

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО»
КАФЕДРА «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 621.38

На правах рукописи

КЛИМАШЕВСКИЙ ИЛЬЯ ИГОРЕВИЧ

**Модуль сбора данных о режимах работы
технологического оборудования с каналом WI-FI**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени
магистра технических наук
по специальности 1- 53 80 01 «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»

Научный руководитель:
к.т.н. Ковалёв А.В.

Нормоконтролер:
к.т.н. Ковалёв А.В.

Гомель 2019

Оглавление

	стр.
Введение.....	6
Глава 1 Обзор модулей сбора данных	8
1.1 Мониторинг технологического оборудования	8
1.2 Модули сбора данных о режимах работы технологического оборудования.....	9
1.2.1 Промышленный регистратор технологических параметров КИПиА DataBox	12
1.2.2 Видеографические регистраторы Ш9329А НПФ «Сенсорика»	15
1.2.3 Регистраторы безбумажные Мемограф-М.....	17
1.3 Выводы по главе	18
Глава 2 Обзор датчиков технологических величин	20
2.1 Измерение технологических параметров	20
2.2 Термопары	21
2.2.1 Подключение термоэлектрических преобразователей (термопар)	25
2.3 Термопреобразователи сопротивлений	26
2.3.1 Подключение термопреобразователей сопротивлений	27
2.3.2 Двухпроводная схема	27
2.3.3 Трёхпроводная схема.....	28
2.3.4 Четырёхпроводная схема	28
2.4 Подключение датчиков с помощью нормирующих преобразователей	29
2.5 Подключение датчиков по цифровому интерфейсу RS-485	33
Глава 3 Проектирование функциональной схемы.....	36
3.1 Проектирование структурной схемы.....	36
3.2 Проектирование функциональной схемы модуля	37
3.2.1 Микроконтроллер	37

3.2.2 Блок усиления и нормализации сигналов	40
3.2.3 Драйвер интерфейса RS-485	41
3.2.4 Модуль карты SD	41
3.2.5 Дисплей и клавиатура.....	41
3.2.6 Модуль Wi-Fi.....	42
Глава 4 Проектирование принципиальной схемы.....	43
4.1 Выбор микроконтроллера	43
4.2 Расчет блока усиления и нормировки сигналов	46
4.3 Выбор драйвера RS-485.....	50
4.4 Выбор модуля SD Flash карты.....	52
4.5 Модуль Wi-Fi.....	53
4.6 Дисплей и клавиатура.....	55
4.7 Расчет блока питания.....	57
4.8 Разработка программного обеспечения.....	59
4.8.1 Алгоритм подпрограммы обработки клавиатуры	62
4.8.2 Алгоритм синхронизации работы	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67
Приложение А	69

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Данная работа посвящена исследованию построения систем регистрации технологических параметров промышленного оборудования.

Существует необходимость реализации дистанционного контроля и мониторинга работы промышленного оборудования, режимов их обслуживания. Вследствие этого особую роль приобретают системы контроля и мониторинга параметров работы с использованием унифицированных датчиков.

Для обеспечения требуемого качества выполняемых работ на технологическом оборудовании, требуются недорогие, адаптированные к работе в жестких условиях эксплуатации приборы мониторинга и накопления параметров работы технологического оборудования. Это позволит контролировать на месте и при помощи диспетчера параметры работы дорогостоящих исполняющих механизмов и параметры выполняемого технологического процесса.

В выборе аппаратных и программных средств решающими факторами являлись высокая надежность элементной базы и устойчивая к сбоям операционная система.

Цель диссертационной работы – разработка аппаратно – программной части модуля сбора данных о режимах работы технологического оборудования по каналу Wi-Fi. .

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Проанализированы основные параметры работы технологического оборудования и способы их контроля инструментальными средствами;
2. Разработаны функциональная схема и электрическая принципиальная схема модуля сбора данных о режимах работы технологического оборудования;
3. Разработаны основные элементы программной реализации функционирования модуля.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались:

– всесторонний анализ выполненных ранее научно-исследовательских работ по теме исследования.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, подтверждена полнотой теоретических и практических исследований.

Научная новизна работы заключается в следующем:

–Разработаны схемы электрические функциональная и принципиальная модуля сбора данных о режимах работы технологического оборудования.

Основные практические результаты диссертации. В ходе выполненной работы разработаны функциональная схема модуля сбора данных о режимах работы технологического оборудования с каналом Wi-Fi. Разработана электрическая принципиальная схема модуля сбора данных с элементами программной поддержки.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на XVIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Исследование и разработка в области машиностроения, энергетики и управления» г. Гомель, 26-27.04.2018.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, двух приложений; количество страниц 68, 25 иллюстраций , число наименований использованной литературы 21 на 2 страницах.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бурное развитие радиотехники и электроники порождает создание большого количества телеметрических систем «измерения текущих параметров» в различных отраслях науки и техники, таких как: узлы магистральных линий связи; сельское хозяйство; водоснабжение и водоотведение; оборона и космос; разведка; ракетная техника; авто- и мотоспорт; бурение наклонных скважин; системы глобального позиционирования (в том числе спутниковый мониторинг транспорта); энергетика; мониторинг дата-центров; системы безопасности; умные дома; исследование дикой природы; телемедицина.

В качестве среды передачи данных используются как беспроводные (радио, GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE), так и проводные (телефонные, ISDN, xDSL, компьютерные) сети (электрические или оптические). Среди огромного разнообразия реализаций систем телемониторинга существует необходимость выделения единой стандартизированной аппаратно-программной части, которая должна иметь возможность применения в большинстве телесистем. Данная аппаратно-программная часть должна обладать малыми габаритными размерами, весом, энергопотреблением и обеспечивать возможность регистрации, обработки и передачи в глобальную компьютерную сеть собранной информации. Аппаратно-программная часть также должна обеспечивать быстрое её перепрограммирование для возможности использования в различных системах.

Современные системы регистрации и обработки показаний разнообразных датчиков (параметров окружающей среды, физических процессов, биометрических показателей и др.) ориентированы, на работу в условиях узкой, специфической области применения. Эти ограничения обычно связаны с физическими условиями функционирования системы, типами и спецификациями используемых датчиков, применяемыми каналами связи. Строго определенная, заранее заданная область использования системы, ограничения, накладываемые ее структурными компонентами, в частности датчиками какого-либо конкретного типа, делают подобные системы негибкими, нацеленными лишь на строго определенную работу. Перестройка подобных системы для решения других задач, даже схожих с базовой, подчас совершенно невозможна. Новая задача требует разработки новой системы.

Поэтому актуальной является задача разработки универсального модуля сбора данных о режимах работы технологического оборудования, который позволит :

- работать с широким спектром внешних датчиков, в том числе с интеллектуальными датчиками, имеющими собственные встроенные алгоритмы регистрации и обработки показаний;

- выполнять быстрое перепрограммирование, адаптацию к требуемым условиям функционирования.

ГЛАВА 1

ОБЗОР МОДУЛЕЙ СБОРА ДАННЫХ

1.1 Мониторинг технологического оборудования

Мониторинг — процесс сбора, обработки, хранения, передачи, анализа и визуализации данных с технологического оборудования, а также формирование информации и сигналов на их основе. Машинные данные, получаемые в процессе производства непосредственно с оборудования, самым достоверным образом отображают процесс изготовления продукции, его технологические и количественные параметры. Автоматизированная обработка машинных данных открывает путь к повышению эффективности производства и переходу на новый технологический уровень. Цель создания автоматизированной системы мониторинга — собрать в единый контур все технологические и производственные данные для перехода от управления по результатам к управлению производством в реальном времени. Получить достоверную информацию для улучшения планирования производства, конструирования изделий и технологической подготовки, увеличения ресурса оборудования. [1]

Применение системы мониторинга позволяет:

- выпускать продукцию в соответствии с планом (не срывать заказы);
- поддерживать стабильность технологии (уменьшить брак, недоработки, переделки), ускорить переналадку производства, оптимизировать ТП (скорость, точность, трудоемкость, ресурсоемкость);
- поддерживать оборудование в работоспособном состоянии, предотвращать отклонения (остановки, простои), аварии (или уменьшить их последствия);
- снизить ресурсоемкость (рабочее и машинное время, материалоемкость, износ инструмента, незавершенное производство, брак, расходные материалы и т. д.);
- снизить нагрузку на персонал и требования к его квалификации.

Математический аппарат, заложенный в систему мониторинга, позволяет выявить неочевидные взаимосвязи между факторами производства, в том числе с применением технологий BigData. Например, построить рейтинги производительности станков, станочников или инструмента. Ранжировать влияние на отклонения (причины брака) сырья,

инструмента, исполнителей. Применять статистические методы для поддержания стабильности технологии и качества продукции.

Для достижения этих целей система мониторинга должна производить непрерывный сбор данных. Приведем ниже основные источники входных данных:

- ручной ввод, когда сотрудник вводит в систему информацию, автоматическое получение которой не настроено, или экспертную оценку ситуации;
- специализированное оборудование: контроллеры, предназначенные для сбора информации о производстве, цифровые измерительные приборы и т. п.
- штатное оборудование: контроллеры и вычислительные устройства, являющиеся частью технологического оборудования и производственных линий (например устройство ЧПУ станка);
- стандартный протокол передачи данных. Использование универсальных протоколов (OPC, Euromap, MTconnect и т. п.), как правило, сопровождается потерей функциональности и эффективности;
- проприетарное ПО, разрабатываемые производителем оборудования для его использования и подключения к информационным системам;
- драйверы оборудования, разрабатываемые специально для управления устройством из информационных систем и контроля его состояния.
- внешнее оборудование: некоторые устройства, логически объединяемые в единую систему (например, температурные или вибродатчики, измерительные устройства и т. д.)
- внешние данные, уже собранные или обработанные другими системами.

Проведем обзор представленных на рынке решений по сбору о режимах работы технологического оборудования и выберем одно из них в качестве прототипа для дальнейшей разработки.

1.2 Модули сбора данных о режимах работы технологического оборудования

Современные модули сбора данных о режимах работы технологического оборудования – это многофункциональные электронные

регистраторы, которые наглядно демонстрируют эффективность замены парка бумажных самописцев.

Зарубежные производители электронных регистраторов уже достаточно давно работают на нашем рынке. Среди них стоит отметить давно известные отечественным специалистам фирмы.

Во-первых, это Yokogawa с серией самописцев и станций сбора данных DX100/DX200, AX100, CX1000/2000. Самописцы производства Yokogawa являются для многих специалистов неким примером, на который нужно равняться. Отличный дизайн приборов, широкие возможности в области математических операций и обработки сигналов, объемное и функциональное ПО как прикладное, так и встроенное – это и многое другое позиционирует данные регистраторы в качестве отличного варианта замены бумажных самописцев. Однако есть одно «но» – это цена. Кроме того, эти приборы достаточно сложны в освоении – меню прибора сильно «перегружено» и не русифицировано.

Еще один известный зарубежный производитель контрольно-измерительных приборов – Jumo. В составе номенклатуры производимого оборудования данной фирмы есть серия электронных самописцев Logoscreen. Приборы имеют удачные конструктивные решения, функциональные возможности и многие другие достоинства.

Стоит сказать также о серии регистраторов Мемограф/Экограф (Endress+Hauser), поставляемых Челябинским заводом «Теплоприбор», которые получили наибольшее распространение из импортных регистраторов на территории РФ.

Из российских производителей электронных самописцев в первую очередь можно отметить Метран с регистратором Метран-900, получивший достаточно широкое применение на предприятиях и объектах энергетики. Конечно, Метран-900 далеко не идеален с технической точки зрения. Монохромный дисплей, «относительная» универсальность каналов измерения (имеется в виду то, что для подключения различных типов первичных преобразователей применяются различные блоки коммутации), а также небольшой выбор способов отображения информации и малая информативность дисплея – все это и многое другое не позволяют достойно конкурировать данному прибору с появившимися более современными аналогами. [2]

В таблице 1.1 дано краткое описание представленных на рынке модулей для сбора данных о работе технологического оборудования.

Таблица 1.1 – Обзор модулей для сбора данных (регистраторов)

OMR700	Скоростной многоканальный электронный регистратор модульной конструкции с возможностью расширения каналов измерения до 96. Любые входные сигналы. Самая компактная модель. Модули расширения устанавливаются в корпус регистратора. Размер передней панели 150x150 мм. Сенсорный экран высокого разрешения. Память. USB. Передача данных. Архивация. Температура эксплуатации - 20...+60С. Сбалансированная цена. Заменяет самопишущие приборы использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.)
ЭР-12	Регистратор безбумажный многоканальный модульный имеет 15'' (дюймовый) сенсорный экран в базовой комплектации. До 64 независимых каналов ВВОДА-ВЫВОДА, набираемых за счет встроенных и выносных (любых производителей) модулей расширения. До 32 каналов ПИД регулирования. Передача данных в систему верхнего уровня производится по локальной сети Ethernet, Modbus или через USB Flash накопитель. Заменяет самопишущие приборы использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.)
ИНТЕГРАФ 1000	Регистратор безбумажный видеографический. 8-ми и 16-ти канальное исполнение по входным аналоговым сигналам. Разнесенные модули ВВОДА-ВЫВОДА. 7'' и 10''(дюймовый) сенсорный экран. Запись входных и выходных сигналов. Перенос данных USB Flash. Связь RS-485 и Ethernet. Заменяет самопишущие приборы использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.)
DataBox	Самописец электронный DataBox, предназначен, для архивирования и регистрации сигналов от любых КИПиА имеющих на выходе интерфейс RS-485 и поддерживающие протоколы ModBus RTU или RNet. Перенос накопленных данных с прибора, через USB разъем, при помощи внешнего USB – Flash –накопителе (Флешки).
РТН-2	Индикатор - регистратор напряжения и тока трехфазной сети переменного тока 220/380В. Программируемое, микропроцессорное, стационарное устройство, монтируемое на DIN-рейку. Шести канальный прибор с тремя «ВХОДАМИ» по напряжению от 150 до 300В и тремя «ВХОДАМИ» по току от 5 до 400А. Производит запись в архив аварийных колебаний напряжения и тока по всем вводам...
МТМ-РЭ-160 мини	Универсальный компактный прибор 96x48 мм., предназначен для накопления (архивирования) на электронном носителе, хранения и отображения информации на цветном дисплее о состоянии технологического параметра, заданного сигналами любых датчиков по двум каналам, регулирования (сухой контакт), наличие интерфейса RS485. Заменяет самопишущие приборы использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.)
МТМ-РЭ-160-01	Прибор предназначен для накопления (архивирования) в энергонезависимой памяти, хранения и отображения информации о состоянии технологического параметра, заданного сигналами постоянного тока 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА по шести независимым, гальванически развязанным каналам; а также для замены самопишущих

	приборов, использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.).
МТМ-РЭ-160-02	Прибор предназначен для накопления (архивирования) в энергонезависимой памяти, хранения и отображения информации о состоянии технологического параметра, заданного сигналами термоэлектрических преобразователей (ТП), термометров сопротивления (ТС), сигналами постоянного тока 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА, напряжения постоянного тока 0...100 мВ по шести каналам. Служит для замены самопишущих приборов, использующих бумажные носители (КСП, КСМ, РП160 и др.)

1.2.1 Промышленный регистратор технологических параметров КИПиА DataBox



Рисунок 1.1 - Промышленный регистратор технологических параметров КИПиА DataBox

Самописец электронный DataBox, предназначен, для архивирования и регистрации сигналов от любых КИПиА имеющих на выходе интерфейс RS-485 и поддерживающие протоколы ModBus RTU или RNet. Перенос накопленных данных с прибора, через USB разъем, при помощи внешнего USB – Flash –накопителе (Флешки).[3]

Самописец электронный DataBox является «Мастером», и самостоятельно инициирует передачу данных по протоколу. В сеть к прибору, для сбора и архивирования сигналов, можно подключить до 247 любых устройств поддерживающих протоколы ModBus RTU и RNet. Подключенные устройства будут считаться «Ведомым». Предварительно, перед монтажом самописца, для создания списков опрашиваемых приборов и их параметров, через кабель USB А – USB В производится программирование регистратора DataBox на ПК, с предустановленным ПО

SetMaker из комплекта поставки. Программное обеспечение достаточно простое, с ней справятся специалисты даже с начальным уровнем подготовки.

Самописец электронный имеет встроенную память 1 Гб для записи и архивирования поступающих данных, с защитой последних от несанкционированного изменения. Встроенные, энергонезависимые часы реального времени, позволят настроить периоды опроса «Ведомых» приборов. Реализована возможность применения фильтров, для обработки поступающих сигналов. Компактный корпус с монтажом на DIN-рейке. На передней панели установлены индикаторы работы и ошибок.

Прибор выпускается в двух исполнениях с питанием 220В переменного тока и 24В постоянного тока. В процессе программирования питание осуществляется по USB кабелю.

Самописец электронный DataBox разрабатывался для закрытия потребности в нише простых и доступных самописцев-регистраторов, при построении систем сбора и архивирования данных.

Применяется для регистрации и архивировании сигналов, поступающих от контрольно-измерительных приборов и автоматики, первичных преобразователей типа: датчиков температуры, давления, уровня, тока, напряжения, перемещения и др.

DataBox, окажется незаменим когда приходится сталкиваться с необходимостью доработать запущенную систему до возможности регистрации и архивирования данных, или, создается новая система, где установка достаточно дорогих регистраторов не вписывается в выделенный бюджет или считается нерациональным. Будет востребован, когда возникает необходимость, производить запись и архивирование данных с групп приборов, удаленных на достаточное расстояние от базовой станции, и есть определенные технические ограничения в прокладке более длинных сетей или создания радиоканалов. Прибор может стать рабочей лошадкой в получении навыков программирования сетей начального уровня.

Таблица 1.2 – Технические характеристики DataBox

Объем внутренней памяти, не менее	1 Гб (этого объема памяти достаточно для записи 10 параметров с периодом 1 с. в течение 200 суток)
Максимальное количество приборов в сети,	247

продолжение таблицы 1.2

Максимальное число записываемых параметров	250	
Тип интерфейса	RS-485	
Поддерживаемые протоколы	ModBus RTU, RNet	
Скорость сетевого обмена	1200...115200 бит/с	
Поддерживаемая файловая система USB Flash носителя	FAT16, FAT32	
Режимы записи данных в DataBox	- до заполнения памяти с остановкой - до заполнения памяти с последующей перезаписью по принципу FIFO	
Режимы записи данных в USB flash	- запись всей памяти с накопителя - запись участка данных с момента последней записи	
Индикация аварийных ситуаций	- нарушение связи с приборами накопителя - переполнение накопителя - переполнение USB flash носителя	
Питание часов реального времени	литиевая батарея, срок работы 10 лет	
Настройка накопителя	технология SetMaker, USB-порт	
Условия эксплуатации:	температура: от 0 до 50 °С влажность: 80 % при 35 °С	
Масса, не более	800 г	
Габаритные размеры, мм	70 x 90 x 58	
Монтаж	DIN-рельс	
Характеристики питания	DataBox-220	DataBox-24
Гальваническая изоляция: - цепи питания – цепи интерфейса RS-485	D1500 В, 50 Гц>	нет
Номинальный диапазон напряжений питания прибора	~85...265 В, 50 Гц>	10...30 В
Потребляемая мощность, не более	15 ВА	5 Вт
Соответствие требованиям электробезопасности (ГОСТ 12.2.007.0)	Класс 2	Класс 3
Гарантия	36 месяцев.	

1.2.2 Видеографические регистраторы Ш9329А НПФ «Сенсорика»

Серия Ш9329А состоит из 5 различных моделей, различающихся типом ЖК дисплеев, количеством каналов измерения и конструктивным исполнением. В таблице 1.3 представлены основные технические характеристики видеографических регистраторов серии Ш9329А. Регистраторы выпускаются в общепромышленном исполнении, в исполнении искробезопасными входными цепями, в исполнении для объектов атомной энергетики (приемка ГАН). [2]

Накопленный опыт производства и внедрения приборов позволяют НПФ «Сенсорика» непрерывно совершенствовать регистраторы. Постоянная обратная связь, идущая непосредственно от конечного потребителя, позволяет нашим специалистам опережать наших конкурентов по техническим новшествам, примененным в приборах. Часто именно пожелания заказчиков учитываются при модернизации программного обеспечения (далее ПО), поставляемого с приборами.

Так, например, были введены функции математической обработки сигналов; сейчас в приборах Ш9329А-013 и Ш9329А-15, как и в лучших импортных регистраторах, предусмотрена возможность дополнительной обработки информации. Кроме обычных физических каналов измерений можно конфигурировать математические каналы, результаты которых получаются путем математической обработки результатов одного или нескольких физических каналов:

- математический канал типа «формула» позволяет задавать формулу вычислений со знаками арифметических операций и скобками, аргументами формулы можно задавать физические или математические каналы и константы;

- математический канал типа «интеграл – счетчик» позволяет вычислять интеграл от показаний аналогового канала и сумму импульсов от числоимпульсного канала. Типичный пример применения – вычисление по показаниям датчиков скорости расхода;



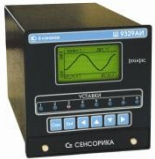

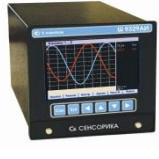
- математический канал типа «скорость» позволяет вычислять скорость изменения аналогового канала и частоту импульсов числоимпульсного канала;

- математический канал «счет времени» показывает суммарное время наличия сигнала на заданном релейном входе. Типичный пример применения

– счет суммарной наработки агрегата, счет суммарного простоя и т.п.

- математический канал типа «ПИД-регулятор» реализует формулу ПИД-регулирования, результат которой направляется на релейные или аналоговые выходы прибора. Это позволяет использовать приборы в качестве ПИД-регуляторов. Совмещение функций регистратора и ПИД-регулятора не является типичным для большинства импортных регистраторов. Однако во многих ответственных применениях требуется не только ПИД-регулирование, но и контроль, и документирование регулируемого параметра. Контроль необходим и для выявления ситуаций когда параметры регулируемого объекта (загрузка печи и т.п.) изменились настолько, что требуется перенастройка ПИД-регулятора. В таких применениях совмещение функций регулирования и регистрации удобно, экономически целесообразно и позволяет использовать один и тот же датчик и для регулирования, и для контроля регулируемого параметра.

Таблица 1.3 - Видеографические регистраторы Ш9329А НПФ «Сенсорика»

Параметр	<i>Тип регистратора серии Ш9329А (Видеографические)</i>				
	29.010	29.011	29.012	29.013	29.015
					
Число каналов измерения	1	2	8	16 Гальваноразвязка (опция)	6 Гальваноразвязка
Кол-во уставок на канал измерения	4				
Типы сигналов (НСХ первичных преобразователей)	<p>-термопреобразователи сопротивления: 50П, 100П, Pt100, Pt50, 50М, 100М, 100'М, 50'М, гр. 23, гр. 21</p> <p>-термоэлектрические преобразователи: ТВР (А-1, А-2, А-3), ТПР, ТПП(С, R), ТХА(К), ТХК(Л), ТМК, ТЖК, ТММ</p> <p>-сигналы постоянного тока и напряжения: 0...100 мВ, 0...1 В, 0...10 В, 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА</p>				
Период опроса каналов, сек.	0,05...0,32	0,125...0,5	0,4...1,25	1,5...3	1...2,5
Объем Flash памяти	-1Гб	-2Гб	-4Гб	-8Гб	-8Гб
Выходные сигналы регулирования и сигнализации	-4 реле - 3А, -1 аналоговый выход.	-2 реле - 2А, -7 реле - 0,1 А.	-2 реле - 2А, -16 реле- 0,1А.	-2 реле - 2 А, -4 реле - 2 А, -16 реле - 0,1 А, -32 реле - 0,1 А.	-2 реле - 2 А, -4 реле - 2 А, -16 реле - 0,1 А.
Тип дисплея	-графический монохромный ЖК-дисплей, цифровой индикатор, круговой барограф	-графический монохромный ЖК дисплей, -цифровые индикаторы	-графический монохромный ЖК дисплей	-цветной ЖК дисплей 5,7"	-цветной ЖК дисплей 5,7"

1.2.3 Регистраторы безбумажные Мемограф-М

Регистраторы безбумажные Мемограф-М предназначены для измерения и регистрации сигналов силы и напряжения постоянного тока, сигналов от термопар и термопреобразователей сопротивления для контроля параметров технологических процессов и осуществления позиционного регулирования.

Мемограф-М представляет собой электронное устройство в металлическом корпусе с дисплеем, клавиатурой, индикаторами. С обратной стороны корпуса прибора расположены колодки для подключения электропитания, входных сигналов, цепей сигнализации, устройств, осуществляющих передачу информации по интерфейсам RS-485, RS-232, Ethernet и USB. На передней панели прибора также имеются разъемы для подключения USB-устройств и SD-карты.

Установка текущего времени, даты, скорости продвижения информации на дисплее, типа и диапазона изменения входного сигнала по любому из измерительных каналов осуществляется с помощью функциональных клавиш. Результаты измерений по каждому каналу представлены на дисплее в единицах измеряемой физической величины. Измерительная информация регистрируется в виде непрерывной кривой в цвете, в циклическом режиме.

Приборы Мемограф-М позволяют осуществлять:

- измерение контролируемых технологических параметров, представленных сигналами от термопреобразователей сопротивлений (ТС), подключенных по трех- или четырехпроводной схеме, от термопар (ТП) с компенсацией температуры свободных концов, силы и напряжения постоянного тока, импульсными сигналами;
- позиционное регулирование;
- регистрацию, отображение и архивирование результатов измерений аналоговых сигналов, состояния цифровых входов и системных сообщений;
- представление результатов измерений в аналоговом и цифровом виде и отображение на видеографическом цветном дисплее;
- математические вычисления по восьми дополнительным каналам;
- обмен данными с внешними устройствами по протоколу Profibus DP, Modbus RTU, Modbus TCP.

Основные метрологические характеристики входных сигналов

приведены в таблице 1.4

Таблица 1.4 – Основные метрологические характеристики

Входной сигнал	Диапазон изменения входного сигнала	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, % от нормирующего значения
Сила постоянного тока	от 0 до 20 мА* от 4 до 20 мА* от 0 до 5 мА	± 0,1
Напряжение постоянного тока	от -150 до +150 мВ от 0 до 1 В* от 0 до 5 В от 0 до 10 В* от -1 до +1 В от -10 до +10 В от -30 до +30 В	
Частота периодических сигналов **	от 5 Гц до 10 кГц	± 0,01
термопара L	от -100 до 650	± 0,15
термопара T	от -200 до 400	± 0,1
термопара K	от -130 до 1370	± 0,1
термопара J	от -100 до 999,9	± 0,1
термопара N	от -100 до 1300	± 0,1
термопара R	от 100 до 1768	± 0,15
термопара S	от 100 до 1768	± 0,15
термопара B	от 600 до 1820	± 0,15
50М, 100М (a = 0,00428 °C-1)	от -180 до 190	± 0,2 %
50П (a = 0,00391 °C-1)	от -190 до 850	
Pt100, Pt500 (a = 0,00385 °C-1) 100П (a = 0,00391 °C-1)	от -200 до 850	± 0,1 %
Pt1000 (a = 0,00385 °C-1)	от -200 до +600	

1.3 Выводы по главе

На основании анализа вышеприведенных прототипов делаем вывод, что разрабатываемый модуль сбора должен осуществлять регистрацию и последующую передачу по каналу Wi-Fi следующих технологических параметров:

- силы постоянного тока;
- напряжений постоянного тока;
- частоты периодических сигналов;
- напряжений термопар с компенсацией холодного спая термопара;
- сопротивлений термопреобразователей;
- информации с датчиков, полученной по интерфейсам CAN,

PROFIBUS DP, MODBUS RTU, MODBUS TCP.

Для дальнейшей того, чтобы определиться с общей архитектурой модуля сбора технологических параметров, провести разбиение на структурные блоки и определить способы взаимодействия блоков друг с другом, необходимо провести анализ следующих вопросов:

- определить тип и диапазон выходных сигналов аналоговых датчиков температуры;

- определить методы нормализации выходных сигналов аналоговых датчиков;

- дать описание интерфейсов цифровых интеллектуальных датчиков;

-

ГЛАВА 2

ОБЗОР ДАТЧИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1 Измерение технологических параметров

В различных отраслях промышленности, науки и сельского хозяйства производятся измерения всевозможных физико-химических технологических параметров. Наибольшее число измерений приходится на температуру, давление, уровень, расход, влажность, вес, кислотность. Измерение параметров производится с помощью соответствующих датчиков. Они осуществляют первичное преобразование физико-химической величины, как правило, в какой-либо электрический параметр: напряжение, ток, сопротивление, емкость, индуктивность (см табл. 2.1). Поэтому датчики еще называют первичными преобразователями. Дальнейшее измерение электрических параметров осуществляется хорошо известными стандартными методами.

Таблица 2.1 – Наиболее распространенные технологические параметры

Физико-химический технологический параметр	Первичный преобразователь	Электрический параметр
Температура	Термопреобразователь сопротивления	Сопротивление (медь, платина)
Температура	Термоэлектрический преобразователь	Напряжение (термоЭДС)
Влажность	Ёмкостной датчик	Ёмкость
Уровень	Ёмкостной датчик	Ёмкость
Вес	Тензодатчик	Сопротивление
Давление	Тензодатчик	Напряжение (пьезоЭДС)

В ряде случаев электрический параметр измеряется непосредственно вторичными измерительными приборами: измерителями, регистраторами, регуляторами и проч. Чаще всего это относится к датчикам температуры. Рассмотрим первичные преобразователи датчиков температуры и схемы

измерения этих параметров

2.2 Термопары

Термопары являются самым распространённым средством измерения температуры в промышленности и лабораториях [3/2012]. Это связано с их широким температурным диапазоном (от -270 до $+2500^{\circ}\text{C}$), обычно удовлетворительной точностью, низкой ценой, взаимозаменяемостью и высокой надёжностью. Термопара представляет собой два провода из различных металлов, соединённых на одном конце (рабочий конец, горячий спай). Вторые концы термопары (свободные концы, холодный спай) соединены со средством измерения напряжения с помощью проводов из металла одного типа, например меди.

Между двумя несоединёнными выводами термопары возникает эдс V_x (рисунок 2.1 а), величина которой зависит от температуры горячего спая T :

$$V_x = E(T), \quad (2.1)$$

где E – функция, которая раскрывается в формуле (2.3).

Для случая, когда температура холодного спая (свободных концов) равна 0°C ($T_{cj} = 0$), зависимость (2.1), а также обратная зависимость $T = E^{-1}(V_x)$ представлены в ГОСТ Р 8.585-2001 [ГОСТ Р 8.5852001] и используются в микропроцессоре модуля ввода в виде градуировочной таблицы или полинома.

Для случая, когда температура холодного спая не равна нулю ($T_{cj} \neq 0$), свободные концы являются источником эдс V_{cj} , величина которой также зависит от температуры: $V_{cj} = E(T_{cj})$. Поэтому напряжение на входе измерителя напряжения термопары будет равно (рисунок 2.1 б)

$$V_x = E(T) - E(T_{cj}). \quad (2.2)$$

Обратим внимание, что для вычисления значений напряжения как холодного, так и горячего спая используется одна и та же градуировочная таблица (полином). Это становится возможным благодаря правилу промежуточных проводов, согласно которому, если контакт двух металлов реализован через промежуточный металл (например, константан и железо соединены через медь, как на рисунке 2.1), то промежуточный металл не

влияет на результирующую ЭДС, если его концы имеют одинаковую температуру. Таким образом, свободные концы термопары, соединённые с измерителем напряжения медными проводами (рисунок 2.1 а), можно рассматривать как второй контакт между константаном и железом.

а

б

а – без компенсации холодного спая б – с компенсацией

Рисунок 2.1 – Измерение сигнала термопары

Измерение температуры с помощью термопары выполняется косвенным методом: сначала измеряются напряжение V_x между свободными концами термопары и их температура T_{cj} .

Затем путём решения уравнения (2) относительно T находится измеряемая температура. Чтобы исключить необходимость решения нелинейного уравнения (2), обычно используется табулированная функция, обратная $V = E(T)$, то есть $T = E^{-1}(V)$, приведённая в ГОСТ Р 8.585-2001. Описанная процедура называется компенсацией температуры холодного спая.

В модулях ввода сигналов термопар указанные нелинейные зависимости обычно хранятся в ПЗУ микропроцессора, и необходимые вычисления выполняются автоматически.

Пользователю нужно только задать тип термопары (в табл. 2.1 приведены типы термопар, их обозначения, классы допуска и допустимые отклонения от номинальной статической характеристики преобразования) и подключить её к модулю ввода.

Температура свободных концов (холодного спая) измеряется встроенным в модуль датчиком температуры (рисунок 2.1 б), в качестве которого чаще всего используется терморезистор.

Очень важно обеспечить хороший тепловой контакт между свободными концами термопары и датчиком их температуры. С этой целью для точных измерений используют медную или алюминиевую пластину, к которой через диэлектрическую прокладку прикрепляются свободные концы

термопары и датчик температуры. Конструкция выполняется таким образом, чтобы были обеспечены не только хороший тепловой контакт пластины с датчиком и термопарными проводами, но и изотермичность поверхности.

Таблица 2.2 – Характеристики термопар

ТИП	ОБОЗНАЧЕНИЕ	МАТЕРИАЛ ПОЛОЖИТЕЛЬ НОГО ЭЛЕКТРОДА	МАТЕРИАЛ ОТРИЦАТЕЛЬ НОГО ЭЛЕКТРОДА	ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЙ, °С	ПРЕДЕЛЫ ОТКЛОНЕНИЙ, °С	КЛАСС ДОПУСКА
J	тжк	Железо, Fe	Константан, Cu -Ж (55% Cu)	0...333 333...900	±2,5 +0,00757	2
K	ТХА	Хромель, Cu - Ni (90,5% Ni)	Алюмель, Ж-А1 (94,5% Ж)	-250...-167 -167...+40	±0,015171 ±2,5	3
T	ТМК	Медь, Си	Константан, Cu-Ж (55% Си)	-200...-66 - 66...+40	±0,0151 T ±1,0	3
E	ТХКн	Хромель, Cr-Ni (90,5% Ni)	Константан, Cu-Ni (55% Cu)	-200...-167 -167...+40	±0,015 T ±2,5	3
N	тнн	Нихросил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	Нисил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	-250...-167 -167...+40	±0,015 T ±2,5	3
R	ТПП	Платина-родий (13% ВН)	Платина, Pt	0...600 600...1600	±1,5 +0,0025 T	2
S	ТПП	Платина-родий (10% ВН)	Платина, Pt	0...600 600...1600	±1,5 ±0,00257"	2
B	ТПР	Платина-родий (30% Rh)	Платина-родий (6% Rh)	600...800 800...1800	±4 +0,005 T	3
L	тхк	Хромель, Cr-Ni (90,5% Ж)	Копель, Cu -Ni (56% Cu)	-200...-100 - 100...+100	+1,5+0,01 T ±2,5	3
M	ТМК	Медь, Cu	Копель, Cu-Ni (56% Cu)	-200...0 0...100	+1,3+0,001 T +1	—
A1, A2, A3	ТВР	Вольфрам-рений, A/-Be (5% Be)	Вольфрам-рений, A/-Be (20% Be)	1000...250 0	±0,00757"	3

Для подключения термопары к модулю ввода применяют специальные термопарные провода, выполненные из того же материала, что и сама термопара. В принципе здесь можно использовать и обычные медные провода, однако в этом случае необходим выносной датчик температуры холодного спая, который должен измерять температуру в месте контакта термопары с медными проводами.

Зависимость напряжения между свободными концами термопары от температуры при условии, что температура холодного спая стабилизирована на уровне 0°C, в стандарте ГОСТ Р описывается полиномом вида [ГОСТ Р 8.5852001]: ,

(2.3)

где A_i – коэффициенты полинома,
 $N = 4 \dots 14$ – степень полинома.

Для обеспечения необходимой точности аппроксимации весь температурный диапазон разбивается на 1–3 поддиапазона, для каждого из которых используется отдельный полином вида (2.3).

Обратная зависимость описывается аналогичным выражением: .

(2.4)

Погрешность такой аппроксимации составляет от $\pm 0,02$ до $\pm 0,05^\circ\text{C}$.

Благодаря стандартизации допусков и номинальных характеристик преобразования термопары являются взаимозаменяемыми без дополнительной подстройки.

Основная проблема построения измерительного канала на базе термопары связана с её малым выходным напряжением (около 50 мкВ на градус), которое гораздо меньше помех, наводимых на элементах измерительной цепи в обычных условиях. Поэтому очень важно правильно выполнить экранирование и заземление проводов, идущих от термопары к модулю ввода. Модуль ввода желательно помещать по возможности ближе к термопаре, чтобы снизить длину проводов, по которым передаётся аналоговый сигнал. Для снижения уровня помех с частотой 50 Гц в модулях ввода используют режекторный фильтр. Важным достоинством термопар является очень низкое внутреннее сопротивление, что делает их практически нечувствительными к ёмкостным наводкам.

Точность термопары зависит от химического состава материала. Внешние факторы, такие как давление, коррозия, радиация, могут изменить кристаллическую структуру или химический состав материала, что приводит к росту погрешности измерений.

Погрешность измерений с помощью термопар складывается из следующих составляющих: _ случайная погрешность, вызванная технологическим разбросом характеристик термопары (зависит от чистоты материалов и точности их процентного содержания в материалах электродов, табл. 2.1);

_ случайная погрешность измерения температуры холодного спая;

- _ погрешность, вызванная постепенной деградацией характеристик при высокой температуре;
- _ систематическая погрешность компенсации нелинейности (погрешность линеаризации) характеристики преобразования температуры в напряжение;
- _ систематическая погрешность термического шунтирования, связанная с теплоёмкостью датчика;
- _ динамическая погрешность;
- _ погрешность, вызванная внешними помехами;
- _ погрешность аналого-цифрового канала.

Погрешность измерения температуры холодного спая, погрешность линеаризации, погрешность аналого-цифрового канала и динамическая погрешность относятся к инструментальным погрешностям и указываются в паспорте на модуль ввода. Другие погрешности необходимо учитывать отдельно, в зависимости от типа использованных термопар, электромагнитной обстановки, характеристик объекта измерения и т.п.

2.2.1 Подключение термоэлектрических преобразователей (термопар)

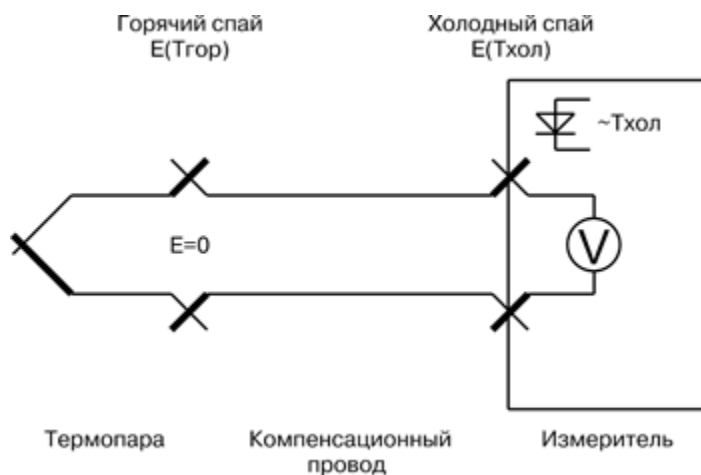


Рисунок 2.2– Схема подключения термопары

Подключение к клеммным соединителям должно производиться либо термопарными электродами того же типа, что и используемая термопара, либо соответствующими компенсационными проводами. При работе с приборами общее сопротивление соединительных проводов не должно превышать 100 Ом. Компенсационные провода обычно дешевле, имеют

необходимую оболочку и меньшее электрическое сопротивление.

Соединение компенсационных проводов как с термопарой, так и с прибором должно производиться с соблюдением полярности. Обычно производители термопар маркируют плюсовой вывод термопары цветным или черным изоляционным материалом. В месте подключения к прибору необходимо исключить локальный нагрев или обдув, а также быстрые изменения температуры.

Перед подключением термопар к клеммным соединителям концы проводов следует зачистить, чтобы удалить окислы, оказывающие влияние на точность измерения.

2.3 Термопреобразователи сопротивлений

Измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления (ТС) основано на температурной зависимости электрического сопротивления металлов, из которого сделан чувствительный элемент ТС. Чувствительный элемент (ЧЭ) обычно изготавливается из меди или платины и конструктивно выполняется в виде проволочной катушки или пленочного покрытия. Чувствительный элемент характеризуется типом Номинальной Статической Характеристики (НСХ) – зависимости сопротивления от температуры. Эта зависимость нелинейная. Для основных типов НСХ зависимости представлены в виде таблиц в ГОСТ 6651-94. Кратко тип НСХ однозначно определяется двумя параметрами: R_0 – сопротивлением ЧЭ при 0°C и W_{100} – отношением сопротивления ЧЭ при 100°C к его сопротивлению при 0°C . Основные типы НСХ и соответствующие им параметры R_0 и W_{100} представлены в таблице. Это наиболее часто применяемые в промышленности типы ЧЭ.

Таблица 2.3 – Типы НСХ

Условное обозначение НСХ	Материал	R_0 , Ом	W_{100}	Допустимый диапазон температур, $^\circ\text{C}$
100М	Медь	100	1,428	-200...180
50М	Медь	50	1,428	-200...180
100П	Платина	100	1,391	-200...750
50П	Платина	50	1,391	-200...750
Pt100	Платина	100	1,385	-200...750

2.3.1 Подключение термопреобразователей сопротивлений

Обычно при измерении температуры с помощью термопреобразователя сопротивления на ЧЭ подают стабилизированный ток возбуждения. В результате на датчике возникает разность потенциалов, пропорциональная сопротивлению, а значит, и измеряемой температуре. Таким образом, измерение температуры сводится к измерению напряжения на ЧЭ.

Термопреобразователи сопротивления могут подключаться по следующим схемам:

- двухпроводная;
- трехпроводная;
- четырехпроводная.

Поскольку ЧЭ имеют малое номинальное сопротивление, сравнимое с сопротивлением подводящих проводов, то должны быть приняты меры по устранению влияния сопротивления подводящих проводов на измерение температуры.

2.3.2 Двухпроводная схема

В простейшей двухпроводной схеме влияние сопротивления подводящих проводов не устраняется. Напряжение измеряется не только на ЧЭ, но и на соединительных проводах.

Двухпроводная схема подключения представлена на рисунке 2.3.

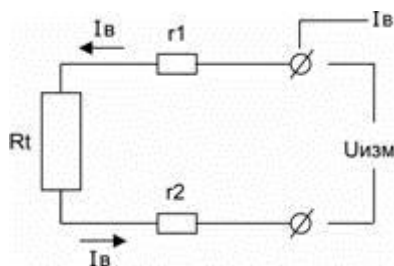


Рисунок 2.3– Двухпроводная схема подключения термосопротивлений

Такая схема может быть использована в случае, если сопротивлением подводящих проводов (r_1, r_2) можно пренебречь по сравнению R_t .

$$U_t = U_{\text{изм}} - U_{r_1} - U_{r_2} \quad (2,5)$$

2.3.3 Трёхпроводная схема

Влияние сопротивления соединительных проводов в трехпроводной схеме устраняется путем компенсации. Компенсация возможна, если соединительные провода одинаковы. В этом случае появляется возможность выделить отдельно напряжение на соединительных проводах и скомпенсировать его.

Равенство сопротивлений соединительных проводов и их температурных зависимостей является основным условием применимости трехпроводной схемы.

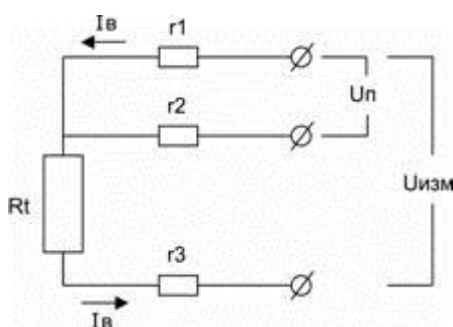


Рисунок 2.4– Трёхпроводная схема подключения термосопротивлений

$$U_t = U_{\text{изм}} - U_{r1} - U_{r2} \quad U_{\text{изм}} - 2U_{\text{п}} \quad (2,6)$$

2.3.4 Четырёхпроводная схема

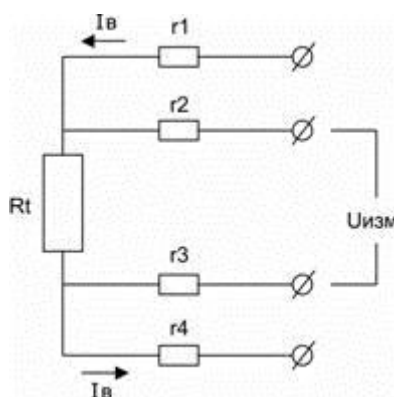


Рисунок 2.5 – Четырёхпроводная схема подключения термосопротивлений

В четырехпроводной схеме питание ЧЭ током возбуждения производится с помощью одних проводов, а измерение разности потенциалов на ЧЭ – с помощью других. Если измерение напряжения производится высокоомным вольтметром (ток через r_2 и r_3 не течет), то влияние сопротивления всех проводов полностью исключается.

$$U_t = U_{\text{изм}} \quad (2,7)$$

Следует учесть, что если измерительный прибор рассчитан на четырехпроводную схему, то датчик к нему можно подключить и по двухпроводной схеме. При этом дополнительная погрешность измерения, вызванная влиянием соединительных проводов, будет иметь величину порядка $(r_2+r_3)/R_t$.

Таблица 2.3 – Погрешности измерения сопротивлений

Схема подключения	Дополнительная погрешность	Примечание
Двухпроводная	$(r_1+r_2)/R_t$	
Трехпроводная	$\Delta r/R_t$	Δr – разность сопротивлений соединительных проводов
Четырехпроводная	$(r_2+r_3)/R_{\text{вх}}$	$R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление вольтметра

2.4 Подключение датчиков с помощью нормирующих преобразователей

Нормирующие преобразователи решают еще одну очень важную задачу. Как было сказано выше, в промышленности применяется огромное разнообразие первичных преобразователей физикохимических величин, каждый из которых имеет свой выходной электрический сигнал. Чтобы избежать такого же разнообразия вторичных измерительных и регулирующих приборов, датчики оснащаются нормирующими преобразователями, которые преобразуют различные сигналы первичных преобразователей (термопар, термопреобразователей сопротивления, влажности, давления, веса, рН и проч.) в унифицированные сигналы постоянного тока или напряжения. Происходит нормирование и стандартизация сигналов связи. На функциональной схеме мы видим, как один многоканальный вторичный измерительный прибор, рассчитанный на один тип унифицированного сигнала, работает с датчиками различных физико-химических параметров.

Рисунок 2.6 – Функциональная схема подключения датчиков к модулю сбора технологических параметров

Если говорить более широко, унифицированные сигналы применяются для связи не только датчиков, но и других устройств промышленной автоматики: регистраторов, регуляторов, контроллеров, исполнительных механизмов и проч. Применение унифицированных сигналов регламентировано ГОСТ 26.011-80 [19]. Стандарт устанавливает допустимые диапазоны унифицированных сигналов, а также вводит ограничения на величину сопротивления источников и приемников этих. Приведем ниже в таблицах выдержку из стандарта, в которой указаны все возможные значения унифицированных сигналов

Таблица 2.4 – Унифицированные сигналы постоянного тока

Пределы изменения силы тока, мА		Максимальное сопротивление, Ом	
сигналов СИА, не входящих в АК	сигналов СИА, входящих в АК	входное, не более	нагрузочное, не менее
От 0 до 5 включ.	От 0 до 5 включ.	500	2500 (2000)
От -5 до +5 включ.	От -5 до +5 включ.	500	2500 (2000)
От 0 до 20 включ.	От 0 до 20 включ.	250	1000 (500)
От 4 до 20 включ.	От 4 до 20 включ.	250	1000 (500)
От -20 до +20 включ.*	-	250	1000 (500)
От -100 до +100 включ.*		150	250 (100)

Таблица 2.5 – Унифицированные сигналы постоянного напряжения

Пределы изменения напряжения, В		Минимальное сопротивление, Ом	
сигналов СИА, не входящих в АК	сигналов СИА, входящих в АК	входное, не менее	нагрузочное, не более
От 0 до 0,01 включ.*	-	10000	-
От 0 до 0,05 включ.*			
От 0 до 0,10 включ.*			
От 0 до 1 включ.			
От -1 до +1 включ.			
От 0 до 5 включ.	От 0 до 5 включ.	-	1000
От 1 до 5 включ.	От 1 до 5 включ.		1000
От -5 до +5 включ.	-	-	1000
От 0 до 10 включ.	От 0 до 10 включ.		2000
От -10 до +10 включ.	От -10 до +10 включ.		2000
От 2,4 до 12,6 включ.	-		-
От -2,4 до -12,6 включ.			

Среди стандартных сигналов тока и напряжения наиболее удобным и популярным является токовый сигнал 4-20 мА. Причины этого в том, что он наилучшим образом решает названные выше проблемы, связанные с передачей сигналов от удаленных датчиков к вторичным измерительным приборам.

Сигналы первичных преобразователей, как правило, очень малы. Например, сигналы термопар обычно меньше 50 мВ. В промышленных условиях сильные электромагнитные помехи могут создавать паразитные сигналы, в сотни и тысячи раз превышающие полезные. Сильные токовые сигналы уровня 4-20 мА работают на низкоомную нагрузку, в результате они меньше подвержены такому влиянию.

Для передачи токовых сигналов можно использовать соединительные провода, более дешевые по сравнению, например, с компенсационными. При этом требования к величине их сопротивления также могут быть снижены.

Поясним сказанное. Нормирующий преобразователь, который формирует токовый сигнал 4-20 мА, является источником стабильного тока с очень большим выходным сопротивлением: $r \gg R_{ш}, R_{пр}$, где r – дифференциальное выходное сопротивление нормирующего преобразователя, $R_{ш}, R_{пр}$ – соответственно сопротивления шунта в измерительном приборе и соединительных проводов.

Рисунок 2.7 – Функциональная схема подключения датчика

Поскольку величина тока I не зависит от сопротивления нагрузки, а $V_{\text{изм}} = I \cdot R_{\text{ш}}$, то сопротивление проводов не влияет на результат измерения. Для оценки можно принять, что дополнительная относительная погрешность, связанная с влиянием сопротивления нагрузки ($R_{\text{пр}} + R_{\text{ш}}$), равна

$$\delta = (R_{\text{пр}} + R_{\text{ш}}) / (r + R_{\text{пр}} + R_{\text{ш}}) \quad (R_{\text{пр}} + R_{\text{ш}}) / r. \quad (2.8)$$

Для характерных значений $r=1\text{МОм}$, $R_{\text{пр}}=500\text{ Ом}$, $R_{\text{ш}}=50\text{ Ом}$, имеем $\delta < 0,06\%$.

С другой стороны, в такой высокоомной цепи источник электромагнитных помех $E_{\text{эм}}$ не в состоянии создать сколько-нибудь заметное по сравнению с полезным сигналом $V_{\text{изм}}$ напряжение на низкоомном шунте $R_{\text{ш}}$. Напряжение помехи, измеренное прибором, будет равно:

$$V_{\text{п}} = E_{\text{эм}} \cdot (R_{\text{ш}} / r). \quad (2.9)$$

При $E_{\text{эм}} = 1\text{ В}$, напряжение помехи будет составлять $V_{\text{п}} = 50\text{ мкВ}$. Полезный сигнал при $I = 20\text{ мА}$ имеет величину 1 В . Таким образом, отношение помехи к полезному сигналу имеет порядок 10^{-4} , а величина $(r/R_{\text{ш}})$ показывает степень подавления электромагнитных помех.

Нетрудно показать, что при работе с сигналами напряжения сигнал помехи $V_{\text{п}}$ практически равен $E_{\text{эм}}$. Это демонстрирует преимущество токовых сигналов при работе в условиях сильных электромагнитных помех по сравнению с сигналами напряжения.

В заключение отметим, при работе с токовым сигналом $4\text{-}20\text{ мА}$ легко обнаружить обрыв линии связи – ток будет равен нулю, т.е. выходить за

возможные пределы. Обрыв в цепи с сигналом 0-5 мА обнаружить нельзя, так как ток, равный нулю, считается допустимым. Для обнаружения обрыва в цепях с унифицированными сигналами напряжения (0-1В или 0-10В) приходится применять специальные схемотехнические решения, например, «подтяжку» более высоким напряжением через высокоомный резистор.

2.5 Подключение датчиков по цифровому интерфейсу RS-485

Интерфейс RS-485 - широко распространенный высокоскоростной и помехоустойчивый промышленный последовательный интерфейс передачи данных. Практически все современные компьютеры в промышленном исполнении, большинство интеллектуальных датчиков и исполнительных устройств, программируемые логические контроллеры наряду с традиционным интерфейсом RS-232 содержат в своем составе ту или иную реализацию интерфейса RS-485. [20]

Интерфейс RS-485 основан на стандарте EIA RS-422/RS-485. К сожалению, полноценного эквивалентного российского стандарта не существует, поэтому в данном разделе предлагаются некоторые рекомендации по применению интерфейса RS-485.

Сигналы интерфейса RS-485 передаются дифференциальными перепадами напряжения величиной (0,2...8) В, что обеспечивает высокую помехоустойчивость и общую длину линии связи до 1 км (и более с использованием повторителей). Кроме того, интерфейс RS-485 позволяет создавать сети путем параллельного подключения многих устройств к одной физической линии (мультиплексная шина).

Устройства, подключаемые к интерфейсу RS-485, характеризуются важным параметром по входу приемопередатчика: единица нагрузки (“Unit Load” - UL). По стандарту в сети допускается использование до 32 единиц нагрузки, т.е. до 32 устройств, каждое из которых нагружает линию в 1 UL. В настоящее время существуют микросхемы приемопередатчиков с характеристикой менее 1 UL, например - 0,25 UL. В этом случае количество физически подключенных к линии устройств можно увеличить, но суммарное количество UL в одной линии не должно превышать 32.

В качестве линии связи используется экранированная витая пара с волновым сопротивлением ≈ 120 Ом. Для защиты от помех экран (оплетка) витой пары заземляется в любой точке, но только один раз: это исключает

протекание больших токов по экрану из-за неравенства потенциалов “земли”. Выбор точки, в которой следует заземлять кабель, не регламентируется стандартом, но, как правило, экран линии связи заземляют на одном из ее концов.

Устройства к сети RS-485 подключаются последовательно, с соблюдением полярности контактов А и В (рисунок 2.8):

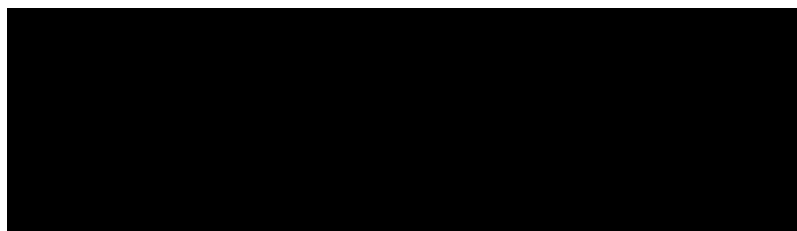


Рисунок 2.8 – Последовательное подключение устройств в шину RS-485

Как видно из рисунка, длинные ответвления (шлейфы) от магистрали до периферийных устройств не допускаются. Стандарт исходит из предположения, что длина шлейфа равна нулю, но на практике этого достичь невозможно (небольшой шлейф всегда имеется внутри любого периферийного устройства: от клеммы до микросхемы приемопередатчика).

Качество витой пары оказывает большое влияние на дальность связи и максимальную скорость обмена в линии. Существуют специальные методики расчета допустимых скоростей обмена и максимальной длины линии связи, основанные на паспортных параметрах кабеля (волновое сопротивление, погонная емкость, активное сопротивление) и микросхем приемопередатчиков (допустимые искажения фронта сигнала). Но на относительно низких скоростях обмена (до 19200 бит/с) основное влияние на допустимую длину линии связи оказывает активное сопротивление кабеля. Опытным путем установлено, что на расстояниях до 600 м допускается использовать кабель с медной жилой сечением 0,35 мм (например, кабель КММ 2x0,35), на большие расстояния сечение кабеля необходимо пропорционально увеличить. Этот эмпирический результат хорошо согласуется с результатами, полученными расчетными методами.

Даже для скоростей обмена порядка 19200 бит/с кабель уже можно считать длинной линией, а любая длинная линия для исключения помех от отраженного сигнала должна быть согласована на концах. Для согласования используются резисторы сопротивлением 120 Ом (точнее, с сопротивлением,

равным волновому сопротивлению кабеля, но, как правило, используемые витые пары имеют волновое сопротивление около 120 Ом и точно подбирать резистор нет необходимости) и мощностью не менее 0,25 Вт – так называемый “терминатор”. Терминаторы устанавливаются на обоих концах линии связи, между контактами А и В витой пары.

В сетях RS-485 часто наблюдается состояние, когда все подключенные к сети устройства находятся в пассивном состоянии, т.е. в сети отсутствует передача и все приемопередатчики “слушают” сеть. В этом случае приемопередатчики не могут корректно распознать никакого устойчивого логического состояния в линии, а непосредственно после передачи все приемопередатчики распознают в линии состояние, соответствующее последнему переданному биту, что эквивалентно помехе в линии связи. На эту проблему не так часто обращают внимания, борясь с ее последствиями программными методами, но тем не менее решить ее аппаратно несложно. Достаточно с помощью специальных цепей смещения создать в линии потенциал, эквивалентный состоянию отсутствия передачи (так называемое состояние “MARK”: передатчик включен, но передача не ведется). Цепи смещения и терминатор реализованы в преобразователе I-7520. Для корректной работы цепей смещения необходимо наличие двух терминаторов в линии связи.

В сети RS-485 возможна конфликтная ситуация, когда 2 и более устройства начинают передачу одновременно. Это происходит в следующих случаях:

- в момент включения питания из-за переходных процессов устройства кратковременно могут находиться в режиме передачи;
- одно или более из устройств неисправно;
- некорректно используется так называемый “мультимастерный” протокол, когда инициаторами обмена могут быть несколько устройств.

В первых двух случаях быстро устранить конфликт невозможно, что теоретически может привести к перегреву и выходу из строя приемопередатчиков RS-485. Однако, такая ситуация предусмотрена стандартом и дополнительная защита приемопередатчика обычно не требуется.

В последнем случае необходимо предусмотреть программное разделение канала между устройствами - инициаторами обмена, так как в любом случае для нормального функционирования линия связи может одновременно предоставляться только одному передатчику.

ГЛАВА 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

3.1 Проектирование структурной схемы

В структуру модуля сбора технологических параметров входят следующие основные блоки:

- микропроцессор;
- фискальная память данных;
- АЦП;
- блок цифровых компараторов;
- модули приема/передачи данных;
- блок ШИМ;
- блок усиления/нормализации уровней сигналов аналоговых датчиков;
- цифровые интерфейсы захвата данных с интеллектуальных датчиков;
- модуль внешних интерфейсов, поддерживающий различные стандарты обмена данными.

Основой является микропроцессор, выполняющий программу, которая содержится во встроенной памяти программ или во внешней памяти. Программа может быть изменена по желанию пользователя под конкретные задачи (обработка показаний датчиков давления, датчиков влажности, датчиков температуры и т.д.).

Система принимает решения исходя из показаний датчиков, которые могут быть подключены по двум типам интерфейсов: аналоговому и цифровому.

Аналоговый интерфейс осуществляет захват показаний датчиков как непосредственно с чувствительных элементов датчиков без промежуточной обработки, так и после встроенных схем усиления датчиков (при наличии таковых), а также выполняет начальную обработку аналоговых сигналов (адаптацию к входным параметрам АЦП).

Для эффективной работы с датчиками, выходные сигналы которых могут находиться в широком диапазоне напряжений, от единиц микровольт до десятков вольт, в структуру системы входит блок усиления\нормализации аналоговых сигналов, в составе которого используется набор операционных усилителей с регулируемым коэффициентом усиления. Слабые сигналы усиливаются, а сильные сигналы ослабляются до рабочих уровней аналого-цифровых преобразователей, осуществляющих оцифровку сигналов

датчиков.

Нормализованные сигналы датчиков поступают на входы АЦП микроконтроллера, который выполняет оцифровку их в масштабе реального времени.

Цифровой входной интерфейс предназначен для получения информации с внешних цифровых датчиков. Прием цифровой информации при этом может производиться по различным видам протоколов: CAN, RS485, SPI, I2C, параллельная шина и др. В этом случае в качестве внешних датчиков могут быть использованы интеллектуальные датчики или аналоговые датчики с внешними АЦП. При этом возможна передача полученной информации на последующую обработку напрямую, минуя обработку данных внутри МК.

3.2 Проектирование функциональной схемы модуля

С учетом п. 3.1 функциональная схема модуля сбора информации выглядит следующим образом (рисунок 3.1)

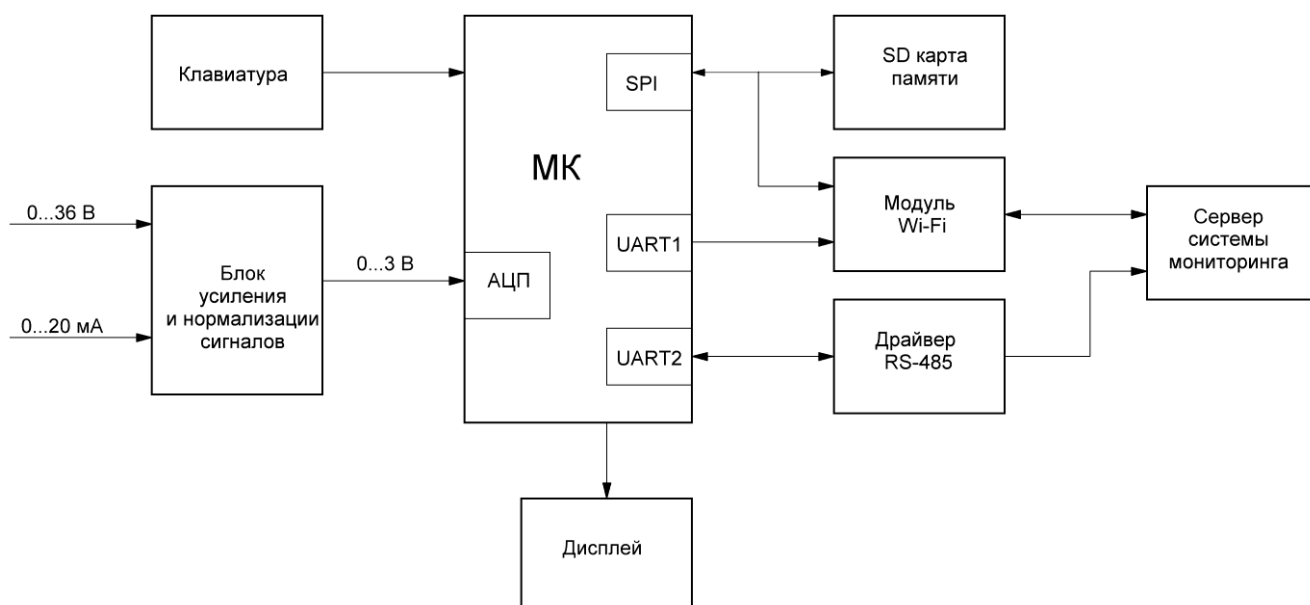


Рисунок 3.1 – Функциональная схема модуля сбора информации

3.2.1 Микроконтроллер

Рационально структурные блоки микропроцессор, АЦП, блок цифровых компараторов, модули приема/передачи данных и ШИМ реализовать не на отдельных микросхемах, а на однокристальном

микроконтроллере с большим количеством периферийных модулей.

Микроконтроллер выполняет следующие основные функции:

- преобразование входных сигналов в цифровой код;
- запись полученных значений на флэш накопитель;
- передача полученных данных на сервер по протоколу Wi-Fi;
- взаимодействие с пользователем через ЖКИ и клавиатуру.

Так же микроконтроллер должен

- вести счет времени (встроенные часы реального времени);
- иметь возможность включения записи при изменении входного сигнала на требуемую величину.

Ведение счета времени позволит однозначно отождествлять записанные данные с временным промежутком, когда они были получены. Эта функция позволит писать данные только тогда, когда они меняют свои значения, что позволит значительно увеличить ресурс накопителя.

Сформулируем требования для микроконтроллера:

- для формирования быстрой, надежной и гибкой системы представляется целесообразным выбор микроконтроллера со следующей архитектурой: – 16 или 32-разрядное процессорное ядро (ЦПУ), работающее на частотах от 20 МГц и выше, обеспечивающее конвейерную обработку команд/данных, что позволит получить высокое быстродействие всей системы с минимальным количеством циклов простоя процессорного ядра;
- быстродействующий 8-16 канальный АЦП с разрядностью 12-16 бит или несколько независимых АЦП, поддерживающих оцифровку как одиночных, так и непрерывно меняющихся сигналов.;
- встроенная память программ и память данных типа Flash, EEPROM объемом 8 К и более;
- ОЗУ объемом 1К и более;
- модули последовательных интерфейсов типа UART, I2C, SPI, CAN;
- параллельные порты ввода\вывода;
- модуль многоканальных широтноимпульсных модуляторов;
- система управления энергопотреблением, обеспечивающая гибкое управление потреблением за счет реализации различных режимов сохранения мощности.

Предъявим требования к основным модулям микроконтроллера с учетом поставленных выше задач.

Аналого-цифровой преобразователь

Разрешающая способность АЦП обеспечивает качество оцифровки сигналов датчиков, так 12-14 битный АЦП способен качественно

преобразовывать слабые или изменяющиеся в небольшом диапазоне амплитуд сигналы. По этой причине, а также с целью оптимизации оцифровки сигналов с различной амплитудой рекомендуется выполнять разработку или использовать СФ блок АЦП с разрешающей способностью 12-14 бит, встроенным усилителем входных сигналов и поддержкой обработки непрерывно меняющихся сигналов. Для уменьшения действия синфазных помех необходимо предусмотреть возможность работы АЦП в режиме дифференциального входа. Оптимальной архитектурой модуля АЦП является схема с независимой обработкой каждого канала, позволяющая задавать настройки преобразования для каждого канала отдельно, либо АЦП, способный работать в режиме сканирования каналов.

Рекомендуемое количество входных каналов АЦП – 8-16.

Часы реального времени RTC.

Наличие модуля часов реального времени RTC с независимым таймером позволит: отсчитывать текущую дату и время; контролировать время наступления событий в масштабе реального времени, запоминать и передавать время прихода сигналов датчиков, измерять длительные интервалы времени, например, между сигналами датчиков.

Модули последовательных интерфейсов.

Контроллеры последовательных интерфейсов предназначены как для обмена данными между блоками универсальной системы, так и для командного управления и обмена данными между системой и внешними устройствами.

В составе микроконтроллера целесообразно предусмотреть следующие модули последовательной передачи информации, обеспечивающие высокую степень универсальности передачи данных за счет обеспечения поддержки ряда широко используемых протоколов:

– Синхронный последовательный интерфейс SPI. Интерфейс предназначен для быстрого синхронного обмена данными между микроконтроллером и фискальной картой памяти.

Протокол SPI должен поддерживать: полнодуплексную, трехпроводную синхронную передачу данных, работу в режимах Master или Slave, обмен данными начиная с «младшего» или «старшего» бита, программирование скорости передачи;

– Двухпроводный последовательный синхронный интерфейс I2C. Модуль должен обеспечивать полную поддержку двухпроводного синхронного интерфейса I2C/SMBus, что позволит обеспечить легкое соединение со многими запоминающими устройствами и устройствами ввода

вывода, включая EEPROM, SRAM, счетчики, АЦП, ЦАП и др. периферийными устройствами. Модуль должен обеспечивать следующие функции: поддержку стандартного (Standart), скоростного (F/S) и высокоскоростного (Hs) режимов; работу в режимах Master или Slave;

– Последовательный интерфейс UART, обеспечивающий синхронный и асинхронный режимы работы. Асинхронные режимы должны быть полнодуплексными, поддерживать 7, 8 и 9 битные пакеты, возможность дополнения данных битом четности при передаче и контроля бита четности при приеме, поддерживать стандартные и широко используемые скорости передачи информации.

CAN-интерфейс

Интеграция в контроллер CAN-интерфейса позволит передавать сообщения с использованием широко распространенного в настоящее время CAN-протокола. Принятая в CAN-сети схема передачи сообщений обеспечит широкие возможности при создании и модернизации системы, а также при подключении новых устройств. CAN использует многоступенчатый механизм исправления ошибок, что существенно повышает помехоустойчивость каналов передачи данных и цепей управления системы.

Параллельные порты ввода/вывода

Микроконтроллер должен иметь несколько стандартных портов ввода/вывода. Оптимальным является совмещение входных линий АЦП с портом ввода цифровых данных, что позволит уменьшить общее количество выводов системы, и присутствие в составе системы квази-двунаправленных портов. Также существенно сократить общее количество внешних выводов микросхемы позволит использование мультиплексной внешней шины, объединенной с параллельными портами ввода/вывода и задействование выводов стандартных портов под альтернативные функции, например, входные и выходные линии последовательных интерфейсов, ШИМ-контроллера

3.2.2 Блок усиления и нормализации сигналов

Блок усиления и нормализации сигналов предназначен для совместной работы с аналоговыми датчиками с целью оптимизации характеристик выходного сигнала аналоговых датчиков и подгонке их к оптимальному диапазону работоспособности АЦП. Блок должен обеспечивать усиление слабого сигнала аналоговых датчиков до требуемого уровня, достаточного

для выполнения качественного преобразования с помощью АЦП и приведение амплитуды сигнала к требуемой за счет усиления, ослабления, «притягивания» сигнала к диапазону преобразования АЦП. При разработке блока целесообразно использовать малошумящие операционные усилители с широким диапазоном коэффициента усиления, а сам блок должен обеспечивать перестройку усиления. Оптимальным является реализация, в которой перестройка выполняется автоматически или с помощью управляющих сигналов системы.

Крайне важным представляется обеспечение поддержки блоком усиления и нормализации работы с датчиками, имеющими пониженное напряжение питания и низкие уровни выходного сигнала, сопоставимые с утечками.

3.2.3 Драйвер интерфейса RS-485

Разрабатываемый модуль считывания технологических параметров подключается к интеллектуальным цифровым датчикам по протоколу RS-485. Для этого необходимо применение соответствующих драйверов, который будет реализовывать согласование уровней микроконтроллера и протокола RS-485.

3.2.4 Модуль карты SD

Модуль карты SD служит в качестве устройства хранения накопленных данных. Модуль FLASH-памяти рассчитан на 180.000 записей, обеспечивая их хранение в течение длительного времени (до 10 лет) даже в случае отключения питания устройства. Модуль карты SD в регистраторе должен быть построен по принципу кольцевого накопителя. Это означает, что при заполнении модуля памяти, каждая новая запись будет записываться на место наиболее старой записи на текущий момент, обеспечивая максимум актуальности хранимой информации. Для подключения карты памяти по протоколу SPI необходима установка специального разъема.

3.2.5 Дисплей и клавиатура

Взаимодействие с пользователем производится с помощью клавиатуры и индикатора. Для управления модулем сбора информации данных

достаточно четырех кнопок: «ВВОД», «ОТМЕА», «+» и «-». Для отображения основных параметров устройства применим дисплей, на который будем выводить: состояние устройства (работа, ожидание), статистику заполненной памяти (количество и длина каждой записи) и основные функции («частота опроса», «стирание», «работа с ПК», передача данных и т.п.).

3.2.6 Модуль Wi-Fi

Модуль Wi-Fi выполняет функцию передачи информации, расположенной в фискальной памяти от микроконтроллера на головной сервер системы мониторинга по радиоканалу.

Общие требования к модулю:

- протоколы IEEE 802.11 b/g/n;
- поддерживаемые типы шифрования: WEP, WPA, WPA2;
- интерфейсы подключения к МК: UART, SPI;
- рабочий диапазон температур -40 — $+70^{\circ}\text{C}$

ГЛАВА 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ

4.1 Выбор микроконтроллера

Во третьей главе были определены критерии выбора микроконтроллера:

разрядность МК, бит 16;

АЦП каналов, шт 8;

наличие модуля USB да;

наличие модуля SPI да;

наличие модуля UART да;

Данным критериям полностью удовлетворяет микроконтроллер производства фирмы Microchip PIC24FJ64GA004.

УГО микроконтроллера представлено на рисунке 4.1.

Рисунок 4.1 – УГО PIC24FJ64GA004

Контроллер выполнен по высокоскоростной энергосберегающей КМОП технологии. К основным достоинствам семейства PIC24FJ микроконтроллеров можно отнести:

–Выполнение команды за 2 такта генератора;

–Гарантированное время отклика на прерывание – 5 командных тактов;

–Доступ к памяти (в том числе инструкции чтения-модификации-

записи) за 1 командный такт;

- Аппаратный умножитель;
- Аппаратный делитель 32/16 и 16/16 чисел (17 командных тактов);
- Диапазон питающих напряжений 2.0...3.6В;
- Внутрисхемное и само- программирование;
- Встроенный генератор с PLL;
- Расширенная периферия;
- Ток портов ввода/вывода общего назначения – 18 мА;
- Порты толерантны к устройствам с 5 В питанием;

Микроконтроллер обладает разнообразной встроенной внутренней периферией: порты ввода/вывода, 16 разрядный таймеры/счетчики, 8 канальный 10 разрядный аналого-цифровой преобразователь, контроллеры SPI и I2C интерфейса, контроллер последовательной передачи данных USART с поддержкой интерфейса RS-485 и RS-232, модуль ССР. [7]

Рассмотрим более подробно назначение выводов микроконтроллера.

MCLR – внешний сигнал сброса микроконтроллера.

RP0-RP25 – двунаправленные перенастраиваемые периферийные порты. . Порты RP16-RP21 настроены для работы с SD Flash картой по интерфейсу SPI. RP22-RP25 настроены как UART для работы с интерфейсом RS-RS485.

AN1 – AN15 – входы встроенного модуля АЦП. AN0 будет использован для оцифровки сигналов напряжения 0–36В, AN1 – будет использованы для оцифровки токовых сигналов 0–20мА, AN2 – будет использован для оцифровки сигналов датчиков температуры.

Для работы с программируемыми усилителями и датчиком температуры холодного спая на портах RP3-RP5 запустим второй SPI интерфейс. Порты RB0, RB2, RA10 выберем в качестве сигналов Chip-Select

Для стабильной работы микроконтроллера подключим к нему кварцевый генератор с параллельным резонансом. Выберем го применения на диапазон частот: 3500-20000 кГц. Работоспособен в широком интервале температур, устойчив к климатическим воздействиям. Отличается очень высокой механической прочностью, устойчив к воздействию сильных ударов, линейного ускорения и вибрации. Рекомендуется для применения в носимой и бортовой аппаратуре. В качестве нагрузочной емкости подключим к кварцевому резонатору конденсаторы C11 и C12 в параллельном соединении.

Выбираем по справочнику конденсаторы C11 и C12 :

C3: K21 - 9 - 250 В - 22 пФ ± 5 %;

C4: K21 - 9 - 250 В - 22 пФ $\pm 5\%$.

AVdd, AVss – выводы для подключения опорного напряжения АЦП.
Vdd, Vss – выводы подключения питания микроконтроллера.

Данный микроконтроллер поддерживает использование встроенного источника опорного напряжения. Vddcore и Vbat – выводы для подключения емкости встроенного стабилизатора (емкость, рекомендованная производителем 10 мкФ) и напряжения питания встроенного регулятора напряжения соответственно.

Для обеспечения работы микроконтроллера [8] необходимо вывод Vbat подключить к напряжению питания +3.3 В, установить конденсатор Vddcore, обеспечить сброс при включении электропитания и установить блокирующие конденсаторы между выводами Vdd и Vss микросхемы (рис. 3.2). Сброс по включению питания обеспечивается RC-цепочкой, состоящей из сопротивлений R13 = 1 кОм и конденсатора C1 = 100 нФ. Сопротивление R14 = 10 кОм предназначено для исключения влияния при программировании повышенного напряжения, подаваемого на вход MCLR.

R14: МЛТ – 0.125Вт – 10 кОм $\pm 5\%$;

R13: МЛТ – 0.125Вт – 100 Ом $\pm 5\%$;

C9: K10-17A - 35 В – 0,1 мкФ $\pm 20\%$.

Для работы встроенного стабилизатора напряжения, исходя из спецификации микроконтроллера, подключим конденсатор C7 = 10 мкФ:

C7: K50– 40 – 50В – 10 мкФ допуск 20%.

Конденсаторы C8...C11 необходимы для дополнительной фильтрации питания микроконтроллера:

C8...C11: K10-17A - 35 В – 0,1 мкФ $\pm 20\%$.

Рисунок 4.2 – Схема включения PIC24FJ64GA004

4.2 Расчет блока усиления и нормировки сигналов

Для преобразования входных сигналов напряжения 0–36В к максимальному напряжению АЦП $U_{\text{АЦП}} = 3.3\text{В}$ необходимо установить резистивный делитель напряжений (рисунок 4.3).

Зададимся выходным напряжением делителя $U_{\text{вых}}=3,3\text{В}$. Выберем $R3 = 2\text{кОм}$, тогда:

$$R8 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} \cdot R3, \quad (4.1)$$

$$R20 = \frac{36 - 3.3}{3.3} \cdot 2 = 19.89\text{кОм}, \quad (4.2)$$

R6...R15: МЛТ – 0.125Вт – 20 кОм ±1%;

R16...R25: МЛТ – 0.125Вт – 2 кОм ±1%;

Рисунок 4.3 – Схема блока усиления и нормировки

Т.к. на вход АЦП нужно подавать напряжение необходимо предварительно преобразовать токовый сигнал 0–20мА. Для этого применим резисторы-шунты. Так же зададимся максимальным напряжением шунта $U_{ш}=3В$ при токе в 20мА.

$$R_{30} = \frac{U_{ш}}{I_{вх}}, \quad (4.3)$$

$$R30 = \frac{3}{20 \cdot 10^{-3}} = 150 \text{ Ом}, \quad (4.4)$$

Выберем шунты

R30...R39: МЛТ – 0.125Вт – 150 Ом ±1%;

В качестве усилителя выберем прецизионный усилитель PGA117. Прецизионный усилитель PGA117 представляет собой комбинацию одноходового усилителя с однополярным питанием и программируемым усилением (PGA) и входного мультиплексора. PGA117 имеет 10-канальный мультиплексор, а отключение как программное, так и аппаратное. Усиление выбирается из ряда (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200). Выбор канала мультиплексора и установка усиления выполняются через стандартный SPI интерфейс.

Технические характеристики:

Напряжение смещения нуля, мкВ	25
Ток, потребляемый цифровой частью IQD, мА	0,3
Ток, потребляемый аналоговой частью IQA, мА	0,75
Напряжение питания DVDD, В	5
Напряжение питания AVDD, В	5
Диапазон выходного напряжения VOUT, В	0,05...4,95
Погрешность передачи каналов CAL2 и CAL3, %	0,5
Температурный дрейф усиления, ppm/°C	0,35
Погрешность усиления, %	0.1
Номинальное усиление G	1
Диапазон входного напряжения VIN, В	-0,1...5.1
Входной ток канала IIN, нА	5
Температурный дрейф смещения нуля dVOS/dT, мкВ/°C	

Рисунок 4.4 – Структурная схема программируемого усилителя

Для компенсации холодного спая установим точный датчик температуры МАХ6627. Микросхемы МАХ6627 это точные цифровые измерители температуры, которые сообщают температуру удалённого датчика. Удалённым датчиком является транзистор, включённый как диод, обычно дешёвый, легко устанавливаемый 2N3904 NPN-типа, который заменяет традиционные термисторы и термопары. Микросхемы МАХ6627 может также измерять температуру корпуса других интегральных схем, таких как микропроцессоры и микроконтроллеры, которые содержат встроенный транзистор, включённый как диод.

Точность удалённых измерений $\pm 1^{\circ}\text{C}$ при температуре удалённого диода от 0°C до $+125^{\circ}\text{C}$ и температура самой микросхемы МАХ6627 $+30^{\circ}\text{C}$. Температура преобразуется в 12-битовое + знак слово с 0.0625°C разрешением. Архитектура устройства способна интерпретировать данные до $+145^{\circ}\text{C}$ от удалённого датчика. Температура микросхем МАХ6627 никогда не должна превышать $+125^{\circ}\text{C}$.

Обе микросхемы работают в диапазоне напряжения питания от 3.0В до 5.5В в температурном диапазоне от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, и выпускаются в компактных 8-контактных SOT23 корпусах. [10]

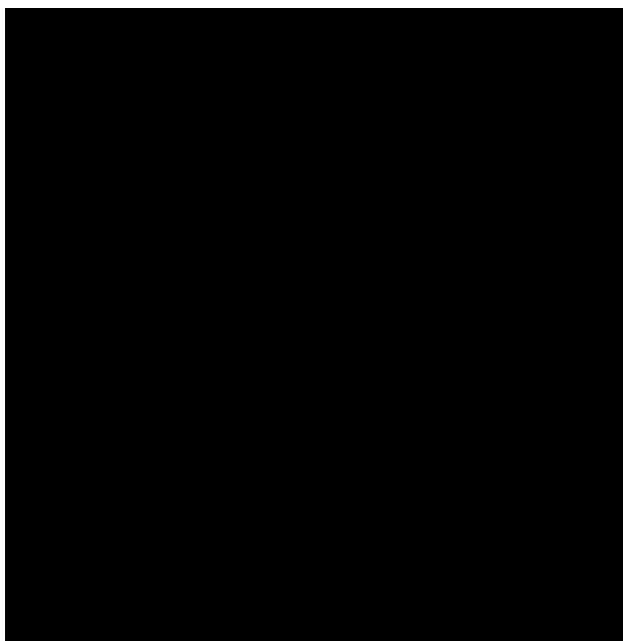


Рисунок 4.4- Схема подключения датчика температуры

Для опроса термопреобразователей температуры необходима установка источников тока. В качестве таких источников выберем специальную микросхему REF200. Технические характеристики микросхемы даны ниже [11]:

Тип:	Постоянный ток;
Точность:	0.25 %;
Uвх:	2.5...40 В;
Iвых:	100 мкА;
Ктемп:	25...0 ppm/°C;
Траб:	-25...85 °C

4.3 Выбор драйвера RS-485

Для снятия информации с промышленных датчиков применяется интерфейс RS-485. В целях согласования цифровых выходов микроконтроллера с дифференциальным сигналом линии RS-485 требуется установка соответствующего драйвера.

Стандарт RS-485 использует дифференциальную передачу сигнала, чем обеспечивает надежную передачу данных в присутствии шумов и подавление значительных синфазных напряжений. RS-485 обеспечивает передачу данных со скоростью до 10 Мбит/с. Максимальная дальность зависит от скорости: при скорости 10 Мбит/с максимальная длина линии — 120 м, при

скорости 100 кбит/с — 1200 м. [11]

Таблица 4.2 – Технические характеристики RS-485

Стандартные параметры интерфейсов	RS-485
Допустимое число передатчиков / приемников	32 / 32
Максимальная длина кабеля	1200 м
Максимальная скорость связи	10 Мбит/с
Диапазон напряжений "1" передатчика	+1.5...+6 В
Диапазон напряжений "0" передатчика	-1.5...-6 В
Диапазон синфазного напряжения передатчика	-1...+3 В
Допустимый диапазон напряжений приемника	-7...+12 В
Пороговый диапазон чувствительности приемника	±200 мВ
Максимальный ток короткого замыкания драйвера	250 мА
Допустимое сопротивление нагрузки передатчика	54 Ом
Входное сопротивление приемника	12 кОм
Максимальное время нарастания сигнала передатчика	30% бита

В качестве линии связи используется экранированная витая пара с волновым сопротивлением ≈ 120 Ом (рисунок 4.4). Для защиты от помех экран (оплетка) витой пары заземляется в любой точке, но только один раз: это исключает протекание больших токов по экрану из-за неравенства потенциалов “земли”.

В качестве приемопередатчика интерфейса RS-485, используем драйвер MAX 3082. Данный контроллер, является HALF – Duplex (рисунок 4.5). Выбор режима прием или передача осуществляется с помощью выводов RE – прием, DE – передача данных. Назначение выводов драйвера шины интерфейса RS-485 приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Описание назначения выводов MAX 3082

Вывод микросхемы	Назначение
RO	Вход приемника данных
RE	Выбор режима прием данных («0»)
DE	Выбор режима передачи данных («1»)
DI	Вход передатчика данных
GND	Общий
A	Дифференциальный выход А
B	Дифференциальный выход В
VCC	Питание 4.0...5.0В

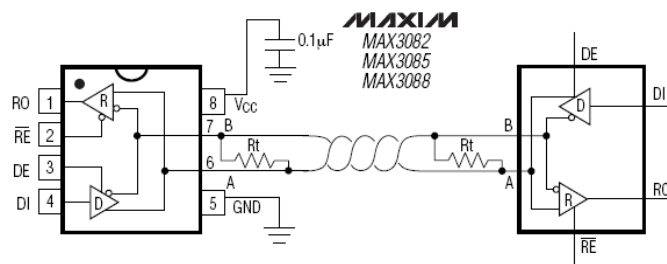


Рисунок 4.5- Схема подключения устройств к сети RS-485

Схема включения драйвера MAX 3082 интерфейса RS-485 приведена на рисунке 4.6.

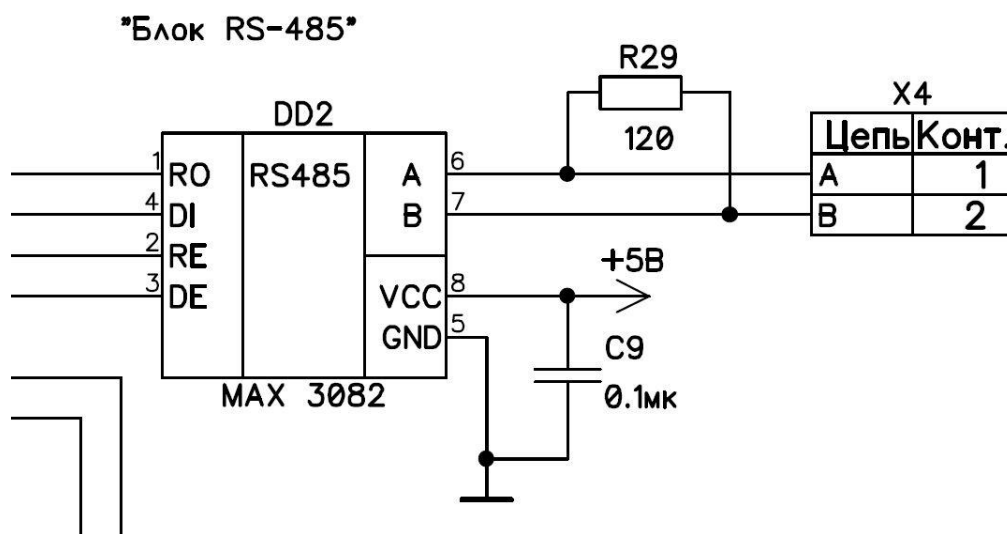


Рисунок 4.6 - Схема включения драйвера MAX 3082 интерфейса RS-485

4.4 Выбор модуля SD Flash карты

Для подключения SD Flash карты необходим слот-держатель. Выберем держатель DM3AT-SF-PEJM5 фирмы Hirose [12]. Отличительной особенностью держателя является то, что это слот с выталкивателем push-push и он имеет датчик карты. Схема подключения карты показана на рисунке 4.7.

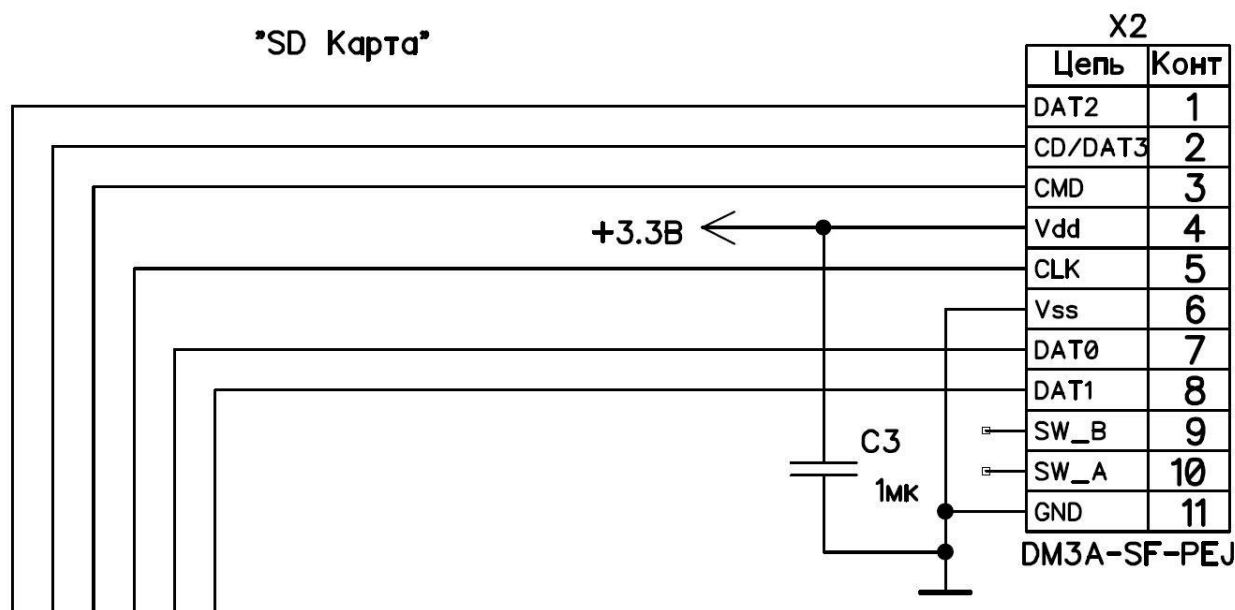


Рисунок 4.7 – Схема включения SD Flash карты

Для фильтрации питания SD карты установим конденсатор C17

C17: K21 - 9 - 25 В – 1 мкФ ± 5 %

4.5 Модуль Wi-Fi

В качестве модуля Wi-Fi выберем дешевый и высокопроизводительный радиомодуль RTL8710 компании Realtek. Внешний вид модуля представлен на рисунке 4.8. [13]

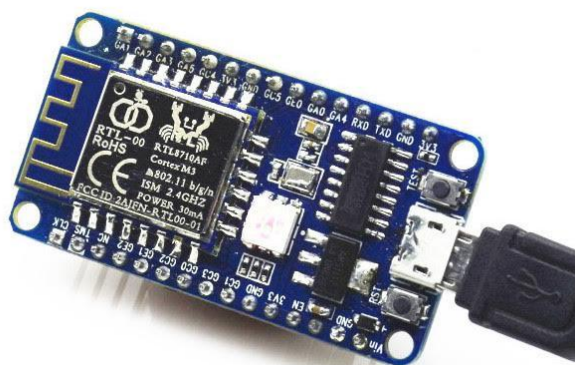


Рисунок 4.8 – Внешний вид модуля Wi-Fi

В основе RTL8710 лежит процессор ARM, работающий с тактовой частотой 166 МГц. Модуль RTL8710 работает под управлением FreeRTOS. Его внутренняя flash-память составляет 1 МБ, ОЗУ 48 КБ, имеется 14 линий

GPIO, в которых присутствуют 3 интерфейса I2C, 2 SPI, 1 PCM, 2 АЦП, 1 ЦАП и 2 вывода ШИМ. Ток потребления не превышает 100 мА при напряжении 3.3В.

С точки зрения радиосвязи по Wi-Fi доступны два режима: передача в соответствии со стандартом 802.11g на скоростях до 54 Мб/с и передача в соответствии со стандартом 802.11n на скоростях до 150 Мб/с. [14]

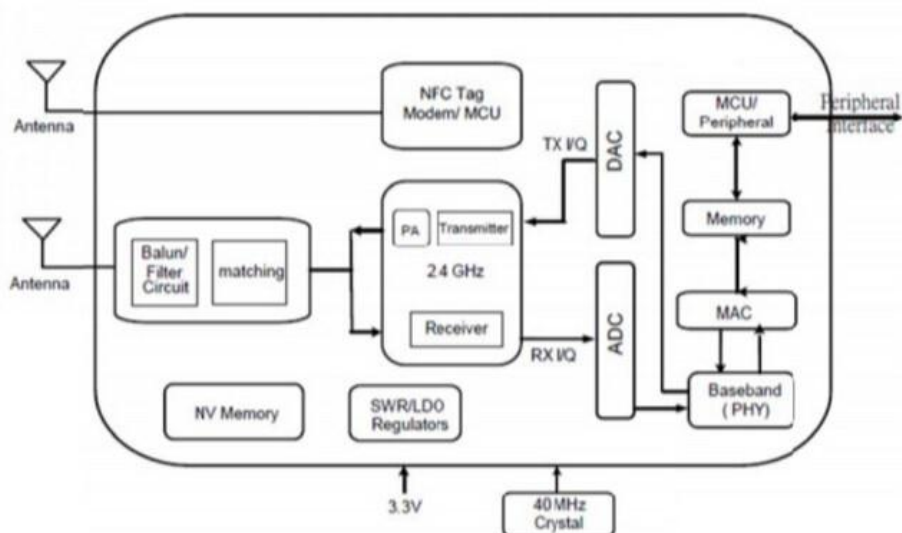


Рисунок 4.9 – Блок-схема RTL8710

Диапазон рабочих температур составляет от -40 до 125 С. Это расширяет ареал применения модулей RTL8710. Его можно будет использовать в непосредственной близости от источников высокой температуры.

Блок-схема RTL8710 представлена на рисунке 4.9. Схема подключения модуля представлена на рисунке 4.10.

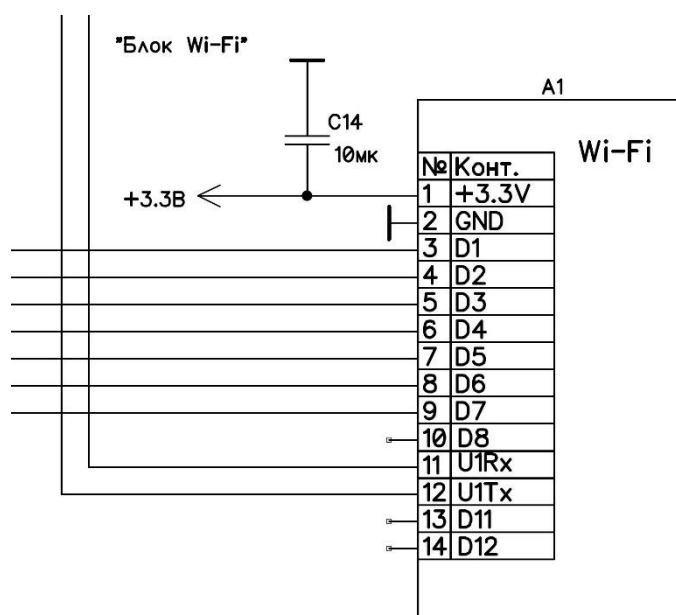


Рисунок 4.10 – Схема принципиальная модуля WiFi

4.6 Дисплей и клавиатура

В качестве устройства отображения использован OLED дисплей WEN001602ALPP5N со встроенным контроллером дисплея, видеопамятью и знакогенератором [15]. Отличительной особенностью дисплея является его низкое энергопотребление.

Дисплей представляет собой 2 строки по 16 символов. Имеется ОЗУ дисплея на 16 байт, организованное в виде двух массивов 16x8 бит. Память дисплея может быть загружена из МК и прочитана им. И в том и в другом случае возможно автоинкрементирование адреса ОЗУ дисплея. Таким образом, OLED освобождает микроконтроллер от регенерации изображения на дисплее.

Для подключения дисплея используется 4 – проводная схема подключения шины данных, рисунок 4.11. Подробное описание назначения выводов приведено в таблице 4.4.

Количество символов, шт	16
Количество строк	2
Напряжение питания $U_{пит}$, В	2.7...5.5
Тип контроллера	KS0066U
Ток потребления $I_{пот}$, мА	20

Температура окружающей среды, °C -20...70

Таблица 4.4 - Описание назначения выводов OLED

Название	Тип	Описание
VDD	U питания	Напряжение питания логической части
GND	U питания	Общий питания
V _{oo}	U питания	Напряжение контрастности
R/W	Вход	Сигнал чтения/запись
E	Вход	Сигнал разрешения
RS	Вход	Сигнал выбора чипа
D0 - D7	Вход/выход	Шина данных
VSS	U питания	Напряжение питания дисплея
VDD	U питания	Общий питания дисплея

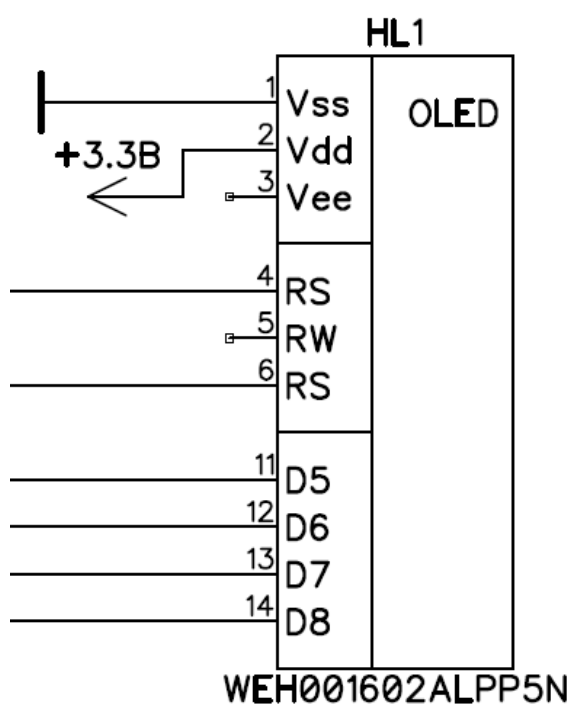


Рисунок 4.11 - Принципиальная схема включения блока индикации

Клавиатуру реализуем четырьмя кнопками без фиксации типа ВЗФС. При нажатии кнопки на вход МК должен поступать низкий логический уровень. В обычном состоянии на входе МК должен присутствовать высокий логический уровень. Для этого подтянем кнопки к напряжению питания с помощью резисторов R1...R4. Схемная реализация представлена на рисунке 4.12.

R1...R4: МЛТ – 0.125Вт – 15 кОм ±1%.

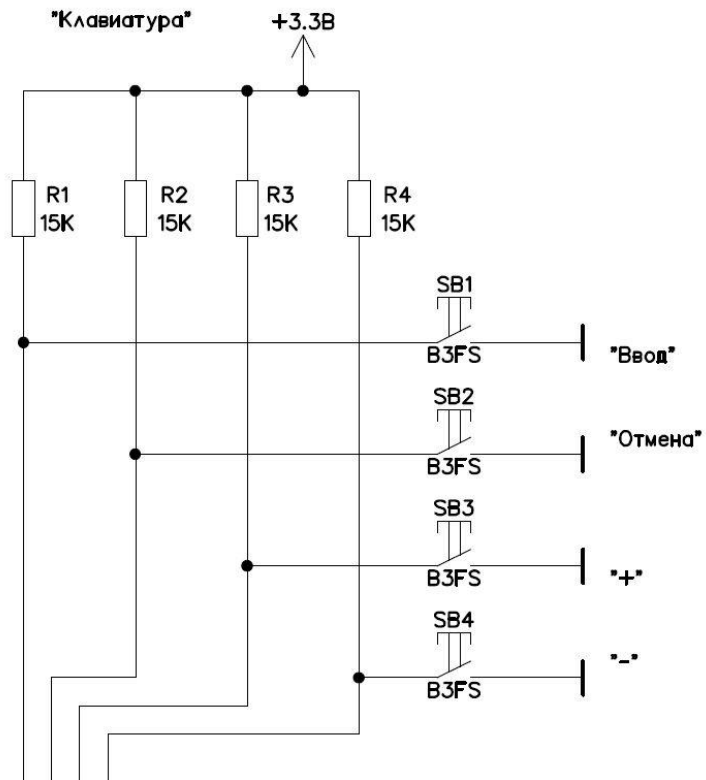


Рисунок 4.12 - Принципиальная схема реализации клавиатуры

4.7 Расчет блока питания

В качестве стабилизатора на 7,5 В выберем понижающий импульсный стабилизатор напряжения LM2596 – ADJ. Приведем его характеристики:[16]

Максимальный выходной ток I_{out} , А	3
Входное напряжение $U_{вх}$, В	4,5...40
Выходное напряжение $U_{вых}$, В	1,23...37
Рабочая температура,С	-40...125

На рисунке 4.13 приведена схема включения данной микросхемы.

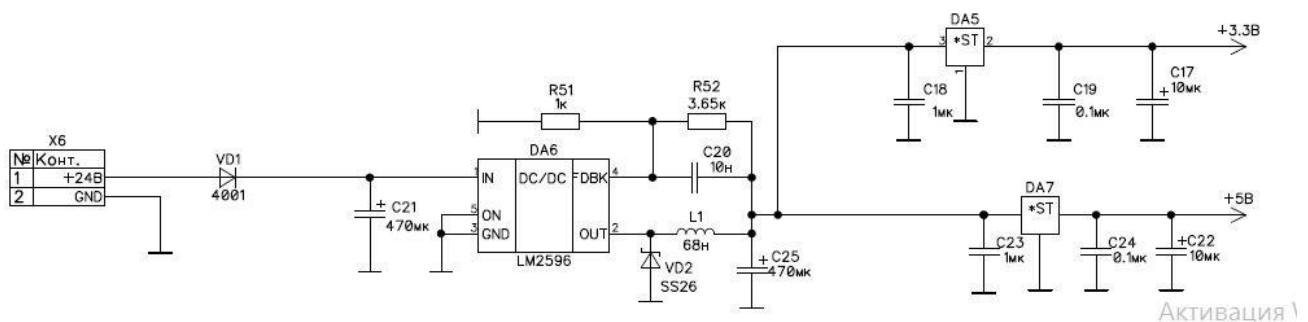


Рисунок 4.13 – Схема блока питания

Зададимся выходным напряжением $U_{\text{вых}} = 7,5 \text{ В}$. Тогда, согласно формуле (4.5) [12]

$$R_{93} = R_{92} \cdot \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{оп}}} - 1 \right), \quad (4.5)$$

где

$U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение. $U_{\text{оп}} = 1,23 \text{ В}$.

Выберем $R_{92} = 1 \text{ кОм}$.

R_{92} : С2-29В – 0.125Вт – 1 кОм $\pm 1\%$.

Тогда

$$R_{93} = 1 \cdot 10^3 \left(\frac{7,5}{1,23} - 1 \right) = 3,63 (\text{кОм}), \quad (4.6)$$

R_{93} : С2-29В – 0.125Вт – 3.65 кОм $\pm 1\%$.

Рассчитаем постоянную ЕТ из формулы (3.7) [12]

$$ET = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}} - U_{\text{нас}}) \cdot \frac{U_{\text{вых}} + U_{\text{пр}}}{U_{\text{вх}} - U_{\text{нас}} + U_{\text{вых}}} \cdot \frac{1000}{150}, \quad (4.7)$$

где

$U_{\text{вх}}$ – максимальное входное напряжения, $U_{\text{вх}} = 24 \text{ В}$;

$U_{\text{нас}}$ – напряжение насыщения ключевого транзистора, $U_{\text{нас}} = 1,16 \text{ В}$;

$U_{\text{пр}}$ – прямое падение напряжения на диоде, $U_{\text{пр}} = 0,5 \text{ В}$.

$$ET = (24 - 4,5 - 1,16) \cdot \frac{4,5 + 0,5}{28 - 1,16 + 0,5} \cdot \frac{1000}{150} = 27,3 \text{ В} \cdot \text{мкс},$$

(4.8)

Зададим максимальный ток нагрузки $I_{\text{пот}} = 1 \text{ А}$, из [12] выберем оставшиеся элементы:

L1: 0805– 0,125Вт - 68мкГн $\pm 5\%$;

C33: K10-17 - 50В – 10нФ $\pm 5\%$;

C27: K50– 40 – 50В – 470 мкФ допуск 20%.

C34: K50– 40 – 50В – 470 мкФ допуск 20%.

VD13: SS26.

Выбираем защитный диод. Основной параметр при выборе диода $I_{\text{пр}}$

макс не менее 100 мА. Выбираем диод по справочнику:

VD1: 1N4001

Параметры диода 6 представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Параметры диода 1N4001

Диод	1N4001
Обратное напряжение	$U_{\text{ОБР}} = 50 \text{ В}$
Ток прямой	$I_{\text{ПР}} = 1 \text{ А}$

Для получения 3.3 В выберем интегральный стабилизатор LM1117. Схема включения представлена на рисунке 3.9. Технические характеристики LM1117:[17]

Мин. выходное напряжение, В	3,175
Макс. Выходное напряжение, В	3,475
Макс. Выходной ток, А	0,8
Макс. рассеиваемая мощность, Вт	2
Мин. входное напряжение, В	4,5
Макс. входное напряжение, В	13,8

Для получения 5 В выберем интегральный стабилизатор LM7805. Технические характеристики LM7805:[18]

Мин. выходное напряжение, В	5,025
Макс. Выходное напряжение, В	5,975
Макс. Выходной ток, А	1
Макс. рассеиваемая мощность, Вт	15
Мин. входное напряжение, В	6,5
Макс. входное напряжение, В	28

4.8 Разработка программного обеспечения

Блок-схема алгоритма работы многоканального измерителя температуры представлена на рисунке 4.14.

После запуска МК происходит инициализация основных модулей:

- 1) инициализация 2х модулей UART;
- 2) инициализация 2х модулей SPI;
- 3) инициализация программного модуля часов реального времени;

- 4) настройка работы с энергонезависимой Flash памятью по протоколу SPI и чтение из нее настроек прибора через порт SPI1;
- 5) инициализация протокола RS-485 на частоте, указанной в настройках, посредством модуля UART1;
- 6) инициализация модуля Wi-Fi с помощью AT-команд, подаваемых через порт UART2
- 7) инициализация программируемых усилителей, управляемых по протоколу SPI через порт SPI2;
- 8) инициализация датчика температуры холодного спая по протоколу SPI через порт SPI2;
- 9) запуск модуля АЦП для снятия аналоговых значений технологических показателей;
- 10) запуск соединения с сервером .
- 11) настройка портов ввода вывода для работы с ЖКИ и клавиатурой.

Если на каком-то этом возникли ошибки, например, нет связи с модулем Wi-Fi или программируемыми усилителями, на дисплей выведется соответствующее сообщение.

После инициализации МК приступает непосредственно к работе. Рабочий цикл заключается в опросе аналоговых датчиков температуры с помощью модуля АЦП, выводе полученных значений на дисплей и отправки их на сервер через определенное время. (рис 3.15)

Если связь с сервером по какой-то причине прервалась, то МК продолжает считывать данные с датчиков температуры, но начинает записывать их в энергонезависимую память до тех пор, пока связь с сервером не восстановится. Когда связь появится, МК отправит все данные о температуре на сервер и произведет очистку памяти.

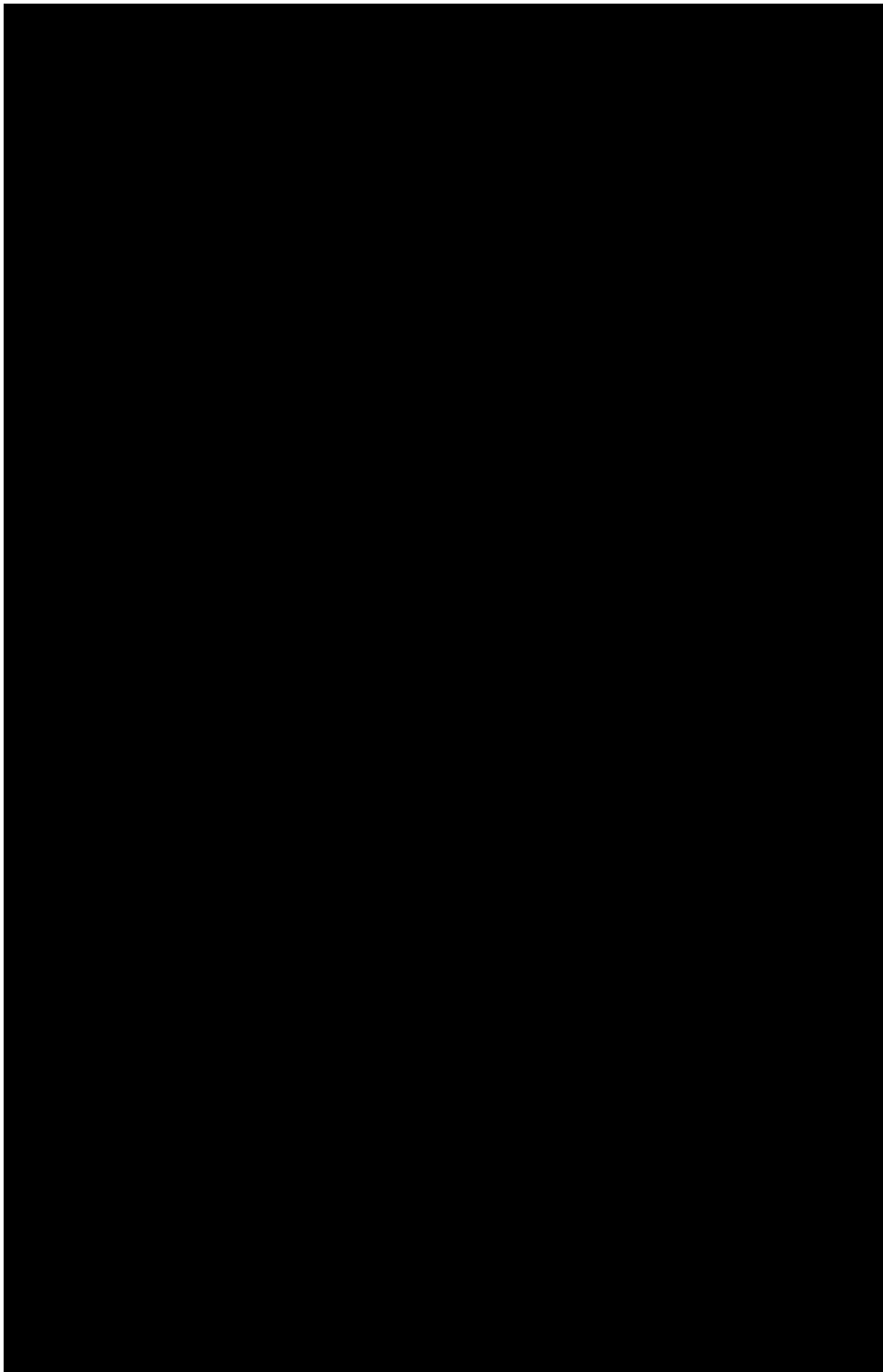


Рисунок 4.14 - Блок-схема алгоритма работы многоканального измерителя температуры

Также в устройстве есть возможность настроить основные технологические параметры. Для этого достаточно нажать на кнопку «Настройка». Настраиваются такие параметры как: текущее время, период опроса датчиков и отправки данных на сервер. Для выбора настраиваемого

параметра нужно нажать кнопку «+» или «-», после того как курсор будет на нужном месте нужно нажать кнопку «Ввод». Для выхода из меню нажать кнопку «Отмена».

4.8.1 Алгоритм подпрограммы обработки клавиатуры

Алгоритм обработки нажатия клавиш представлен на рисунке 4.15. Такой алгоритм имеет защиту от кратковременного случайного нажатия и дребезга, т.к. использует флаг предыдущего состоя. Для изменения флага нажатия кнопки необходимо чтобы она находилась в одном состоянии 2 такта опроса.

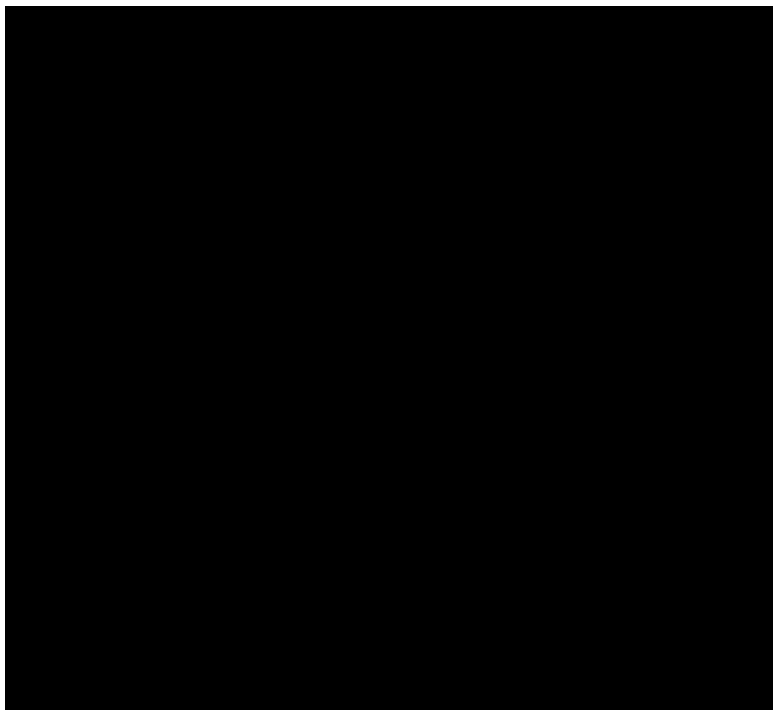


Рисунок 4.15 – Алгоритм подпрограммы обработки клавиатуры

4.8.2 Алгоритм синхронизации работы

Для синхронизации работы блоков управления по времени, целесообразно применить стандартный блок временного распределения задач, реализованный подпрограммой прерываний от таймера микроконтроллера. Данный блок предназначен для выработки сигналов

«Время1» и «Время2». Сигналы вырабатываются через определенные пользователем промежутки времени. Если в теле основной программы использовать выполнять проверку на установку флага «Время1», то это условие (а следовательно, и операторы за ним) будет выполняться через определенное время. Для флага «Время2» аналогично. Таким образом можно организовать работу различных программ и разгрузить МК от лишней работы.

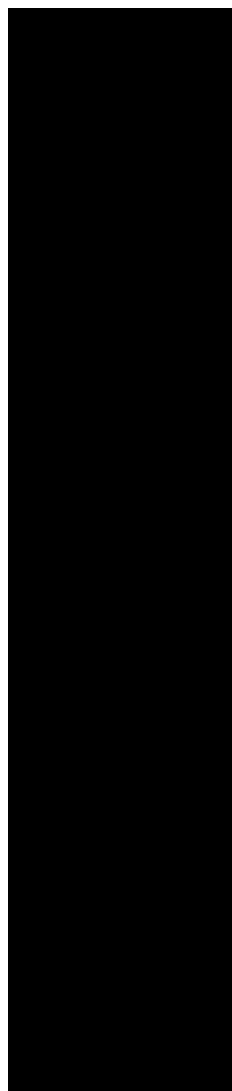


Рисунок 4.16 – Алгоритм работы блока временного распределения задач

4.8.3 Алгоритм опроса датчиков

Так как на входах сигналов напряжения стоят делители с коэффициентом деления 11, оцифровка малых напряжений будет производиться со сниженной точностью. Для устранения этих недостатков в после делителя установлены мультиплексор с операционным усилителем. Коэффициент усиления PGA117 управляется с помощью команд, поступаемых по интерфейсу SPI. В меню настройки оператор выбирает диапазон, на котором должен работать вход опроса датчика, а модуль опроса установит требуемый коэффициент усиления, согласно заранее определенному табличному значению.

Опрос датчиков производится следующим образом:

- 1) командой устанавливается требуемый канал и его коэффициент усиления;
- 2) производится АЦ преобразования напряжения на канале;

Опрос датчиков с токовым выходом выполняется аналогичным образом.

Интерес представляет опрос датчиков температуры.

С термопреобразователей температуры необходимо снимать дифференциальное напряжение. Поэтому ТПС подключается к двум каналам усилителя. По причине того, что термосопротивления могут подключаться по 3х или 4х проводной линии, необходимо расчет сопротивления производить разными способами:

- 1) для 3х проводной линии:

$$U_{Rt} = U_1 - 2U_2; \quad (4.8)$$

- 2) для 4х проводной линии

$$U_{Rt} = U_1 - U_2; \quad (4.9)$$

где

U_{Rt} – напряжение на термопреобразователе сопротивления;

U_1 – напряжение высокопотенциального зажима датчика;

U_2 – напряжение низкопотенциального зажима датчика.

Для термопар необходимо проводить компенсацию ошибки, вызванной

ЭДС холодного спая. Для этих целей в непосредственной близости от разъема расположен датчик температуры. Опрос датчика проводится по протоколу SPI и полученная температура учитывается для всех каналов, к которым подключены термопары.

4.8.4 Программная реализация алгоритма работы

Разработанный алгоритм реализован на языке программирования C. Программное обеспечение разработано с использованием стандартных модулей управления ЖКИ, а также реализаций управления Wi-Fi модулем, и модуля распределения времени.. Программное обеспечение разработано в среде программирования MPLAB 8.6 IDE, с использованием компилятора Microchip C30 V3.27. Назначение программных модулей:

- 1) main – главный модуль системы управления водоснабжением. Реализует работу всего устройства в целом.
- 2) task_int – модуль временной синхронизации и распределения задач;
- 3) RTP8710 – модуль работы с Wi-Fi модулем;
- 4) LCD – модуль работы с жидкокристаллическим индикатором;
- 5) ADC – модуль работы с АЦП;
- 6) PWM – модуль работы с ШИМ;
- 7) SPI – модуль работы с SPI
- 8) DAT – модуль опроса показаний датчиков.
- 9) RS485 – модуль работы по протоколу RS485.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы был проведён анализ способов подключения датчиков к модулям сбора данных о режимах работы. Рассмотрены достоинства, недостатки и особенности применения каждого из типов подключения датчиков технологических величин. Проведен обзор представленных на рынке решений по сбору технологической информации. Определены требования к разработанному модулю. Описаны основные интерфейсы и их характеристики в составе модуля.

В данной работе разработаны схема функциональная модуля и элементы аппаратно-программного обеспечения на современном техническом уровне.

Использование предложенных технических решений позволит производителям подобного оборудования выйти с конкурентоспособным изделием на рынок стран содружества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг оборудования: сбор и обработка машинных данных [Электронный ресурс]. –2013. – Режим доступа: <http://mescontrol.ru/equipmentmonitoring> . – Дата доступа: 30.09.2018.
2. Альтернатива бумажным самописцам. [Электронный ресурс]. –2015. – www.sensorika.ru/upload/file/articles/alternativa_bum.samopiscam.doc– Дата доступа: 30.09.2018.
3. DataBox. [Электронный ресурс]. –2013. – Режим доступа: centros.ru/samopisec-elektronnyu-databox – Дата доступа: 30.09.2018.
4. J. Fradan. Handbook of Modern Sensors / J. Fradan. – New York: Springer. – 2010. – 663 p.
5. ГОСТ Р 8.5852001
6. Топильский, В.Б. Схемотехника измерительных устройств: Учебник / В.Б. Топильский. – Москва: Бином, 2010. – 232 с.
7. Микроконтроллер PIC24FJ64GA004 [Электронный ресурс]. –2011. – Режим доступа: http://catalog.gaw.ru/index.php?id=15980&page=component_detail. – Дата доступа: 30.09.2018.
8. Техническая документация PIC24FJ64GA004 [Электронный ресурс]. –2018. – Режим доступа: <https://www.microchip.com/PIC24FJ64GA004> – Дата доступа: 30.09.2018.
9. Техническая документация PGA117 [Электронный ресурс]. –2018. – Режим доступа: www.ti.com/product/PGA117 – Дата доступа: 15.12.2018.
- 10 Температурный датчик для компенсации холодного спая
11. Техническая документация на MAX3083[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/controllers-expanders/MAX3082.html>. Дата доступа: 5.08.18
- 12 Техническая документация DM3AT-SF-PEJM5 [Электронный ресурс]. –2018. – Режим доступа: <https://www.hirose.com/product/en/.../DM3AT-SF-PEJM5/>– Дата доступа: 15.11.2018.
13. RTL8710 Wifi Module [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.seeedstudio.com/RTL8710-WiFi-Module-p-2793.html>. Дата доступа: 8.10.18
14. Техническая документация RTL8710 [Электронный ресурс]. –2018. – Режим доступа: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/113990294_Web.pdf – Дата доступа: 15.11.2018.

15. Техническая документация на WEG012864C –LPP5N [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hkinventory.com/p/d/WEG012864C.htm>
Дата доступа: 15.05.18
16. Техническая документация LM2596 – ADJ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf – Дата доступа: 18.10.2018.
17. Техническая документация LM1117 [Электронный ресурс]. –2015. – Режим доступа: www.ti.com/lit/ds/symlink/LM1117.pdf – Дата доступа: 18.10.2018.
18. Техническая документация LM7805 [Электронный ресурс]. –2012. – Режим доступа: www.ti.com/lit/ds/symlink/LM7805.pdf – Дата доступа: 18.10.2018.
19. ГОСТ 26.011-80
20. Интерфейс RS-485. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/451-interfejs-rs-485.html> Дата доступа: 15.05.18
21. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник/Н.Н.Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок. - Мн.: "Беларусь",1994г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

