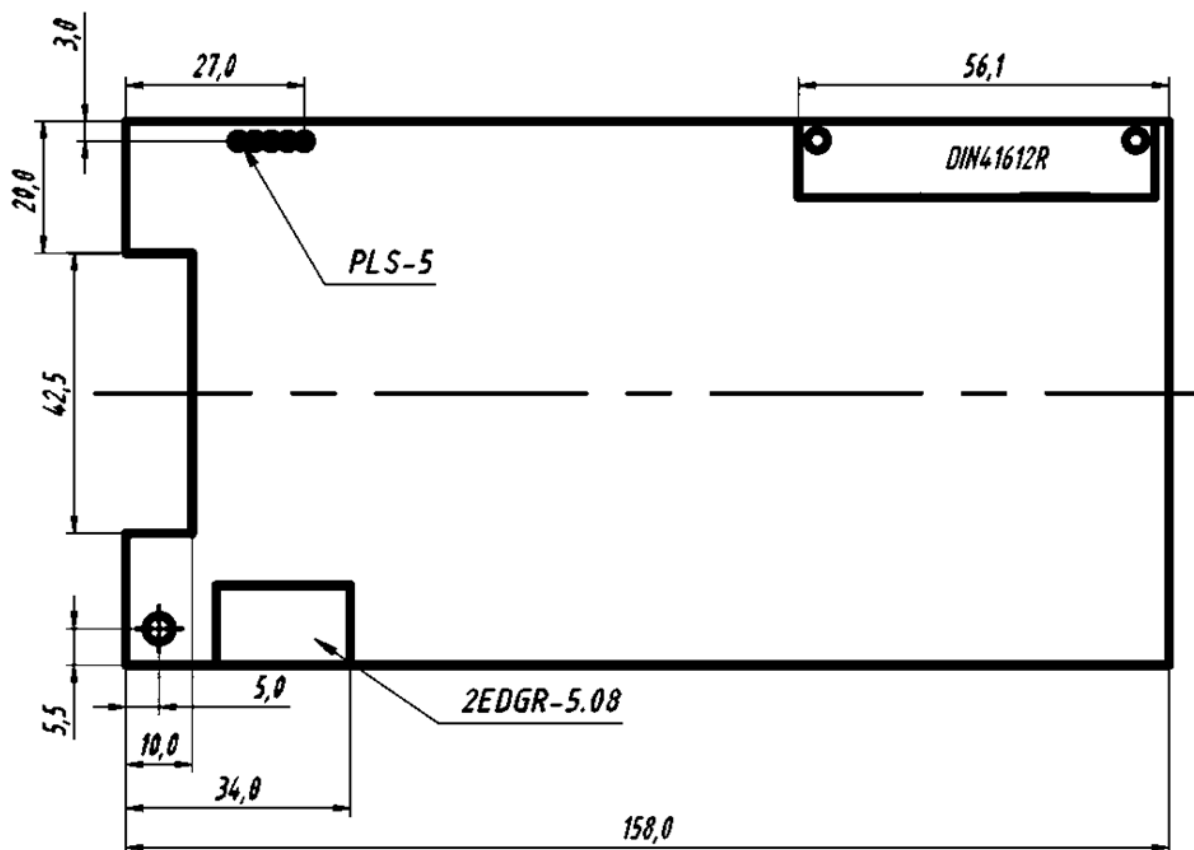


Рисунок 7 – Эскиз чертежа печатной платы и мест установки разъемов

### 3.1.1. Составление перечня элементов

Составление перечня элементов начнем с выбора конденсаторов. Важными параметрами в выборе для нас будут являться: необходимая емкость, небольшое (до 10%) отклонение емкости от номинала, соответствие допустимому напряжению, тип корпуса SMD-0805 для поверхностного монтажа. Выберем керамические конденсаторы фирмы Murata, так как с ними работает предприятие. Максимальное напряжение будем выбирать не ниже 16 В.

Танталовые конденсаторы выберем от фирмы Tescam, с максимальным напряжением до 10 В.

Выбор микросхем обоснован в схемотехнической части. Все корпуса, в которых они выполнены, предназначены для поверхностного монтажа.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



Предохранители выбраны самовосстанавливающиеся MF-MSMF010 с максимальным проходимым током 0,1 А. Корпус для поверхностного монтажа.

Светодиод, для сигнализации о работе устройства, выбран ТО-2106BC-MRF красного цвета. Корпус выполнен для поверхностного монтажа.

Катушки индуктивности были выбраны по значению индуктивности и по типу корпуса для поверхностного монтажа.

Резисторы выбраны в корпусе SMD-0805 по необходимому значению сопротивления с возможным отклонением от значения до 5%. Все резисторы выполнены одной фирмой-производителем.

Трансформатор П1304042101 выбран, как рекомендованный для цепи получения 5 В из МАХ253. Его значение трансформации 1:1,33 и выполнен он в корпусе для поверхностного монтажа.

Диоды Шоттки 1N5817, аналогично трансформатору, выбраны как рекомендованные для данной цепи. Применение диодов Шоттки обусловлено меньшим падением напряжения, нежели на простых диодах. Корпус данного диода выбираем SM-1, для возможности поверхностного монтажа.

Стабилитроны BZV55 с номинальным напряжением стабилизации 7,5 В необходимы для ограничения напряжения, свыше 5 В. Значение стабилизации выбрано с запасом. Корпус изделия подразумевает поверхностный монтаж.

Разъемы DIN41612R, 2EDGR-5.08, PLS-5 выбраны предприятием и являются стандартными в модулях расширения видеографического регистратора «Сталь». DIN41612R необходим для соединения модуля с кросс-платой, получения сигналов по стандарту RS-485, питания нашего модуля с платы питания напряжения 5 В. 2EDGR-5.08 является разъемом для вывода частотного сигнала.

Нами было создано два канала данного сигнала, поэтому разъем выберем четырех контактный. PLS-5 необходим для связи микроконтроллера с

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

программатором и загрузки в него управляющих программ. Его штырьевая конструкция способствует процессу его подключения.

Кварцевый резонатор выбран по необходимой частоте и как типовой элемент в реализации данных функций. Данный тип корпуса предусматривает поверхностный монтаж и широко используется предприятием.

Все выбранные элементы представлены в спецификации.

### 3.1.2. Выбор материалов

Для изготовления печатных плат используются слоистые диэлектрики, плакированные электролитической медью. К материалам для печатных плат предъявляются следующие требования:

- теплопроводность и теплоемкость должны быть максимальны для отвода тепла от печатных медных проводников;
- стойкость к химическим, внешним воздействиям;
- высокие механические свойства (твердость, прочность на изгиб, сжатие, растяжение, вибростойкость);
- допускать возможность обработки резанием и штамповкой;
- сохранять свои свойства при воздействии климатических факторов, а также в процессе создания рисунка схемы и пайки.

Они должны обладать:

- высокой термостойкостью (260°C в течение 5—20 с) и малой влагопроницаемостью (0,2% - 0,8%);
- поверхностное сопротивление при 40°C должно быть не менее 104 Мом;
- чистота меди должна быть не менее 99,5%;

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

- шероховатость не хуже 0,4 мкм.

Материалом изготовления печатных плат выбран FR-4. Это стеклотекстолит класса огнестойкости 94V-0, который является наиболее распространенным материалом для производства печатных плат. Данный выбор обусловлен изготовлением платы на предприятии фирмы PSelectro.

Толщина печатной платы – 1,5 мм, толщина фольги – 18 мкм.

### 3.1.3. Посадочные места, создание библиотеки

Создание библиотеки элементов является первым шагом работы над проектом. При создании библиотечных элементов проходят следующие этапы:

- создание схемного (символьного) образа элемента;
- создание посадочного места для элемента на печатной плате (причем правила создания посадочных мест для элементов со штыревыми и планарными контактами отличаются друг от друга);
- создание взаимосвязи между схемными и технологическими библиотечными элементами;
- внесение библиотечных элементов в библиотеки.

В данной работе использовался САПР Altium Designer 2017, обладающая всеми необходимыми инструментами для разработки печатных плат, а также такими функциями, как размещение компонентов, трассировка проводников [18].

### 3.1.4. Размещение элементов и трассировка печатной платы

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Шаг координатной сетки выбран 0,127 мм, выбран с учетом наименьшего элемента, находящегося на ПП и для максимально компактного размещения элементов на поверхности [13].

Выбор класса точности печатной платы:

Существует семь классов точности выполнения элементов конструкции ПП.

Основными критериями которые влияют на выбор класса точности ПП являются:

- конструкторская сложность - степень насыщенности поверхности ПП ЭРИ при традиционной элементной базе или число выводов поверхностно;
- монтируемых компонентов (ПМК) и шаг их расположения;
- элементная база (интегральные микросхемы, бескорпусные элементы);
- тип, число и шаг выводов ЭРИ (штыревые, планарные, безвыводные, матричные);
- массогабаритные характеристики;
- уровень технологического оснащения конкретного производства.

Для разрабатываемой печатной платы, ссылаясь на таблицу 1 – класс точности печатного монтажа, выбран 4 класс точности.

По структуре печатная плата двухсторонняя. Переходные отверстия располагаются в узлах координатной сетки. Монтажные отверстия согласно эскизу платы. Ширина сигнальных проводников от 0,25 до 0,35 мм, ширина проводников питания 0,4 мм, проводников заземления от 0,5 до 1 мм. Зазор между проводниками не менее 0,15 мм.

Размещением называют такое взаимное расположение элементов, при котором наилучшим образом учитываются предъявляемые к аппаратуре требования.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Главная цель размещения - создание наилучших условий для трассировки.

Критерии размещения элементов:

- минимальная суммарная взвешенная длина проводников;
- элементы располагать только на лицевой стороне платы;
- минимум числа соединений, длина которых больше заданной;
- минимум числа пересечений;
- минимум расстояния между элементами;
- групповое расположение элементов в соответствии с их связями в электрической принципиальной схеме;
- расположение элементов с учетом гальванической развязки.

Учитываются те сведения, что задано конкретное местоположение для разъемов ХР1 – ХР3.

Трассировка выполняется с условием отдельного заземления элементов, находящихся по разную сторону гальванической развязки. Все печатные проводники преимущественно расположены на лицевой части печатной платы. Количество переходных отверстий сведено к минимуму. Ширина проводников питания и заземления, исходящих из разъема, выбрана 1 мм, для наглядного отличия их от других и облегчения процесса тестирования платы. Ширина проводников в местах сужения и близ контактов микроконтроллера STM32L151CCT6 выбрана равной 0,25 мм. На плате присутствуют контрольные точки с диаметром отверстия 0,8 мм и диаметром контактной площадки 1,6 мм для тестирования микроконтроллера.

Результаты размещения и трассировки представлены на рисунках 7, 8, 9.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

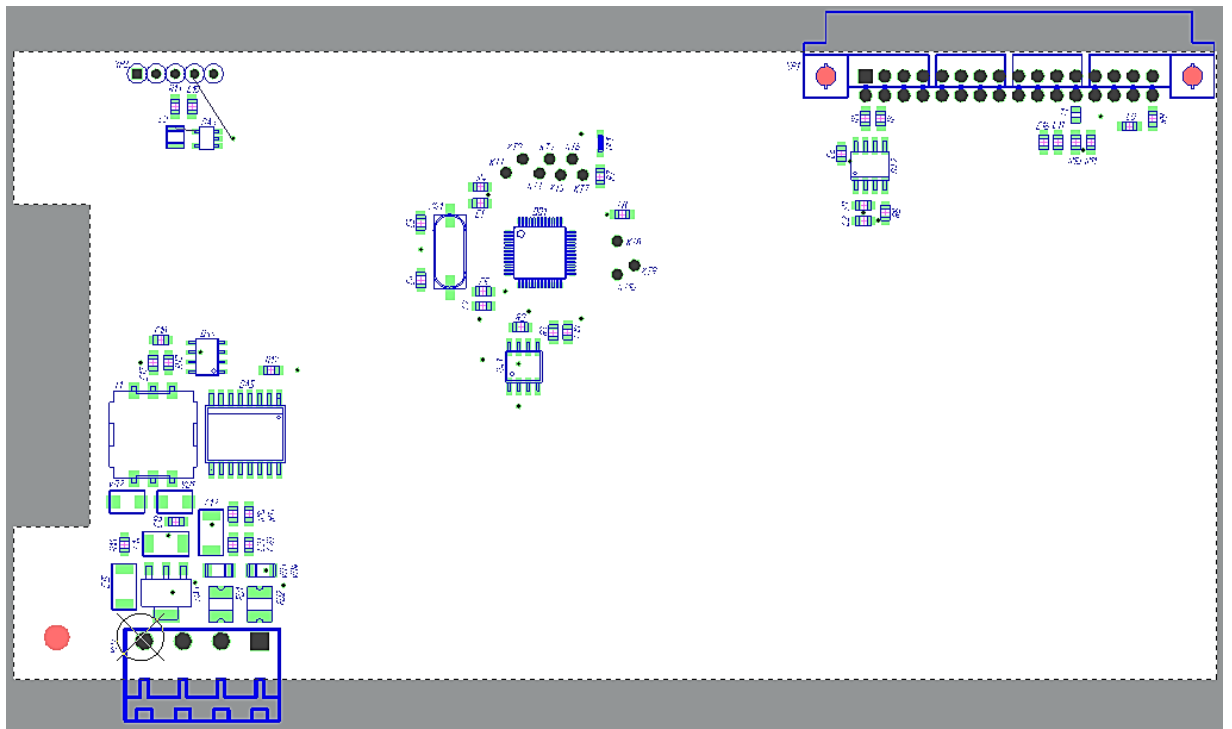


Рисунок 8 – Размещение элементов

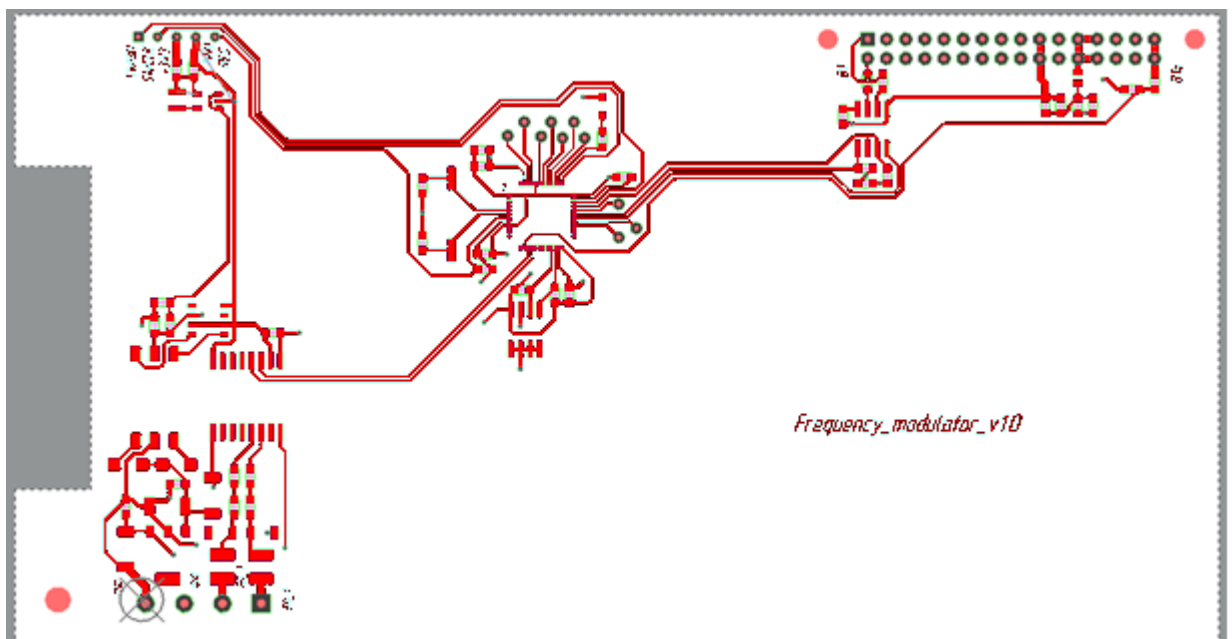


Рисунок 9 – Трассировка (лицевая сторона)

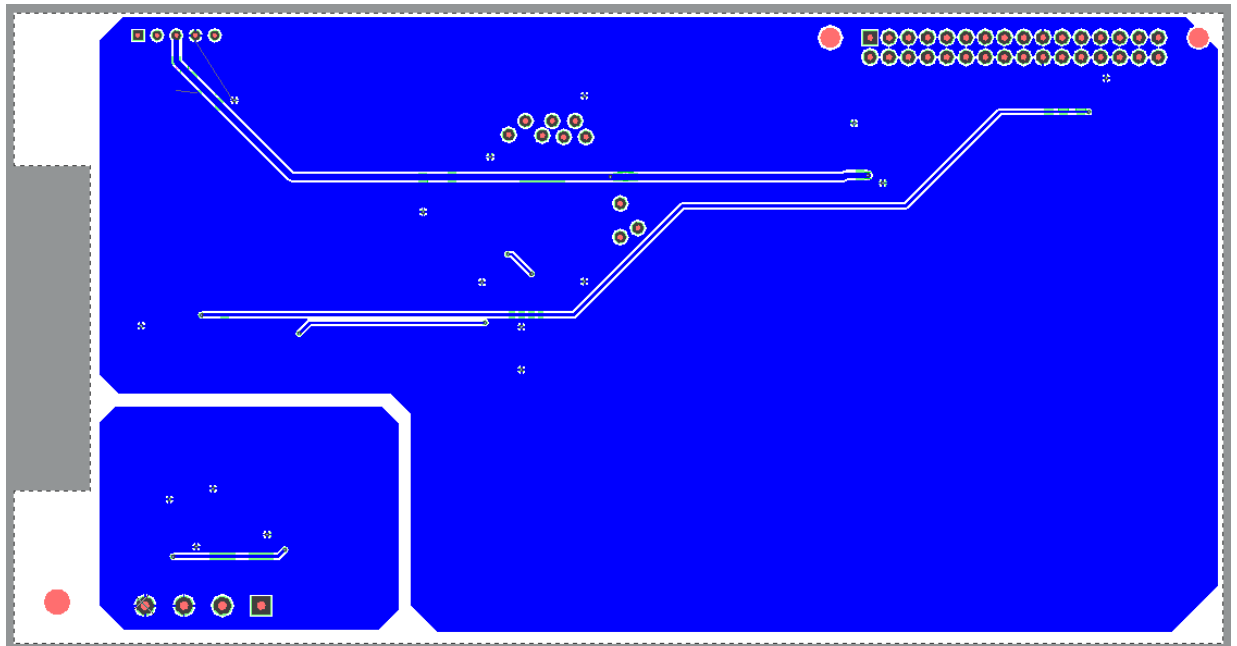


Рисунок 10 – Трассировка (обратная сторона)

### 3.1.5. Разработка и оформление комплекта конструкторской документации на модуль

Разработка конструкторской документации велась в программе AutoCAD 2018. Данная программа была выбрана, как отвечающая всем современным требованиям и обладающая понятным и дружелюбным интерфейсом. Комплект конструкторской документации содержит в себе спецификацию, сборочный чертеж и чертеж платы.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирован печатный узел модуля расширения видеографического регистратора технологических процессов. Для выполнения им необходимых функций, основной из которых является формирование управляемого частотного сигнала, выбраны необходимые элементы составлена структурная схема и рассчитана схема электрическая принципиальная. При разработке функциональных узлов определены необходимые тип (двуслойная) и класс точности (4 класс точности) печатной платы. Шаг сетки выбран 0,127 мм согласно ГОСТ Р 51040—97 «Платы печатные. Шаги координатной сетки».

При выборе материала печатной платы учтено, что материал должен обладать высокой механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами, иметь высокую искробезопасность. В качестве материала выбран стеклотекстолит FR4.

Вся фольга с обратной стороны, не задействованная в соединительных дорожках, оставлена и соединена с заземлением. Это применяется для экранирования проводников, чтобы уменьшить паразитные связи.

Требования технического задания полностью учтены.

В процессе разработки печатных плат использовались такие программы, как Altium Designer 2017, AutoCAD 2018.

В программе Altium Designer 2017 создана схема электрическая принципиальная, выполнена компоновка платы, трассировка. По файлам, полученным в этой программе возможно изготовить реальный прототип платы.

В программе AutoCAD 2018 созданы чертежи печатной платы, сборочный чертеж, спецификация и перечень элементов.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Вариант компоновки и соответствующий ему вариант трассировки являются достаточно удачным.

Разработан комплект конструкторской документации на разрабатываемый узел.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мультиграф-Сталь / Группа компаний ТЕПЛОПРИБОР. – [http://tpchel.ru/Multigraf\\_stal](http://tpchel.ru/Multigraf_stal).
2. Расширенный менеджер данных Memograph M RSG45 / Endress and Hauser AG. – <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/System-Components-Recorder-Data-Manager/RSG45>.
3. Видеографический регистратор ЭлМетро-ВиЭР-104К / ЭЛМЕТРО. – [https://elmetro.ru/production/recorders/elmetro\\_vier\\_104k.html](https://elmetro.ru/production/recorders/elmetro_vier_104k.html).
4. Модуль ввода вывода ЭлМетро-МВВ / ЭЛМЕТРО. – [https://elmetro.ru/production/recorders/elmetro\\_mv\\_v.html](https://elmetro.ru/production/recorders/elmetro_mv_v.html).
5. Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485) / Application Report. – <http://www.ti.com/lit/an/slla036d/slla036d.pdf>.
6. ГОСТ 26.010-80 Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные (с Изменением N 1): Государственный стандарт союза ССР – М.:Госстандарт СССР, 1980. – 7 с.
7. ADM3483/ADM3485/ADM3488/ADM3490/ADM3491, Datasheet / Analog Devices. – [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADM3483\\_3485\\_3488\\_3490\\_3491.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADM3483_3485_3488_3490_3491.pdf).
8. TPS62200, TPS62201, TPS62202, TPS62203, TPS62204, TPS62205, TPS62207, TPS62208, Datasheet / Texas Instruments. – <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62203.pdf>.
9. STM32L15xCC/STM32L15xRC/STM32L15xUC/STM32L15xVC, Datasheet / STMicroelectronics. – <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l151cc.pdf>.
10. FM24W256, Datasheet / Cypress. – <https://www.cypress.com/file/136451/download>.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

11. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник/ Е.В. Пирогова. – М.:ФОРУМ:ИНФА-М, 2005. – 560с.

12. ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции: Государственный стандарт Российской Федерации – М.:Госстандарт России 1997. – 11 с.

13. ГОСТ Р 51040-97 Платы печатные. Шаги координатной сетки: Федеральное агенство по техническому регулированию и метрологии – М.:Стандартинформ 2009. – 7 с.

14. MAX253, Datasheet / Maxim Integrated. – <https://www.datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX253.pdf>.

15. П1304042101, Datasheet / Sumida. – <https://www.compel.ru/item-pdf/45b653a5227d6c36a2e4914e2eadcc2c/pn/sumidaii1304042101.pdf>.

16. LM1117/LM1117I, Datasheet / National Semiconductor. – <https://www.static.chipdip.ru/lib/142/DOC000142693.pdf>.

17. ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402, Datasheet / Analog Devices. – [https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/ADuM1400\\_1401\\_1402.pdf](https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/ADuM1400_1401_1402.pdf).

18. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-пресс, 2009. – 432с.

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

110303.2019.460.13.02 Э1

Модуль расширения ВГР

Схема структурная

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
110303.2019.460.13.02 ЭЗ  
Модуль расширения ВГР  
Схема электрическая принципиальная

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

ПРИЛОЖЕНИЕ В  
110303.2019.460.13.03 СБ  
Модуль расширения ВГР  
Сборочный чертеж

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

ПРИЛОЖЕНИЕ Г  
110303.2019.460.13.03  
Модуль расширения ВГР  
Чертеж платы

					110303.2019.460.13.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47