

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль))

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему **МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ МОНИТОРИНГА АЭРО-  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА БАЗЕ RISC КОНТРОЛЛЕРА**

Студент(ка)

Н.Н. Никольский

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент В.А. Медведев

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

**Аннотация**

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Никольского Николая Николаевича по теме «Микропроцессорный модуль мониторинга аэроклиматических параметров на базе RISC контроллера». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2017 году.

Пояснительная записка: 70 с., 3 разд., 40 рис., 4 табл..

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: аэроклиматический комплекс, полевая шина CAN, принципиальная схема, печатная плата, программирование микроконтроллера.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорного модуля мониторинга аэроклиматических параметров на базе RISC контроллера. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата модуля. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

## Содержание

Введение.....	5
1 Аналитическая часть. Анализ требований к системе сбора данных аэроклиматического комплекса .....	7
1.1 Структура и технические характеристики ССД комплекса .....	7
1.1.1 Анализ локальной сети комплекса .....	7
1.1.2 Анализ модулей мониторинга.....	9
1.1.3 Анализ технических характеристик платы LA-TMS231.....	10
1.2 Принципы организации полевой шины CAN.....	15
1.2.1 Преимущества шины CAN .....	15
1.2.2 Топология сети CAN.....	17
1.3 Выбор управляющего микроконтроллера модуля мониторинга .....	18
1.4 Разработка требований к разрабатываемому модулю мониторинга .....	20
2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорного модуля мониторинга	22
2.1 Структура и параметры однокристалльной системы C8051F04x .....	22
2.1.1 Выбор управляющего микроконтроллера .....	22
2.1.2 Структурная схема и функциональные возможности микроконтроллера C8051F043.....	24
2.2 Построение функциональной схемы разрабатываемого модуля мониторинга аэроклиматических параметров .....	28
2.3 Выбор элементной базы модуля мониторинга аэроклиматических параметров .....	30
2.3.1 Выбор аналогового фильтра низких частот .....	30
2.3.2 Приемопередатчик интерфейса UART\RS-232 .....	32
2.3.3 Контроллер управления светодиодным индикатором .....	33
2.4 Организация интерфейсов управления и обмена данными .....	37
2.4.1 Организация канала аналого-цифрового преобразования.....	37
2.4.2 Организация канала передачи данных локальной сети CAN.....	40
2.4.3 Организация интерфейса SPI .....	43
2.4.4 Интерфейс управления ЖК индикатором.....	44

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию модуля мониторинга.....	47
3.1 Разработка печатного узла модуля мониторинга.....	47
3.2 Особенности программирования управляющего МК .....	50
3.2.1 Интерфейс внутрисхемного программирования JTAG.....	50
3.2.2 Средства поддержки и отладки.....	54
3.3 Модуль универсального приемо-передатчика USART .....	56
3.4 Статистическая обработка результатов преобразования .....	58
Заключение .....	66
Список литературы .....	68

## **Введение**

Производство современного автомобиля требует тщательной проработки конструкции и технологий, используемых при его изготовлении. Любые, даже самые незначительные недочеты способны свести к нулю все усилия конструкторов, дизайнеров и технологов. Поэтому чем больший объем испытательных работ будет проведен, тем меньше сюрпризов ожидает потребителя.

Управление специальных испытаний (УСИ) при департаменте технического развития АО АвтоВАЗ создано непосредственно для решения наиболее насущных проблем, связанных с постановкой автомобиля на производство. Во всей массе проводимых исследований и испытаний, значительное место занимают аэроклиматические испытания, проводимые в аэродинамической лаборатории. При испытаниях автомобиль испытывается в движении на поведение в экстремальных климатических условиях (температура и влажность), на воздействие термоударов и сильных порывов ветра и т.п. Лаборатория также оснащена устройствами имитации снега, дождя и солнечной радиации.

Используемый УСИ аэроклиматический комплекс представляет собой уникальное сооружение, оснащенное аттестованными ФГУ «Ростест-Москва» аэроклиматической камерой и испытательным оборудованием. Камера позволяет получить значения температуры окружающей среды от минус 60 до плюс 60°C при имитации набегающего потока воздуха от 0 до 150 км/час, влажность воздуха от 0 до 100%. Испытательное оборудование представляет собой динамометрический стенд с двумя парами беговых барабанов и возможностью вариации различных колесных баз для частичной и полной нагрузок, приведенных к колесам автомобилей с мощностью двигателя до 400 кВт.

В аэроклиматическом комплексе проводятся сертификационные, исследовательские и доводочные испытания полномасштабных образцов автомобильной техники, их систем и агрегатов на соответствие требованиям государственных и отраслевых стандартов, таких как: ГОСТ Р 50993-96, ГОСТ Р 50998-96, ГОСТ Р 22031-2003, ОСТ 37.001.052-2000 и другие.

Руководителям и специалистам для объективного анализа работы аэро-

климатического комплекса необходимы актуальные и достоверные данные о параметрах проводимых испытаний в реальном времени, которые невозможно получить в полном объеме без автоматизации процесса сбора и передачи данных. Эта функция осуществляется с помощью двухуровневой локальной сети комплекса, в состав конторы входят разнообразные модули сбора данных, ОРС серверы и рабочие станции, соединенные плевыми шинами передачи данных.

Габариты и состав систем мониторинга и управления процессами свободно изменяются, они могут быть как совсем простыми, с одной переменной, так и крупными распределенными системами управления. Очень часто термин «управление процессами» употребляется для обозначения больших и дорогих систем. Но, на самом деле, существует целый ряд типовой недорогой аппаратуры и программного обеспечения, которые легко можно интегрировать в малые, но функционально сложные системы управления. Такие системы подходят не для всех видов управления и автоматизации, но могут являться альтернативой покупной дорогостоящей аппаратуре и программному обеспечению, переконфигурация которых на несколько приложений может быть затруднена. Идея создания гибких автоматизированных систем сбора данных и управления с применением модульного аппаратного и программного обеспечения в настоящее время стала очень популярной.

Ключом к организации гибкой системы управления процессами служит объединение технологии измерения и управления с компьютерной технологией общего назначения.

Требования к модулям сбора данных весьма разнообразны – от минимальных массогабаритных показателей и энергопотребления, до многофункциональности и высокой точности при большом количестве контролируемых параметров. Учитывая, что метрологические характеристики аэроклиматического комплекса и его функциональные возможности напрямую связаны с соответствующими параметрами модулей сбора данных, разработка автономного многоканального модуля мониторинга является весьма актуальной задачей.

## **1 Аналитическая часть. Анализ требований к системе сбора данных аэроклиматического комплекса**

### **1.1 Структура и технические характеристики ССД комплекса**

Проведение сертификационных, исследовательских и доводочных испытаний автомобильной техники в аэроклиматическом комплексе УСИ АвтоВАЗ базируется на использовании различных автоматизированных систем сбора данных о текущих параметрах автомобиля и воздействующих на него внешних факторов.

Системы сбора объединены с помощью двухуровневой локальной сети комплекса Ethernet, что позволяет специалистам получать в реальном времени актуальные и достоверные данные о параметрах проводимых испытаний. В состав сети входят рабочие станции и разнообразные модули сбора данных, соединенные полевой шиной CAN с соответствующими OPC серверами.

#### **1.1.1 Анализ локальной сети комплекса**

Структура локальной сети аэроклиматического комплекса представлена на рисунке 1.1.

Контроль параметров автомобиля и проводимых испытаний осуществляется с помощью аппаратно-программных модулей мониторинга, связанных с OPC серверами по интерфейсу CANopen.

OPC (OLE for Process Control) — семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами.

Исходя из области применения OPC-серверов в АСУ предприятия различают несколько уровней управления, которые представлены на рисунке 1.2.

Каждый из этих уровней может быть обслужен OPC-сервером, и поставлять данные OPC-клиенту на более высоком уровне или соседнему уровню.

Ещё одна разновидность OPC-сервера - шлюз к сети полевой шины, такой, как Profibus или LonWorks. Реализация этой схемы очень похожа на предыдущие случаи. Скорее всего, на компьютере с ОС Windows будет установлен адаптер fieldbus-сети, а OPC-сервер будет взаимодействовать с этой сетью через драйвер

адаптера. В Internet можно найти немало таких примеров.

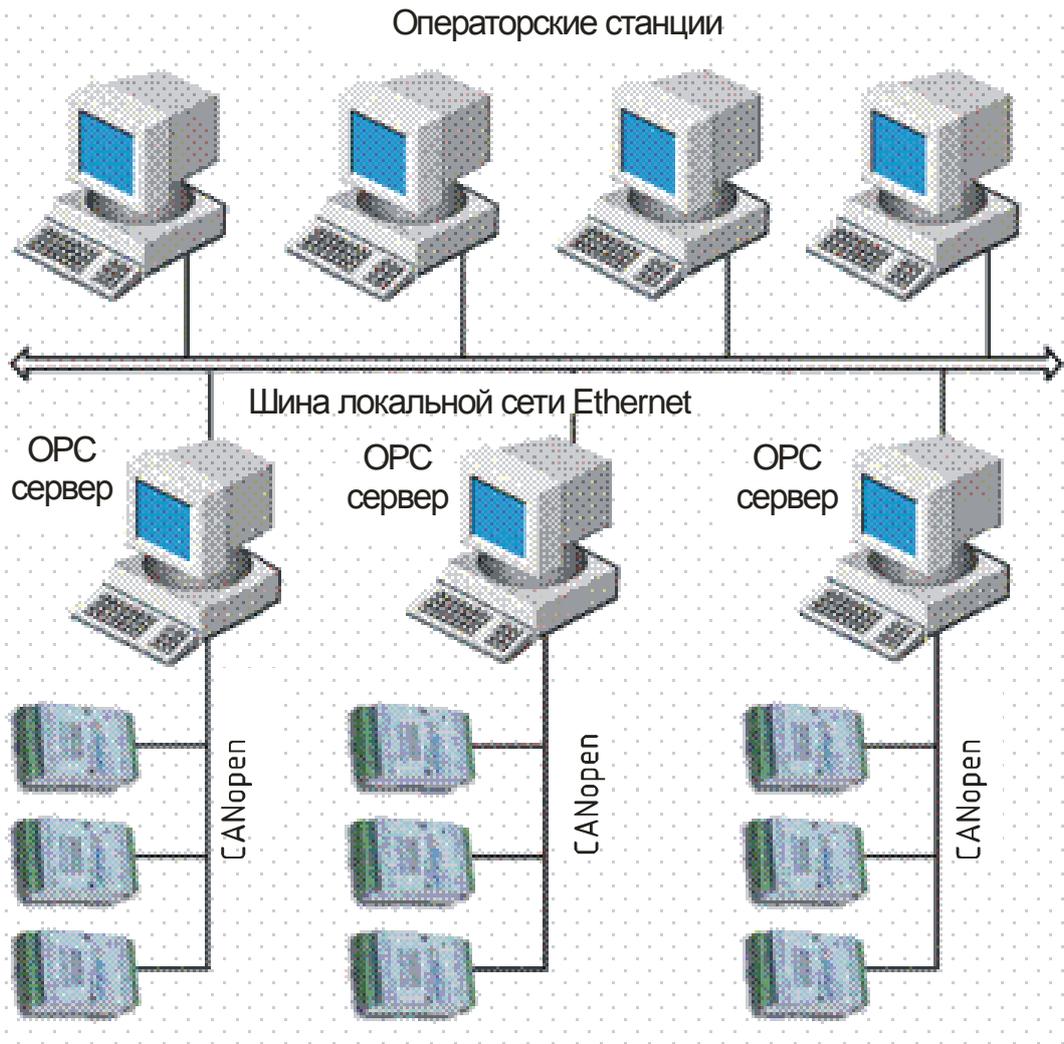


Рисунок 1.1 - Структура локальной сети аэроклиматического комплекса.

Можно назвать немало прочих мест применения OPC: для работы с базами данных в качестве вспомогательных или промежуточных OPC-серверов и т. д. Технология DCOM не очень пригодна для глобальных сетей. В связи с этим для использования в OPC-технологии Internet-технологий применяются следующие варианты использования: расширение Web-сервера является OPC-клиентом, собирающим данные от OPC-серверов. А на стороне клиентов запускается динамическая html- или xml-страница, получающая данные от этого Web-сервера.

Польза применения OPC с точки зрения интеграции:

а) при замене какого-нибудь компонента нет необходимости корректировать другое ПО, т.к. даже при замене драйвера поверх него работает OPC;

б) при добавлении в систему новых программ, не нужно предусматривать в них драйверы устройств, кроме OPC-клиента.



Рисунок 1.2 – Уровни управления в АСУ предприятия.

Чаще всего для создания приложений с поддержкой OPC используют Языки программирования, которые используются для создания приложений с поддержкой OPC:

- а) Delphi;
- б) C++;
- в) C#;
- г) Visual Basic.

### 1.1.2 Анализ модулей мониторинга

Основной модулей мониторинга, используемых в аэроклиматическом комплексе, является плата сбора данных и управления LA-TMS231, обеспечивающая обработку данных с аналоговых датчиков физических величин и обмен данными по интерфейсу CANopen с OPC сервером сети.

На рисунке 1.3 приведена функциональная схема модуля мониторинга параметров аэроклиматических воздействий на автомобиль в процессе испытаний.

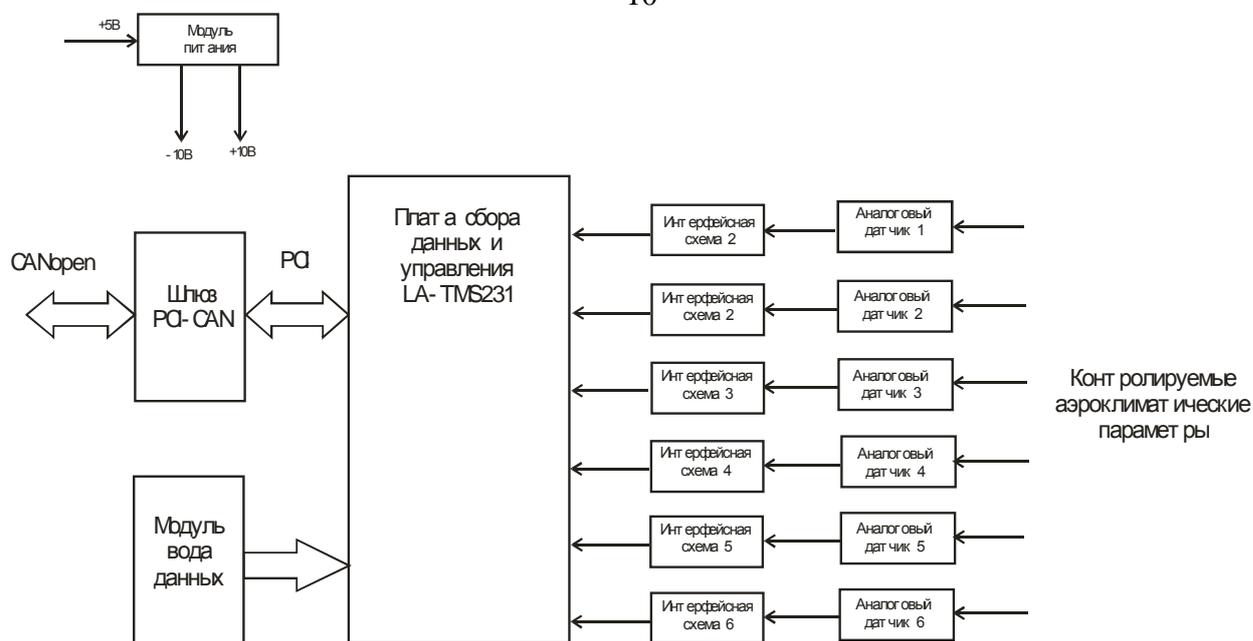


Рисунок 1.3 - Функциональная схема модуля мониторинга.

Информация о различных параметрах внешней среды снимается с помощью аналоговых датчиков, находящихся непосредственно в помещении, где проводятся испытания, и через соответствующие интерфейсные схемы поступает на вход АЦП платы сбора данных и управления.

Интерфейсные схемы содержат нормализующие усилители (при необходимости) для согласования диапазонов изменений сигналов датчиков и диапазона измерений АЦП, а также перестраиваемые фильтры низких частот для устранения неинформативных гармонических составляющих сигналов датчиков.

Результаты испытаний по шине PCI через шлюз PCI-CAN поступают в локальную сеть CANopen аэроклиматического комплекса и далее по сети Ethernet - к заинтересованным подразделениям для последующего анализа и обработки.

Ввод данных, определяющих полосу пропускания каналов измерения физических параметров, можно задавать с помощью модуля ввода непосредственно на месте проведения испытаний или дистанционно – по локальной сети CANopen.

### 1.1.3 Анализ технических характеристик платы LA-TMS231

Как следует из функциональной схемы рисунка 1.2, модуль мониторинга аэроклиматических параметров реализован на основе платы сбора данных и управления LA-TMS231 фирмы L-CARD [7,8]. Это универсальная плата на базе

сигнальных процессоров ADSP-218x компании Analog Devices, обеспечивающая выполнение четырех наиболее распространенных функций для измерительных и управляющих систем: АЦП, ЦАП, ввод и вывод цифровых сигналов.

Основное назначение плат - преобразование непрерывных (аналоговых) сигналов в цифровую форму, удобную для дальнейшей обработки средствами вычислительной техники. Кроме этого, плата способна к приему цифровой информации от внешних устройств (например, цифровых датчиков) по шине PCI L-7xx и передаче ее периферийным устройствам, как в цифровой, так и в аналоговой форме.

Плата LA-TMS231, функциональная схема которой приведена на рисунке 1.4, имеет следующие основные узлы: аналогово-цифровой канал (АЦК), сигнальный процессор ADSP2115, трёхканальный счётчик/таймер, PCI-контроллер, цифровой порт ввода/вывода и интерфейс ввода/вывода.

Узел АЦК платы LA-TMS231 состоит из входного мультиплексора, полного инструментального усилителя с изменяемым коэффициентом усиления, усилителя с программируемым коэффициентом усиления и собственно 10 разрядного АЦП со схемой выборки-хранения.

С помощью переключателя SA2 выбирают режим - 8 дифференциальных или 16 однополюсных каналов. С помощью переключателя SA3 может быть задан коэффициент усиления инструментального усилителя: 1, 10 или любой в диапазоне от 2 до 100 по выбору пользователя LA-TMS231.

За инструментальным усилителем следует программно переключаемый усилитель (ППУ) с коэффициентами 1, 2, 4, 8 и 16. При этом общий коэффициент усиления аналогового канала вычисляется умножением коэффициентов усиления инструментального и программируемого усилителей. После ППУ включен масштабирующий усилитель, с помощью которого возможно задание входного диапазона напряжения в интервале от  $\pm 5$  до  $\pm 10$ В. Это позволяет адаптировать LA-TMS231 к конкретным датчикам или предварительным устройствам сопряжения с максимальным использованием динамического диапазона.



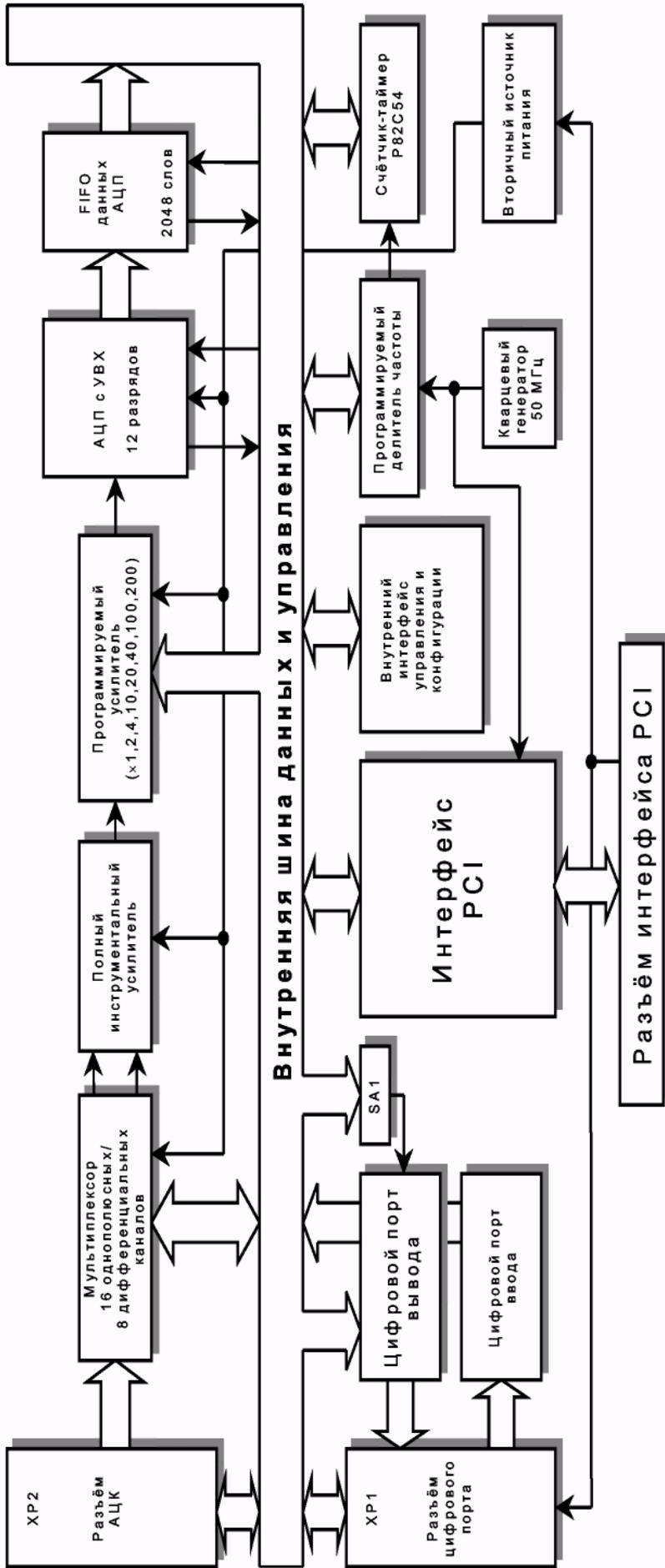


Рисунок 1.4 – Функциональная схема платы LA-TMS231.

Далее следует 10 разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) последовательного приближения и устройство выборки-хранения (УВХ). Время выборки 400 нс - это минимально необходимый интервал для выборки сигнала с необходимой точностью при работе LA-TMS231 на предельных скоростях - 2,5 мкс.

Запуск АЦП может быть программный, от таймера или от внешнего сигнала EXIST. Последние два режима выбираются программированием процессора ADSP2105. Это приводит к изменению источника запуска схемы синхронизации.

Сигнальный процессор ADSP2105 (ADSP2115), расположенный на плате, позволяет построить гибкий алгоритм сбора, обработки и передачи данных в компьютер для дальнейшего анализа полученных экспериментальных результатов. Передача данных от АЦП осуществляется по последовательному каналу связи. Установка на плате сигнального процессора ADSP2115 позволяет использовать второй последовательный канал этого процессора через внешний разъём XP3 для связи с другими платами или внешними устройствами по последовательному каналу.

Программа из системного контроллера загружается в сигнальный процессор ADSP2115 и начинает выполняться. По окончании выполнения данные результата выполненной программы передаются в шину PCI. Управление (программирование режимов) АЦК, счётчиками/таймерами и цифровыми портами может быть осуществлено от системного контроллера только через процессор ADSP2115.

Находящийся на плате сигнальный процессор в штатном режиме реализует тактирование и синхронизацию работы АЦП и ЦАП, служит буфером и организует обмен данными с ПК через двухпортовое ОЗУ.

Переключение каналов при многоканальном режиме сбора данных происходит автоматически, с произвольным порядком выборки канала и коэффициента усиления.

Плата сбора данных LA-TMS231 имеет следующие основные характери-

стики:

- а) частота преобразования до 3МГц;
- б) диапазоны входных напряжений устанавливаются программно:  $\pm 5/ 2,5/ 1,2/ 0,6$  В;
- в) разрядность 12 бит при частоте дискретизации 2,8 МГц;
- г) интегральная и дифференциальная нелинейность до  $\pm 1$  бит;
- д) время установления (с погрешностью недохода 0,1%) аналогового тракта при максимальном перепаде напряжения – не более 200нс;
- е) отображение регистров платы на порты ввода/вывода по шине PCI - до 1,2 Мбайт/с;
- ж) межканальное прохождение минус 70 дБ (для частоты 100 кГц).

При необходимости подачи с платы аналоговых сигналов используется микросхема сдвоенного ЦАП, что позволяет вывести на внешний разъём два канала с сигналом в диапазоне  $\pm 5$  В. Время установления составляет около 8 мкс, максимальная частота преобразования – 125 кГц, разрядность – 12 бит.

## **1.2 Принципы организации полевой шины CAN**

Общая тенденция в области автоматизации состоит в смене существующей централизованной системы управления и распределении управления путем установки интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов вблизи управляемых процессов. Связь между узлами такой системы реализуется с помощью какой-либо полевой шины.

### **1.2.1 Преимущества шины CAN**

CAN (Control Area Network) - последовательная магистраль, объединяющая в сеть «интеллектуальные» устройства ввода/вывода, датчики и исполнительные устройства некоторого механизма или даже предприятия [9-11]. Характеризуется протоколом, обеспечивающим возможность нахождения на магистрали нескольких ведущих устройств, обеспечивающим передачу данных в реальном масштабе времени и коррекцию ошибок, высокой помехоустойчивостью.

Рассмотрим более подробно преимущества CAN и причины, по которым

CAN приобретает все большее распространение (рисунок 1.5).

<p><i>Испытанный стандарт</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Протокол CAN активно используется уже более 20 лет и регламентирован международными стандартами ISO 11898 для высокоскоростных и ISO 11519-1 для низкоскоростных приложений)отдельные контроллеры</li> </ul>
<p><i>Низкая стоимость</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Определяется хорошим соотношением цена/ производительность, также широкой доступностью CAN- контроллеров на рынке</li> </ul>
<p><i>Надежность</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Определяется линейной структурой шины и равноправностью ее узлов, так называемой мультимастерностью (Multi Master Bus), при которой каждый узел CAN может получить доступ к шине. Любое сообщение может быть послано одному или нескольким узлам. Все узлы одновременно считывают с шины одну и ту же информацию, и каждый из них решает, принять данное сообщение или игнорировать его. Отказавшие узлы отключаются от обмена по шине.</li> </ul>
<p><i>Высокая помехоустойчивость</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Достигается благодаря подавлению синфазных помех дифференциальным приемопередатчиком, работе встроенных механизмов обнаружения ошибок (одна необнаруженная ошибка за 1000 лет при ежедневной 8 часовой работе сети на скорости 500 Кбит/с), повтору ошибочных сообщений, отключению неисправных узлов от обмена по шине и устойчивости к электромагнитным помехам.</li> </ul>
<p><i>Гибкость</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Достигается за счет простого подключения к шине и отключения от шины CAN-узлов, причем общее число узлов не лимитировано протоколом нижнего уровня. Адресная информация содержится в сообщении и совмещена с его приоритетом, по которому осуществляется арбитраж. В процессе работы возможно изменение приоритета передаваемого сообщения</li> </ul>
<p><i>Работа в реальном времени</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Становится возможной благодаря механизмам сетевого взаимодействия (мультимастерность, широковещание, побитовый арбитраж) в сочетании с высокой скоростью передачи данных (до 1 Мбит/с), быстрой реакцией на запрос передачи и изменяемой длиной сообщения от 0 до 8 байт.</li> </ul>

Рисунок 1.5 – Преимущества шины CAN.

### 1.2.2 Топология сети CAN

Промышленная сеть реального времени CAN - это сеть с общей средой передачи данных. Узлы сети одновременно получают весь трафик, передаваемый по шине и нельзя отправить сообщение какому-либо конкретному узлу. Тем не менее CAN-контроллеры дают аппаратную возможность фильтрации CAN-сообщений.

Как показано на рисунке 1.6, каждый узел состоит из двух составляющих: это собственно CAN контроллер, обеспечивающий взаимодействие с сетью и реализующий протокол, и микропроцессор (CPU).

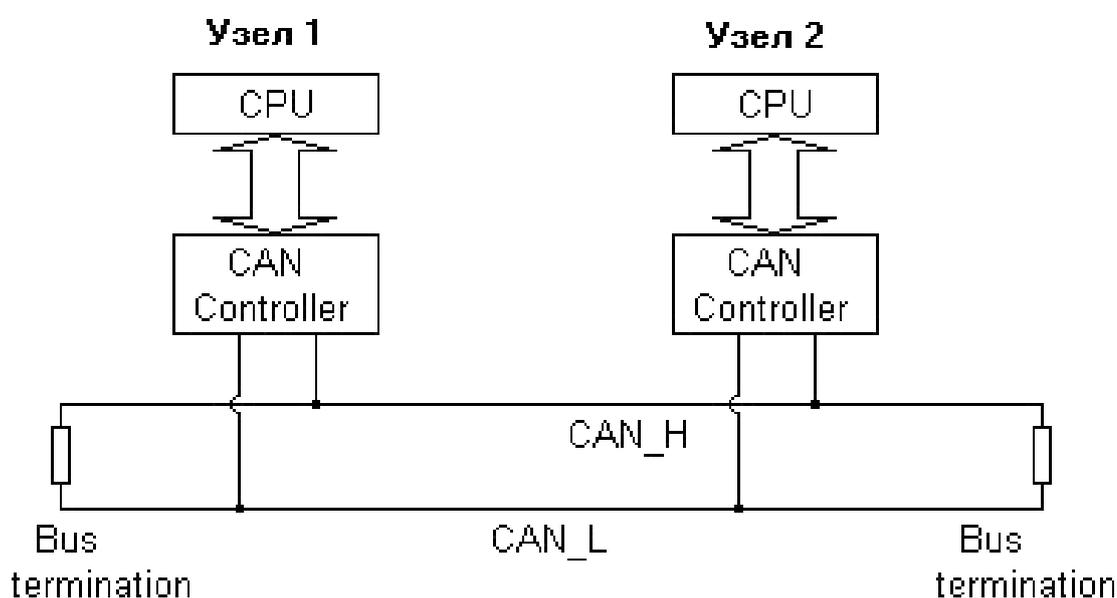


Рисунок 1.6 – Топология и основные компоненты сети CAN.

Физический уровень (Physical Layer) протокола CAN определяет сопротивление кабеля, уровень электрических сигналов в сети и т.п. Существуют следующие физические уровни протокола CAN:

- а) ISO11898;
- б) ISO11519;
- в) SAE J2411.

В основном используется физический уровень CAN, определенный в стандарте ISO 11898.

Стандарт ISO 11898 в качестве среды передачи определяет двухпроводную дифференциальную линию с импедансом (терминаторы) 120 Ом (допускается колебание импеданса в пределах от 108 Ом до 132 Ом).

Максимальная скорость сети CAN в соответствии с протоколом сильно зависит от длины кабеля и равна 1 Mb/s при длине кабеля до 40 метров и 10 Кб/сек при длине до 6 километров.

CAN контроллеры объединяются с помощью дифференциальной шины, имеющей две линии - CAN\_H (can-high) и CAN\_L (can-low), по которым передаются сигналы. Логический ноль отмечается, когда на линии CAN\_H сигнал выше, чем на линии CAN\_L. Логическая единица - в случае, когда сигналы CAN\_H и CAN\_L одинаковы (отличаются менее чем на 0,5 В).

### **1.3 Выбор управляющего микроконтроллера модуля мониторинга**

Анализ технической литературы, информации, выложенной на сайтах производителей и основных дистрибьюторов электронных компонентов, показал, что в настоящее время имеется большое количество микроконтроллеров, способных решить поставленную задачу. Контроллеры отличаются вычислительной мощностью, архитектурой, степенью проработанности и доступности средств разработки программного обеспечения, эксплуатационными параметрами, ценой и прочее.

Однако следует отметить, что постепенное усложнение систем сбора данных привело к тому, что к настоящему времени разработано и серийно выпускается достаточное количество однокристальных систем сбора данных, обеспечивающих преобразование в цифровой код сигналов, поступающих от многих датчиков и передачу их на микро-ЭВМ. Структурная схема развитой системы сбора данных приведена на рисунке 1.7.

В основе системы находится АЦП последовательного приближения. Для уменьшения числа корпусов ИС в схему включены устройство выборки - хранения УВХ и источник опорного напряжения. С целью подключения к нескольким источникам входных аналоговых сигналов применяется аналоговый мультиплексор.

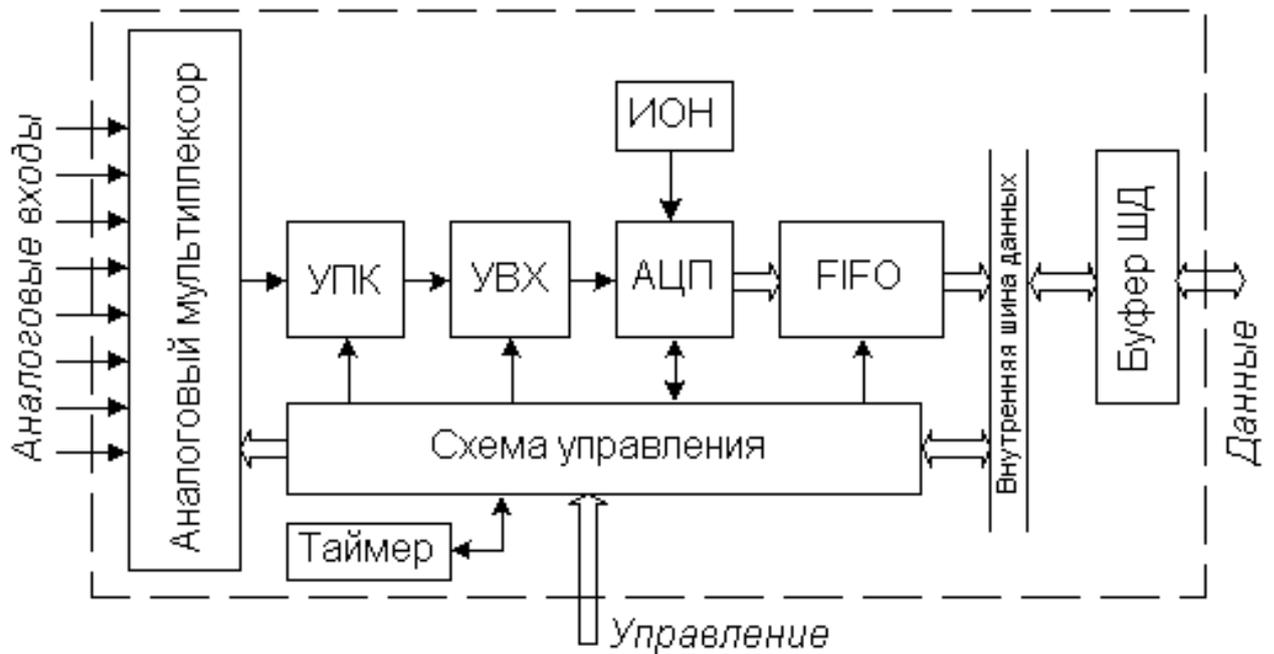


Рисунок 1.7 - Структурная схема системы сбора данных.

Для сокращения частоты прерываний главного процессора системы сбора данных ее можно снабдить оперативным запоминающим устройством обратного магазинного типа FIFO. Измерительный программируемый усилитель УПК, который входит в систему, меняет свой коэффициент усиления по команде от схемы управления. Это дает возможность выровнивания диапазонов аналоговых сигналов с разных входов и приближения их к динамическому диапазону измерений АЦП.

Схема управления может содержать оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), в него из главного процессора загружается блок рабочих команд. Эти команды содержат следующие сведения:

- а) какие используются операционные режимы;
- б) какие из входных каналов должны быть однопроводными, а какие - объединяться с образованием дифференциальных пар;
- в) как часто и в каком порядке нужно производить выборку для каждого канала.

Встроенный в систему сбора данных цифровой таймер определяет темп преобразования АЦП.

Одной из наиболее развитых является система сбора данных LM12458, которая содержит 8-входовый аналоговый мультиплексор, УВХ, 13-разрядный АЦП последовательного приближения, память типа FIFO с организацией 32x16 бит, ОЗУ команд и 16-битный цифровой таймер.

Отдельный класс устройств с аналого-цифровыми преобразователями представляют собой микроконверторы. Он состоит из многоканального высококачественного АЦП, микроконтроллера и одно- или двухканального ЦАП. Микроконверторы принимают аналоговые сигналы, преобразуют их в цифровые коды по программе, записанной в ПЗУ микроконтроллера, обрабатывают эти коды и с помощью ЦАП и вновь преобразуют результаты в аналоговые сигналы. Такая схема отличается большой функциональной гибкостью и точностью. В частности, микроконвертор ADuC812 содержит 8-канальный мультиплексор, УВХ, 12-разрядный АЦП последовательного приближения с производительностью 200 kps, два 12-разрядных ЦАП и микроконтроллер с системой команд семейства MCS-51.

Подробный анализ приведенной информации позволил остановиться на однокристалльных системах сбора данных (микроконверторах) C8051F04x фирмы Silicon Laboratories. Основными причинами выбора этих ИС явились высокая вычислительная мощность, прецизионный быстродействующий многоканальный АЦП, наличие встроенного контроллера CAN 2.0 и аппаратно реализованных последовательных интерфейсов SPI, SMBus(I2C), 64 Кбайта Flash памяти, встроенная автономная отладочная система JTAG и т.п.

#### **1.4 Разработка требований к разрабатываемому модулю мониторинга**

Представленные выше данные свидетельствуют о том, что для создания контрольно-измерительных систем в промышленности и лабораторных исследованиях плата сбора данных и управления LA-TMS231 компании L-CARD является удачным выбором для низкоскоростных применений.

Однако следует отметить следующие существенные недостатки платы LA-TMS231 в имеющейся системе сбора данных аэроклиматического комплекса:

а) отсутствие прямой поддержки интерфейса CANopen, что требует применения специальной платы преобразователя интерфейса (шлюза) PCI/CAN iPC-I XC16/PCI фирмы IXHAT;

б) отсутствие интерфейса управления устройствами индикации (жидкокристаллическими или светодиодными индикаторами и модулями), что не позволяет отображать текущие (и заданные) значения параметров аэроклиматических воздействий при проведении испытаний;

в) плата не способна работать с цифровыми датчиками, что существенно ограничивает возможности дальнейшей модернизации устройства;

г) отсутствие интерфейса обмена данными с персональным компьютером не позволяет проводить исследования в реальном масштабе времени или проводить испытания в течение весьма длительного промежутка времени;

д) отсутствие интерфейса внутрисистемного программирования ISP не позволяет осуществлять оперативное изменение параметров ввода данных с датчиков (изменение полосы пропускания, динамического диапазона выходного сигнала, калибровку и пр.).

Устранение указанных недостатков в модернизированном модуле мониторинга позволит существенно расширить функциональные возможности системы сбора данных, повысить достоверность получаемой информации и обеспечит ее обработку в режиме реального времени.

## 2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорного модуля мониторинга

Прежде чем приступить к разработке функциональной схемы аппаратно-программного модуля мониторинга аэроклиматических параметров, следует проанализировать структуру выбранного управляющего микроконтроллера семейства C8051F04x.

### 2.1 Структура и параметры однокристалльной системы C8051F04x

#### 2.1.1 Выбор управляющего микроконтроллера

Микроконтроллеры C8051F04x представляют собой полностью интегрированные на одном кристалле системы для обработки смешанных (аналого-цифровых) сигналов, которые имеют 64 (C8051F040/2) или 32 (C8051F041/3) линии ввода/вывода, а также широкий набор периферийных модулей.

Основные достоинства микроконтроллеров с точки зрения решаемой задачи приведены на рисунке 2.1.

В таблице 2.1 приведены сравнительные характеристики МК C8051F04x.

Таблица 2.1 - Сравнительные характеристики МК C8051F04x

Микроконтроллер	MIPS (max)	Flash- память	ОЗУ	Интерфейс внешне памяти	SMBus/I2C	CAN	UART	Таймеры 16-разрядный	Программируемый массив счетчиков	Цифровые порты ввода/вывода	12-разрядный АЦП	10-разрядный АЦП	10-разрядный ЦАП	Датчик температуры	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Выходы ЦАП	Тип корпуса
C8051F040	25	64	435	+	+	+	2	5	+	64	+	-	+	+	+	3	2	100TQFP
C8051F041	25	64	435	+	+	+	2	5	+	32	+	-	+	+	+	3	2	64TQFP
C8051F042	25	64	435	+	+	+	2	5	+	64	-	+	+	+	+	3	2	100TQFP
C8051F043	25	64	435	+	+	+	2	5	+	32	-	+	+	+	+	3	2	64TQFP

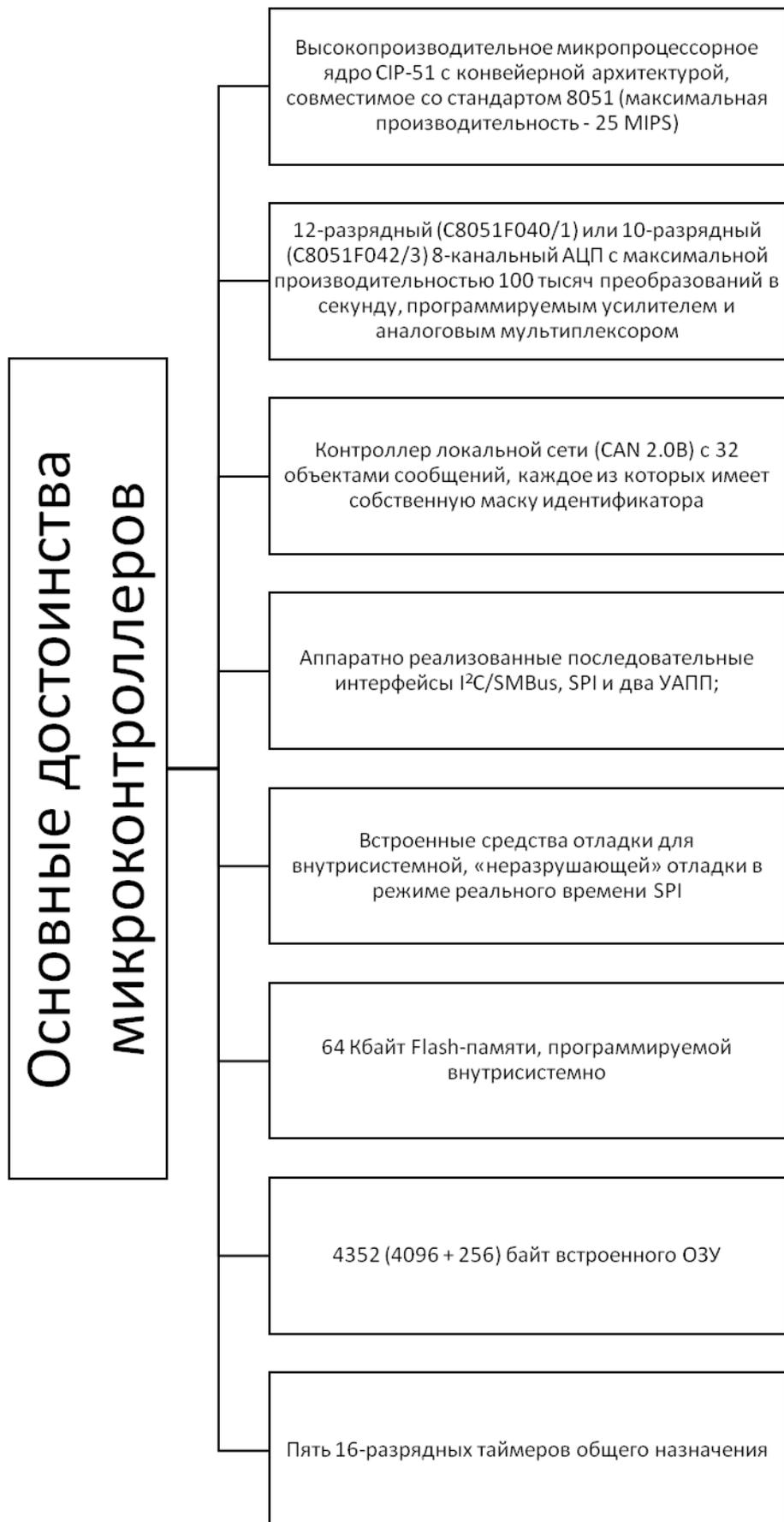


Рисунок 2.1 - Основные достоинства микроконтроллеров с точки зрения решаемой задачи.

Все МК содержат встроенную схему слежения за напряжением питания, сторожевой таймер, тактовый генератор и поэтому являются функционально-законченной системой на одном кристалле.

Все аналоговые и цифровые периферийные модули включаются/отключаются и настраиваются программой пользователя. Есть возможность внутрисхемного программирования Flash-памяти, это обеспечивает долговременное хранение данных, а также дает возможность выполнять обновление программного обеспечения в уже реализованных изделиях.

Встроенный интерфейс JTAG позволяет производить внутрисхемную отладку в режиме реального времени, используя МК, установленные в конечное изделие.

Анализ данных таблицы 2.1 показывает, что наиболее подходящим для решения поставленной задачи является микроконтроллер C8051F043. В дальнейшем и будем рассматривать именно этот контроллер.

### **2.1.2 Структурная схема и функциональные возможности микроконтроллера C8051F043**

Структурная схема микроконтроллера C8051F043 приведена на рисунке 2.2.

Микроконтроллер C8051F043 использует разработанное фирмой Silicon Labs процессорное ядро CIP-51, которое по системе команд полностью совместимо с ядром MCS-51™. Для разработки программного обеспечения могут использоваться стандартные 803х/805х ассемблеры и компиляторы. Ядро содержит все периферию, соответствующую стандарту 8052, включая пять 16-разрядных таймеров/счетчиков, два полнодуплексных УАПЧ, 256 байт внутренней ОЗУ, 128 байт адресного пространства регистров специального назначения, а также четыре 8 разрядных порта ввода/вывода.

Ядро CIP-51 использует конвейерную архитектуру, что существенно повышает скорость выполнения команд по сравнению со стандартной архитектурой 8051. В МК с архитектурой 8051 все команды, кроме MUL и DIV, исполняются за 12 или 24 системных тактовых цикла при максимальной тактовой ча-

стоте 12-24 МГц. МК с ядром СІР-51 исполняют 70% своих команд за один или два системных тактовых цикла, и только четыре команды требуют более четырех системных тактовых циклов.

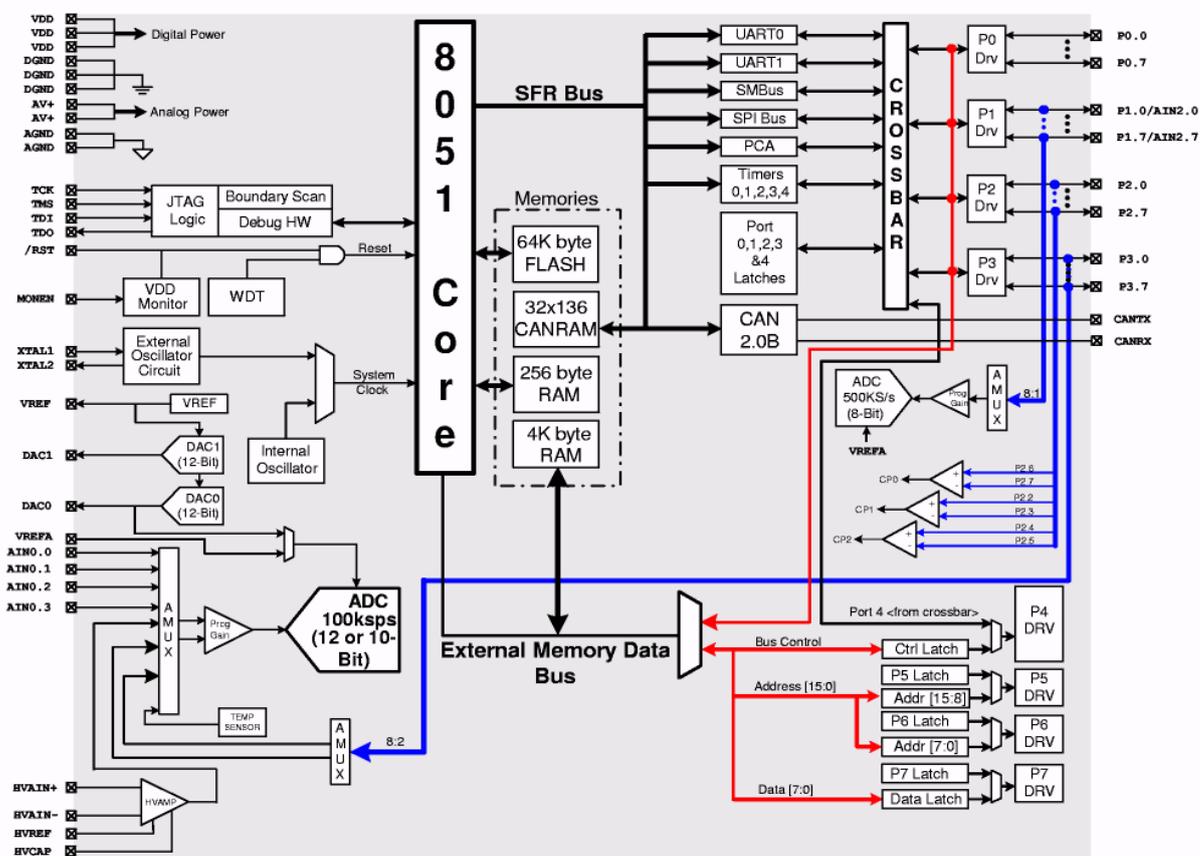


Рисунок 2.2 - Микроконтроллер S8051F043. Схема структурная.

На рисунке 2.3 приведены данные, позволяющие сравнить значение максимальной производительности 8-разрядных разных МК, работающих на максимально возможных для них частотах. При работе на тактовой частоте 25 МГц производительность ядра СІР-51 может достигать 25 MIPS. Из рисунка видно, что выбранный МК имеет несомненные преимущества по данному показателю.

Микроконтроллеры S8051F043 имеют ряд важных особенностей, которые позволяют улучшить общую производительность и упростить использование МК в конечных приложениях (рисунок 2.4).

Ядро СІР-51 имеет стандартную (8051) структуру адресного пространства памяти программ и данных. В состав памяти входит ОЗУ объемом 256 байт, старшие 128 байт которого имеют двойную конфигурацию.

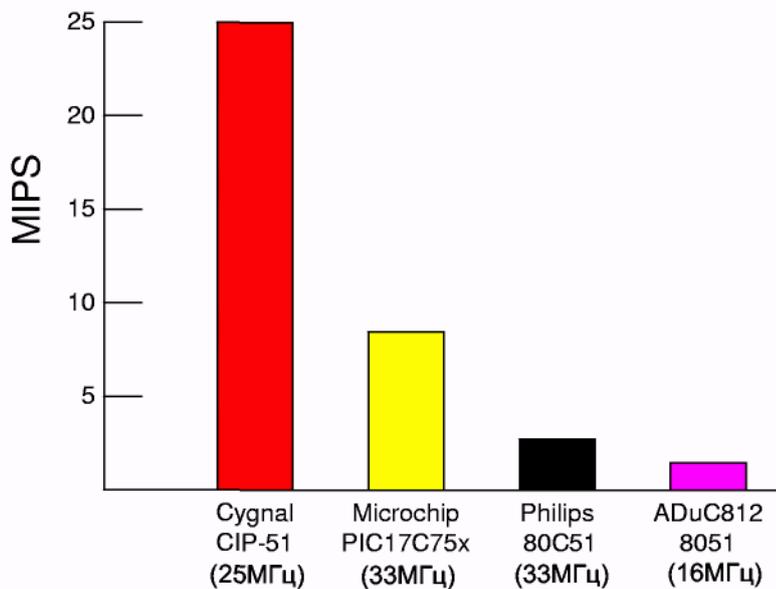


Рисунок 2.3 – Диаграмма производительности 8-разрядных разных МК, работающих на максимально возможных для них частотах.

Адресное пространство SFR содержит до 256 страниц SFR. Таким образом, МК на основе CIP-51 могут использовать множество регистров SFR для управления и настройки различных периферийных модулей, имеющих в данных МК. Младшие 128 байт ОЗУ доступны как для прямой, так и для косвенной адресации. Из них первые 32 байта адресуются как четыре банка регистров общего назначения, а следующие 16 байт адресуются побайтно или побито.

Память программ МК состоит из 64 Кбайт Flash-памяти. Эта память может перепрограммироваться внутрисистемно секторами по 512 байт, не требуя при этом специального внешнего напряжения программирования. 512 байт с адресами от 0xEE00 до 0xFFFF зарезервированы для нужд производителя. Имеется также дополнительный 128-байтный сектор с адресами от 0x10000 до 0x100TF, который может использоваться в качестве небольшой таблицы программных констант.

Микроконтроллер C8051F043 имеет встроенный контроллер локальной сети (CAN), который осуществляет взаимодействие по последовательному каналу с использованием протокола CAN со скоростью передачи до 1 Мбит/сек.

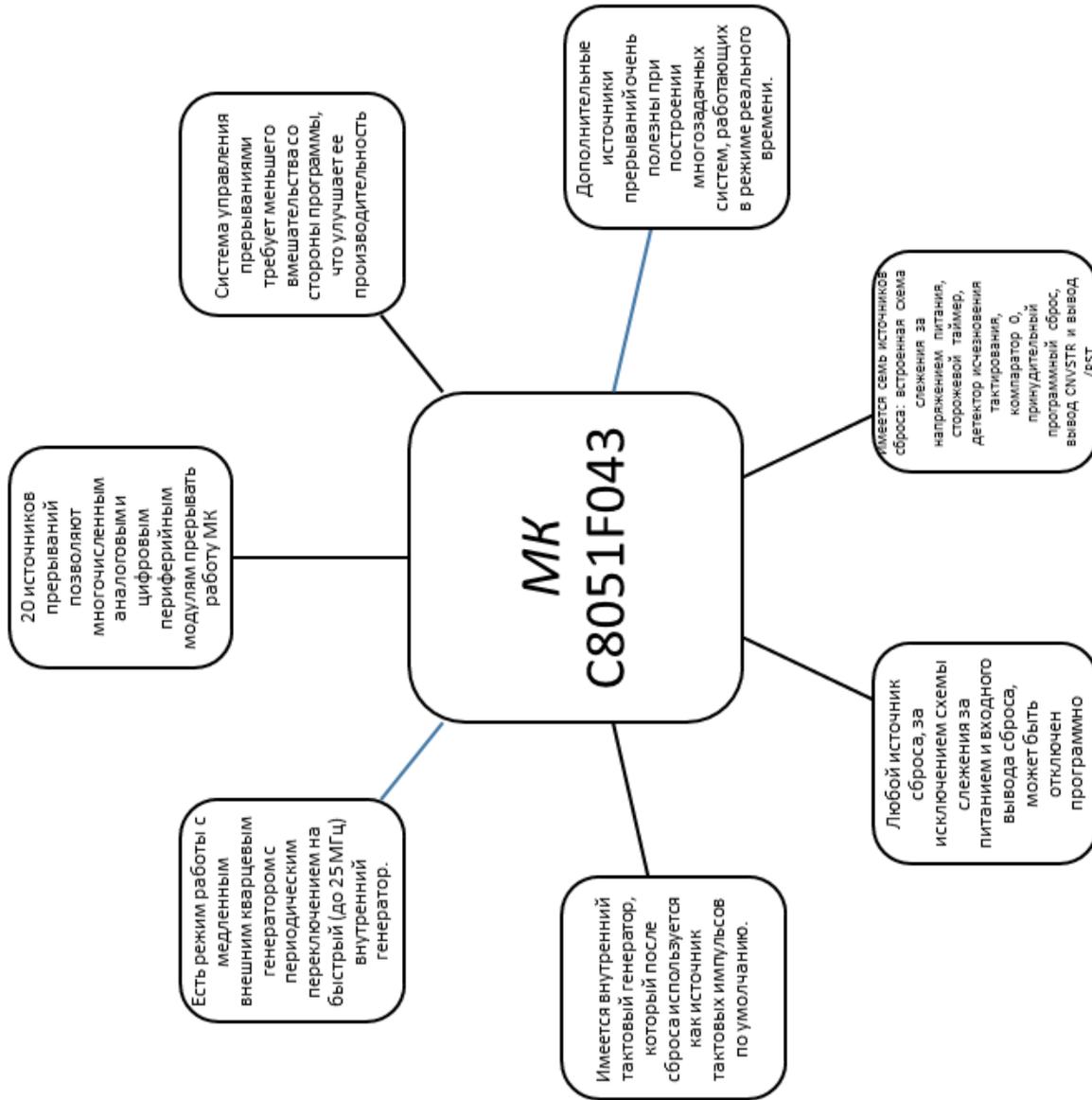


Рисунок 2.4 – Особенности Микроконтроллеров C8051F043.

Немаловажным фактором является то, что C8051F043 имеет быстродействующий АЦП последовательных приближений, который позволяет проводить до 100 тысяч измерений в секунду с 10 битным разрешением.

## 2.2 Построение функциональной схемы разрабатываемого модуля мониторинга аэроклиматических параметров

На рисунке 2.5 приведена функциональная схема разрабатываемого модуля мониторинга аэроклиматических параметров. Управляющим элементом модуля является недорогой flash- микроконтроллер C8051F043, встроенные модули которого выполняют все основные функции аппаратно-программного модуля мониторинга аэроклиматических параметров.

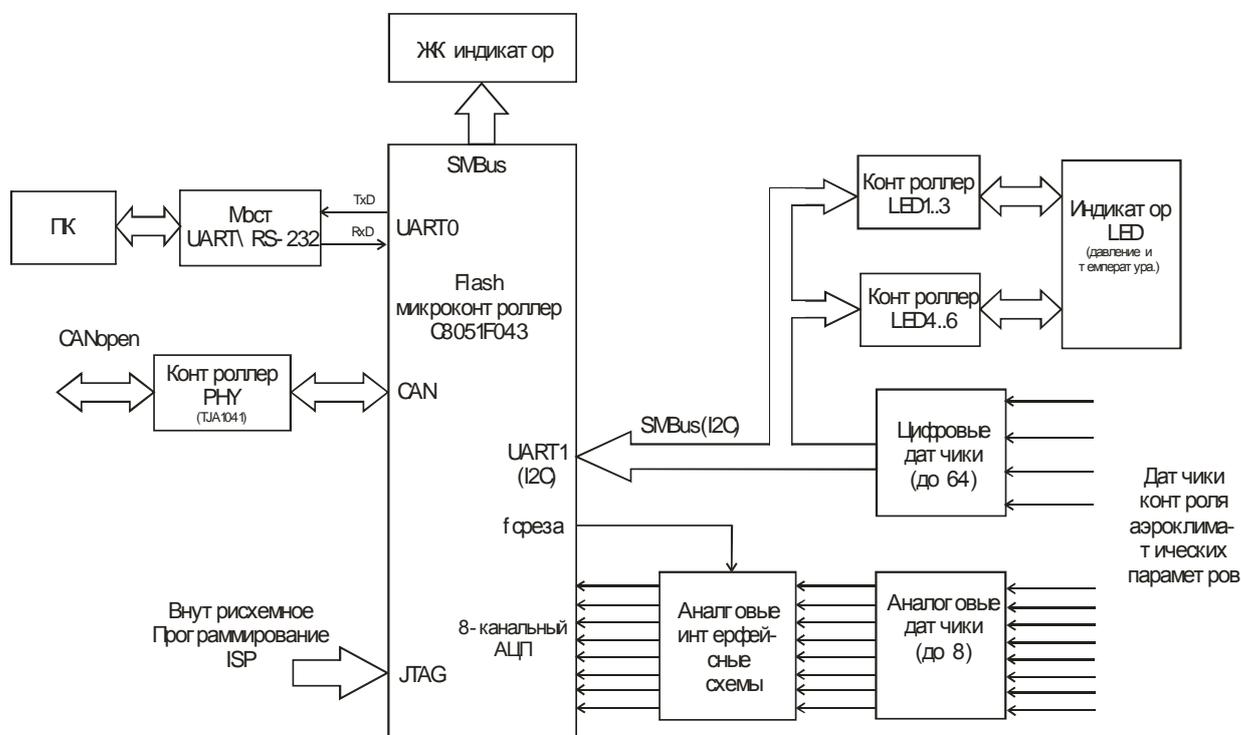


Рисунок 2.5 - Функциональная схема разрабатываемого модуля мониторинга аэроклиматических параметров.

При проведении аэроклиматических испытаний контролируемые параметры (давление, температура, влажность, скорость воздуха и т.д.) с помощью соответствующих аналоговых датчиков преобразуются в сигналы напряжения постоянного тока.

Аналоговые датчики выбраны из-за низкой стоимости и отсутствия необходимости организации интерфейса передачи данных. Для исключения высо-

кочастотных составляющих исследуемого сигнала используется активный фильтр НЧ с регулируемой частотой среза.

Через аналоговые интерфейсные схемы, с программно изменяемой полосой пропускания, сигналы поступают на мультиплексированный вход 10 битного АЦП микроконтроллера С8051F043. Усилитель с программно задаваемым коэффициентом усиления обеспечивает согласование динамических диапазонов датчиков и АЦП.

В случае необходимости через последовательный интерфейс SPI на микроконтроллер могут быть поданы сигналы 64 цифровых датчиков. Такое количество дополнительных датчиков обеспечит практически любые потребности испытателей автомобильной электроники.

Полученные результаты испытаний в реальном времени передаются по интерфейсу RS-232 на персональный компьютер для визуальной оценки результатов испытаний в реальном времени. Для согласования интерфейсов UART микроконтроллера и COM порта компьютера применен преобразователь интерфейсов (мост) UART\RS-232 на недорогой микросхеме MAX3222.

В модуле мониторинга предусмотрена возможность подключения к локальной сети аэроклиматического комплекса по интерфейсу CANopen. Интерфейс реализован на интегрированном в управляющий МК С8051F043 контроллер локальной сети CAN.

Контроллер обеспечивает работу в сети CAN в соответствии со спецификациями Bosh 2.0 (базовый CAN) и 2.0В (расширенный CAN), обеспечивая при этом скорость обмена данными до 1 Мбит\с. Реальная скорость обмена данными определяется состоянием физической среды передачи данных по шине CAN. Для согласования контроллера CAN и физической линии связи (витая пара RS-485) используется отказоустойчивый трансивер сети TJA1041 компании Philips.

Текущие значения атмосферного давления и температуры окружающей среды отображаются на двух трехразрядных семисегментных светодиодных индикаторах, управляемых по шине SMBus(I2C) с помощью специализированных контроллеров SAA1064 фирмы Philips.

Для калибровки модуля, отображения его статуса и другой информации, связанной с настройкой или диагностикой, используется знаковосинтезирующий двухстрочный ЖК индикатор. Объем и вид выводимой информации определяется пользовательской программой и согласуется с Заказчиком.

Микроконтроллеры семейства C8051F04x допускают внутрисистемное (внутрисхемное) программирование ISP, что реализовано в разрабатываемом модуле с помощью собственного интерфейса программирования JTAG. Этот интерфейс кроме простой «прошивки» памяти МК может осуществлять отладку в реальном времени программы МК, установленного непосредственно в работающее изделие.

Посредством JTAG интерфейса, полностью совместимого с протоколом IEEE 1149.1, можно осуществлять и граничное сканирование, которое используется для тестирования и производственных испытаний.

### **2.3 Выбор элементной базы модуля мониторинга аэроклиматических параметров**

Управляющий микроконтроллер был выбран ранее, поэтому проведем выбор оставшихся основных узлов модуля.

#### **2.3.1 Выбор аналогового фильтра низких частот**

Разрабатываемый модуль предназначен для измерений сигналов различных датчиков физических величин. Для исключения ошибок, связанных с влиянием высших гармоник, спектр измеряемых сигналов, подаваемых на вход АЦП, должен быть ограничен с помощью фильтров низких частот (ФНЧ).

Проведенный поиск в сети Интернет позволил найти интегральные ФНЧ с минимальным количеством навесных элементов и обладающих параметрами АЧХ значительно превышающими требуемые значения. Фильтры НЧ MAX7404 фирмы Maxim являются фильтрами НЧ 8-го порядка и реализованы на переключаемых конденсаторах. Это означает, что, изменяя только частоту переключения конденсаторов, можно проводить точную настройку фильтров в широких пределах.

Фильтр имеет диапазон питающих напряжений в пределах от 2,7 до 3,6 В,

частота среза регулируется в диапазоне от 0,001 до 10 кГц, уровень нелинейных искажений совместно с шумами не превышает минус 79 дБ.

Соотношение тактовой частоты  $f_{CLK}$  и частоты среза  $f_g$  имеет значение 100:1. Из этого следует, что фильтры MAX7404 практически идеально подходит для использования в разрабатываемой схеме. Амплитудно-частотная характеристика фильтра приведена на рисунке 2.6.

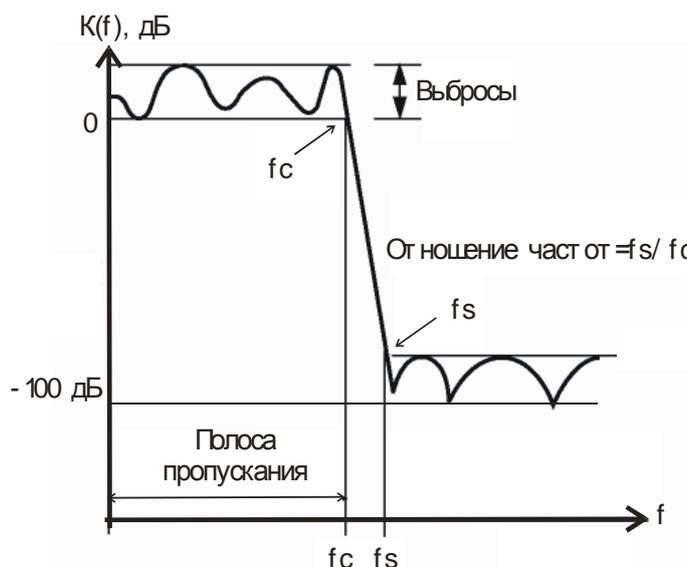


Рисунок 2.6 - Амплитудно-частотная характеристика фильтра MAX7404.

В технической спецификации на фильтр MAX7404 указано, что задать частоту среза фильтра  $f_g$  можно либо внешним тактовым генератором ( $f_{CLK}/f_g = 100:1$ ), либо используя внутренний тактовый генератор.

Частота внутреннего генератора задается внешним конденсатором C7, подключаемым к входу CLK фильтра (рисунок 2.7).

Значение конденсатора C7 (в пикофарадах) определяется по формуле (2.1).

$$C = \frac{34000}{f_g} \quad (2.1)$$

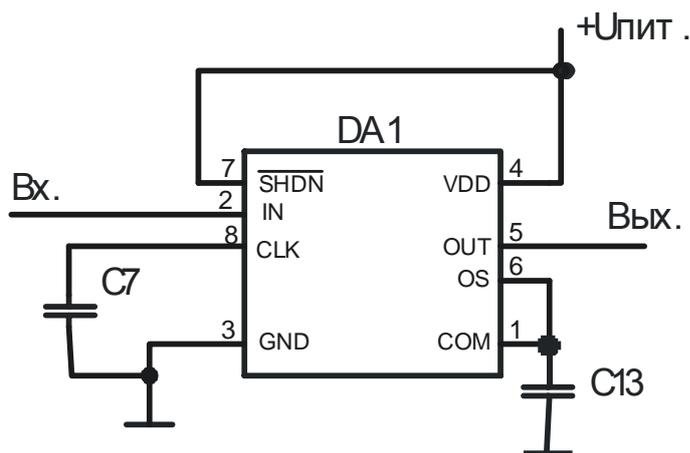


Рисунок 2.7 – Схема подключения фильтра НЧ MAX7404.

Легко получить, что при частоте среза 2,5 кГц емкость конденсатора C7 составит 13 пФ. Эта частота является типовой при фильтрации сигналов аналоговых датчиков аэроклиматических параметров.

При необходимости оперативного изменения частоты среза фильтра НЧ на вход CLK подается частота внешнего тактового генератора  $f_{CLK}$ , определяющая текущую частоту среза  $f_g = f_{CLK} \setminus 100$ .

Как следует из рисунка 2.6, фильтр MAX7404 имеет более 100 дБ подавления гармонических составляющих в требуемой полосе частот, что обеспечивает практически идеальную фильтрацию исследуемого сигнала.

### 2.3.2 Приемопередатчик интерфейса UART\RS-232

Интерфейс RS-232 (он же COM порт компьютера) имеет 12 В уровни, при этом логической единице (лог. 1) соответствует уровень минус 12 В, а логическому нулю (лог.0) - соответствует плюс 12 В. Интерфейс UART имеет обычные 5 В (ТТЛ) уровни, при которых лог.1 соответствует плюс 5 В, а лог.0 - нулевому уровню.

Так как интерфейсы UART и RS-232 оперируют с логикой противоположной полярности с различными уровнями напряжений, в качестве приемопередатчика моста UART\RS-232 при работе модуля мониторинга с персональным компьютером использована микросхема MAX3222 фирмы Maxim.

Микросхема представляет собой низкопотребляющий трансмиттер с

напряжением питания от 3 до 5,5 В с гарантированной скоростью передачи данных до 120 кбит в секунду с уровнями сигналов RS-232. С ее помощью возможно полное отключение, при необходимости, от персонального компьютера – подача логического нуля на вход EN(enable) отключает выходы приемника, а на вход SHDN(hutdown) - отключает передачу.

Микросхема имеет два приемника и два передатчика и потребляет ток 1 мкА в отключенном состоянии. Типовая схема включения MAX3222 приведена на рисунке 2.8.

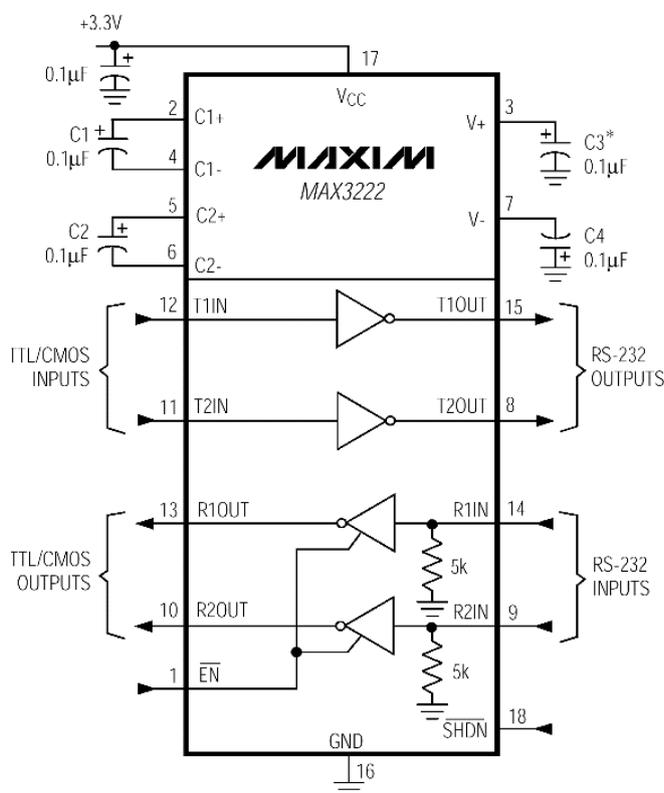


Рисунок 2.8 - Типовая схема включения MAX3222.

### 2.3.3 Контроллер управления светодиодным индикатором

Для управления семисегментными светодиодными индикаторами по шине SMBus(I2C) в разработанном модуле мониторинга применена специализированная микросхема-контроллер SAA1064 фирмы Philips. Контроллер обеспечивает управление четырьмя индикаторами с десятичной точкой и общим анодом в мультиплексном режиме или же двумя индикаторами в статическом режиме.

Размещение выводов микросхемы SAA1064 показано на рисунке 2.9.

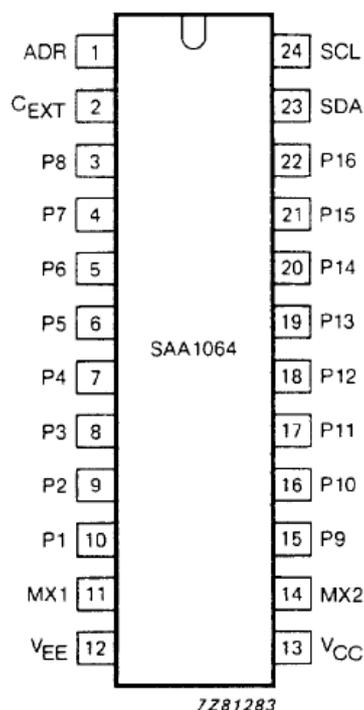


Рисунок 2.9 – Расположение выводов микросхемы SAA1064.

SAA1064 включает интегрированный интерфейс I2C, который позволяет осуществить обращение по четырем адресам ведущих устройств.

Допустимый диапазон питающего напряжения микросхемы SAA1064 составляет +4,5...+18 В при типичном значении потребляемого тока 8,6 мА (подключены все сегменты).

Два младших разряда A1 и A0 ведомого устройства I2C задаются с помощью входа ADR (вывод 1 микросхемы SAA1064), а старшие пять разрядов жестко определены как 01110.

Четыре различных адреса определяются уровнем аналогового напряжения  $U_{ADR}$ , подаваемого на вывод ADR (таблица 2.2), сформированного с помощью перемычек JP1... JP3.

Таблица 2.2 - Выбор одного из четырех возможных адресов SAA1064

$U_{ADR}$ , В	A1	A0	JP3	JP2	JP1
0	0	0	+	-	-
$1/3 V_{CC}$	0	1	-	-	-
$2/3 V_{CC}$	1	0	-	-	+
$V_{CC}$	1	1	-	+	-

Таким образом, контроллер SAA1064 предоставляет в распоряжение четыре адреса для доступа на запись ( $70_h$ ,  $72_h$ ,  $74_h$  и  $76_h$ ) и четыре адреса для доступа на чтение ( $71_h$  и,  $73_h$ ,  $75_h$  и  $77_h$ ).

Порты ввода/вывода SCL и SDA соответствуют соглашениям шины I2C. Между входом  $C_{EXT}$  и «землей» подключен конденсатор емкостью 2,7 нФ, предназначенный для регулировки частоты мультиплексирования.

В динамическом режиме работы выходы мультиплексора MX1 и MX2 попеременно активизируются с частотой, выдаваемой системным осциллятором. В статическом режиме работы постоянно включен выход MX1.

Выходной каскад представляет собой эмиттерный повторитель, который может напрямую управлять общим анодом светодиодного индикатора, если полученное потребление мощности меньше предела 1000 мВт, допустимого для микросхемы в корпусе DIL. Если этого гарантировать нельзя, то следует применять внешние транзисторы, как это показано на рисунке 2.10.

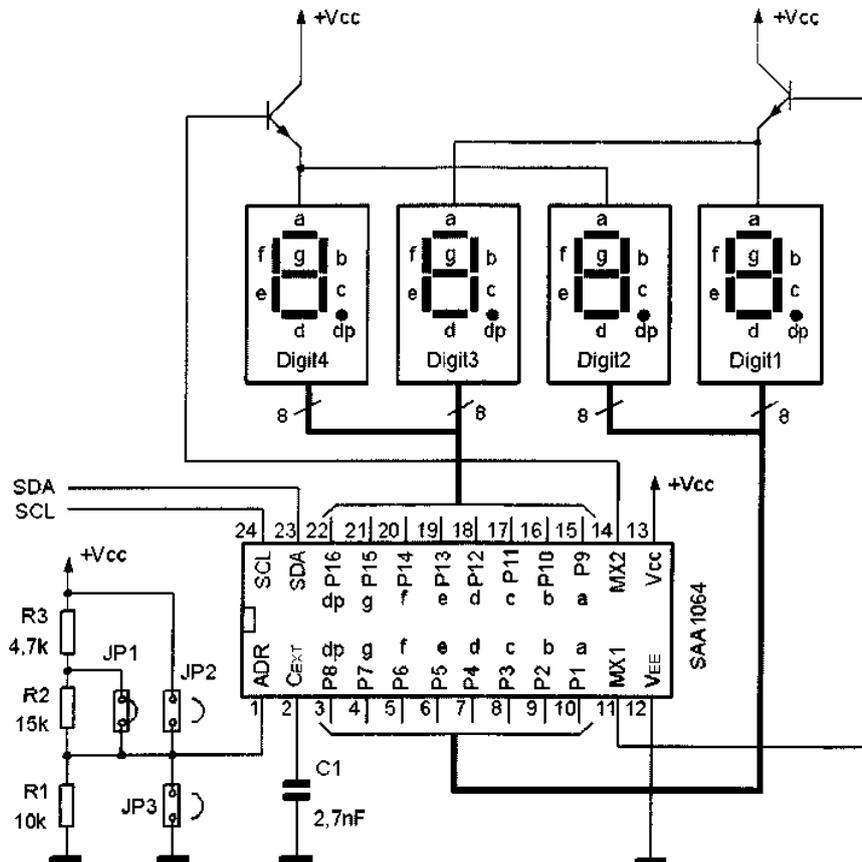


Рисунок 2.10 - Типовая схема подключения контроллера SAA1064 с интерфейсом I2C в динамическом режиме.

Сегментные выводы P1 ...P16 выходят из регуляторов стабилизированного тока, для которых сила выходного тока программируется с помощью разрядов C4...C6 регистра управления микросхемы SAA1064 с шагом 3 мА и может достигать 21 мА.

Сегмент включен, если в соответствующем разряде регистра данных установлена логическая единица 1. Так как все сегменты управляются независимо друг от друга, можно включать отдельные светодиоды, создавая таким образом различные знаки.

Регистры данных Digit 1 и Digit2 поставлены в соответствие сегментным выходам P1...P8, а регистры Digit3 и Digit4 - выводам P9...P16. При этом старшим разрядам D17 и D27 регистров Digit1 и Digit2 соответствует вывод P8, а старшим разрядам D37 и D47 регистров Digit5 и Digit4 - вывод P16 (рисунок 2.11).

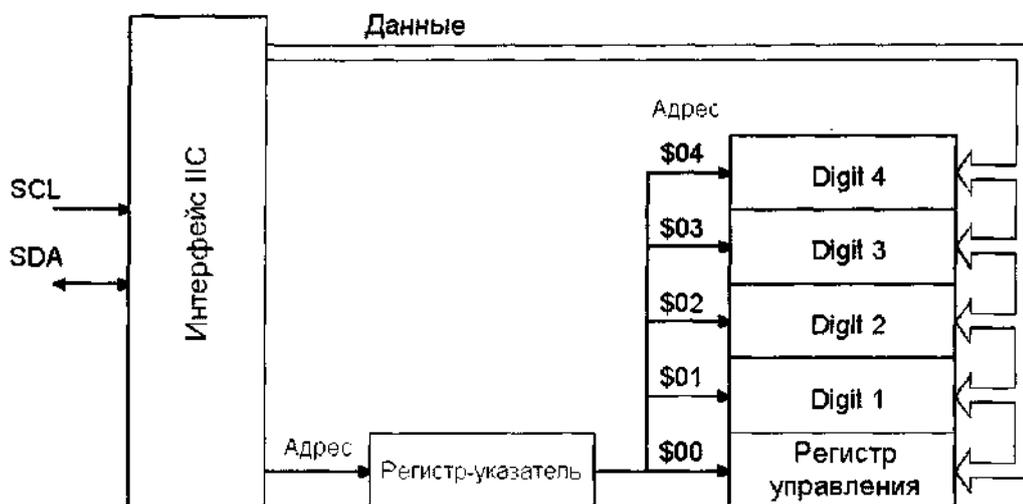


Рисунок 2.11 - Внутренняя регистровая структура контроллера SAA1064.

В статическом режиме работы сегменты двух светодиодных индикаторов подключаются непосредственно к выводам P1...P8 (Digit1) или P9...P16 (Digit2), а на их общий анод подается напряжение Vcc. Выводы MX1 и MX2 остаются неподключенными, а вывод C<sub>EXT</sub> соединен с «землей».

Регистр управления содержит семь разрядов управления C6...C0 (рисунок 2.12).

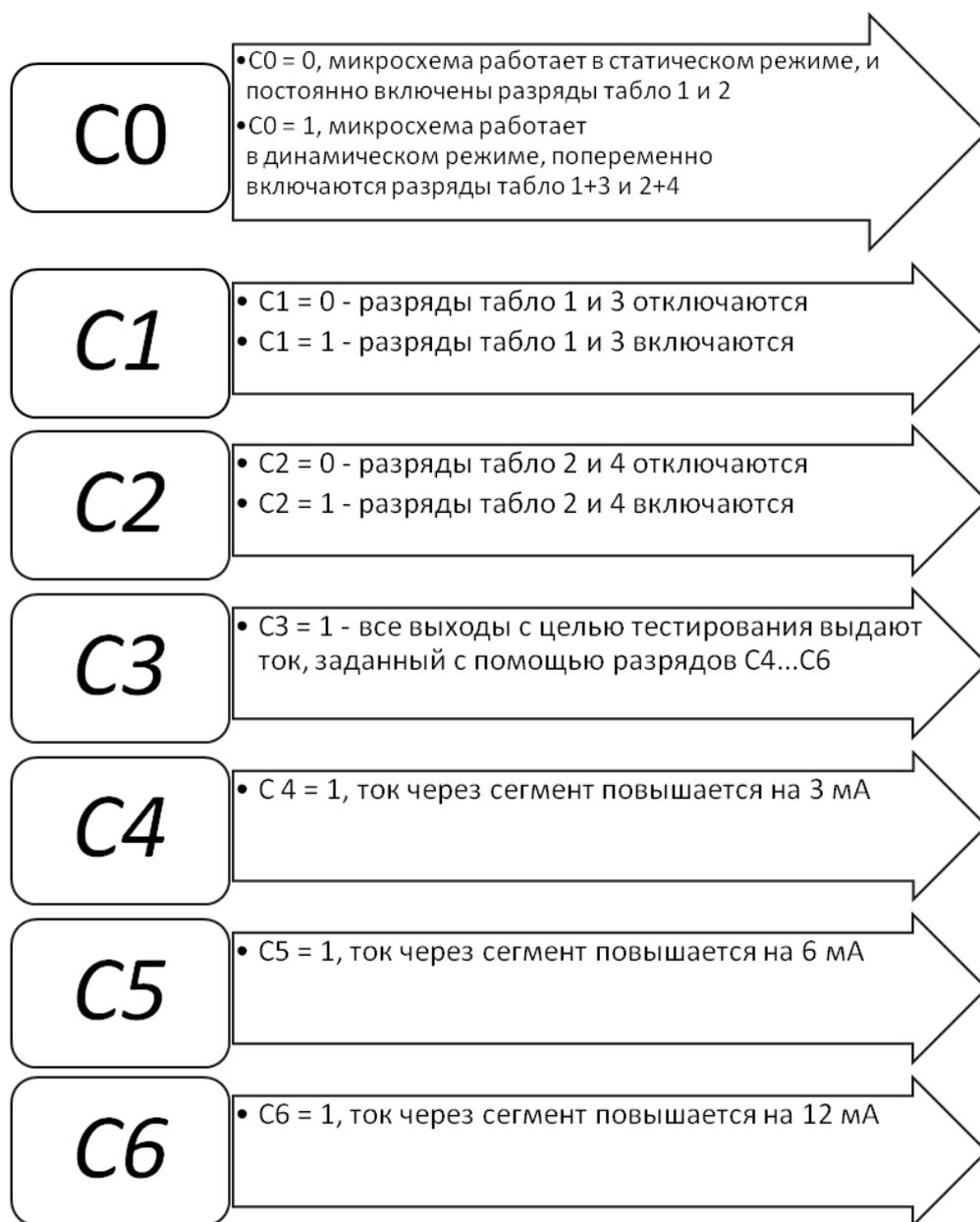


Рисунок 2.12 – Разряды управления регистра управления.

Четыре регистра данных и регистр управления SAA1064 адресуются с помощью регистра-указателя, в который требуемый адрес записывается в виде байта-инструкции.

## 2.4 Организация интерфейсов управления и обмена данными

### 2.4.1 Организация канала аналого-цифрового преобразования

Модуль мониторинга должен обеспечивать ввод данных с восьми аналоговых датчиков физических величин. Сигналы этих датчиков «оцифровываются»

ся» встроенным модулем АЦПО микросхемы С8051F043 (рисунок 2.13). аналогичные характеристики и возможности настройки.

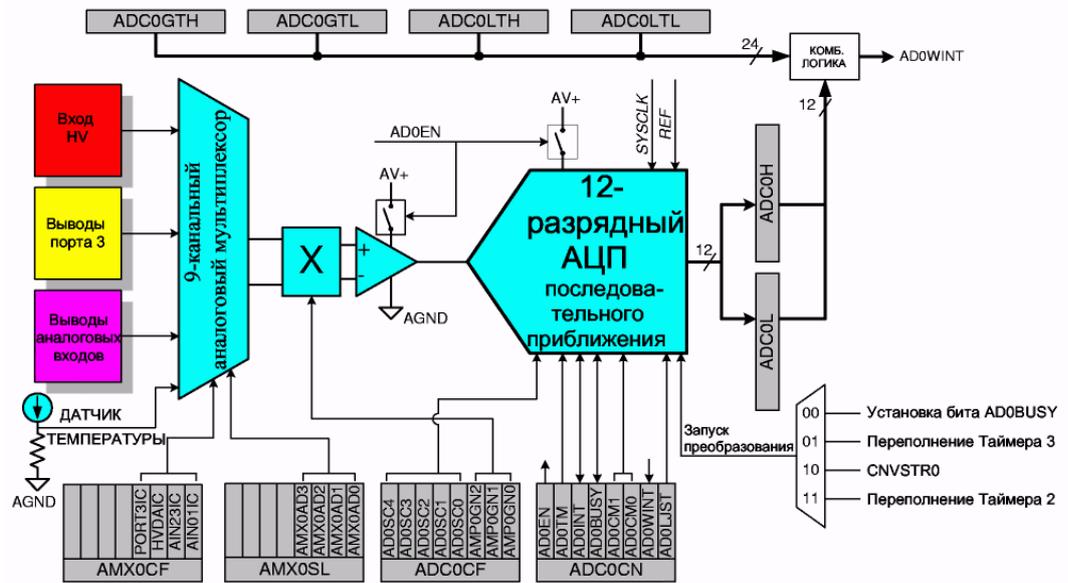


Рисунок 2.13 – Функциональная схема микросхемы С8051F043.

Модуль АЦПО состоит из 9-канального программируемого аналогового мультиплексора (AMUX0), программируемого усилителя (PGA0), АЦП последовательного приближения с производительностью до 100 тысяч преобразований в секунду (12 bit –С8051F40\41 и 10 bit –для С8051F42\43), устройства выборки-хранения (УВХ) и программируемого детектора диапазона. Модули AMUX0, PGA0, режимы преобразования и детектор диапазона настраиваются программным путем при помощи регистров специального назначения.

Аналоговый мультиплексор позволяет подавать аналоговые сигналы на АЦП от четырех внешних аналоговых входов (AIN0.0-AIN0.3), от выводов порта 3 (настроенных, при необходимости, как аналоговые входы), от высоковольтного дифференциального усилителя, или от внутреннего встроенного датчика температуры.

Каждая пара входов AMUX могут быть запрограммирована на работу в одиночном или дифференциальном режимах. Это позволяет выбрать наиболее подходящий режим измерения, и даже производить изменение режимов «на лету». При сбросе все каналы AMUX настраиваются как одиночные входы.

Для управления AMUX используются три регистра: регистр выбора канала AMX0SL, регистр конфигурации AMX0CF и регистр выбора вывода порта 3 AMX0PRT. PGA усиливает выходной сигнал AMUX с коэффициентом усиления, определяемым битами AMP0GN2-0 регистра конфигурации АЦПО ADC0CF. Коэффициент усиления может быть программно выбран из следующего ряда значений: 0.5, 1 (устанавливается при сбросе), 2, 4, 8, 16.

Все выводы порта 3 можно настроить как входы аналоговых сигналов, что обеспечивается с помощью регистра выбора вывода порта 3 (AMX0PRT). Любое количество выводов порта 3 можно выбрать одновременно в качестве входов AMUX. Четные и нечетные выводы порта 3 разведены на разные входы AMUX.

При назначении выводов порта 3 следует помнить, что четные и нечетные выводы, выбранные одновременно, будут соединены по схеме «монтажное ИЛИ». Таким образом, при использовании выводов порта 3 возможно измерение аналоговых сигналов в дифференциальном режиме (измерение разности напряжений между выбранными четными и нечетными выводами порта 3) как показано на рисунке 2.14.

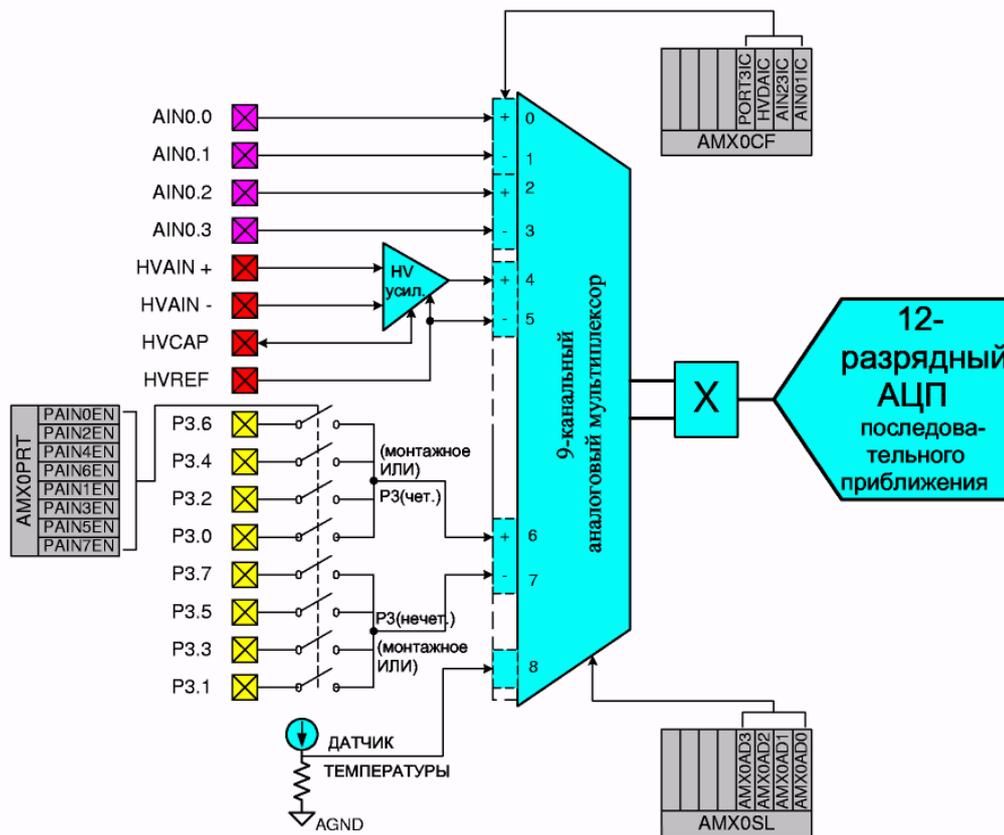


Рисунок 2.14 – Конфигурация аналоговых входов АЦПО  
АЦП) микроконтроллера С8051 А041.

Высоковольтный дифференциальный позволяет ослаблять синфазный сигнал с максимальным напряжением 60В и приводить его в соответствие с диапазоном входных напряжений АЦП (от 0 до VREF вольт) для последующего измерения. При необходимости с помощью AMUX можно выбрать выход HVDA в качестве входа.

#### 2.4.2 Организация канала передачи данных локальной сети CAN

Как было показано в первом разделе, CAN-протокол весьма привлекателен для использования его в производственных и автомобильных приложениях, тем более что он поддерживается многими фирмами - производителями ИС, выпускающими недорогие устройства, аппаратно реализующие требования CAN- протокола в широком температурном диапазоне.

CAN-протокол распространяется на следующие уровни (модель ISO/OSI) (рисунок 2.15).

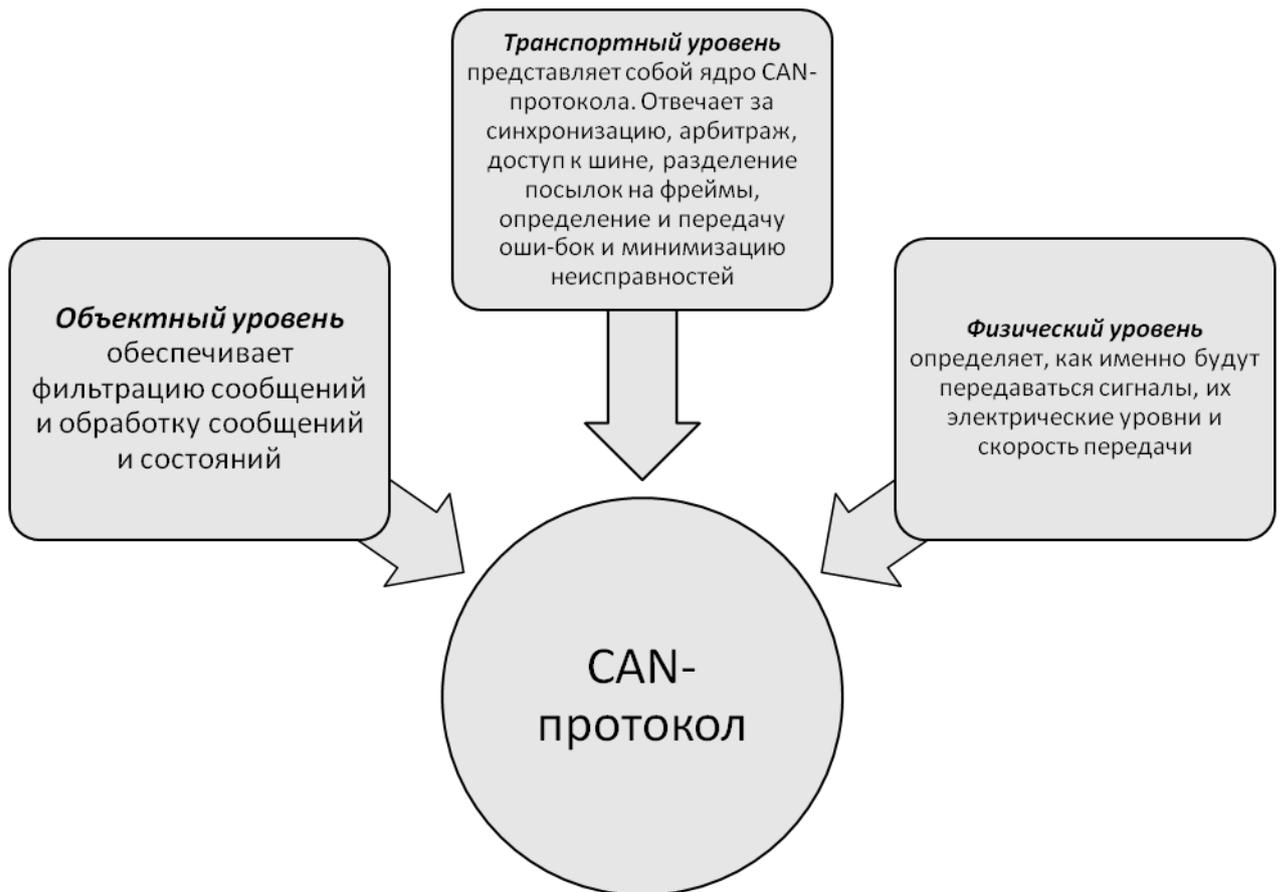


Рисунок 2.15 – Уровни CAN-протокола.

Как уже указывалось выше, микросхема C8051F043 имеет встроенный контроллер CAN, реализующий транспортный уровень локальной сети CAN. Физический уровень определяется внешним трансивером, обеспечивающим согласование с физической линией соединения (в данном случае – витая пара RS-485).

Проведенный обзор позволил выбрать для использования в разработанном модуле мониторинга высокоскоростные CAN-трансиверы TJA1041 компании Philips. Трансивер обеспечивает абсолютно пассивное поведение при отключении питания и поэтому невидим для шины CAN. Это позволяет подключать модуль мониторинга к локальной шине ароклиматического комплекса и отключать его, никак не влияя на обмен данными по CAN-шине других модулей и устройств.

Структура CAN трансивера TJA1041 показана на рисунке 2.16.

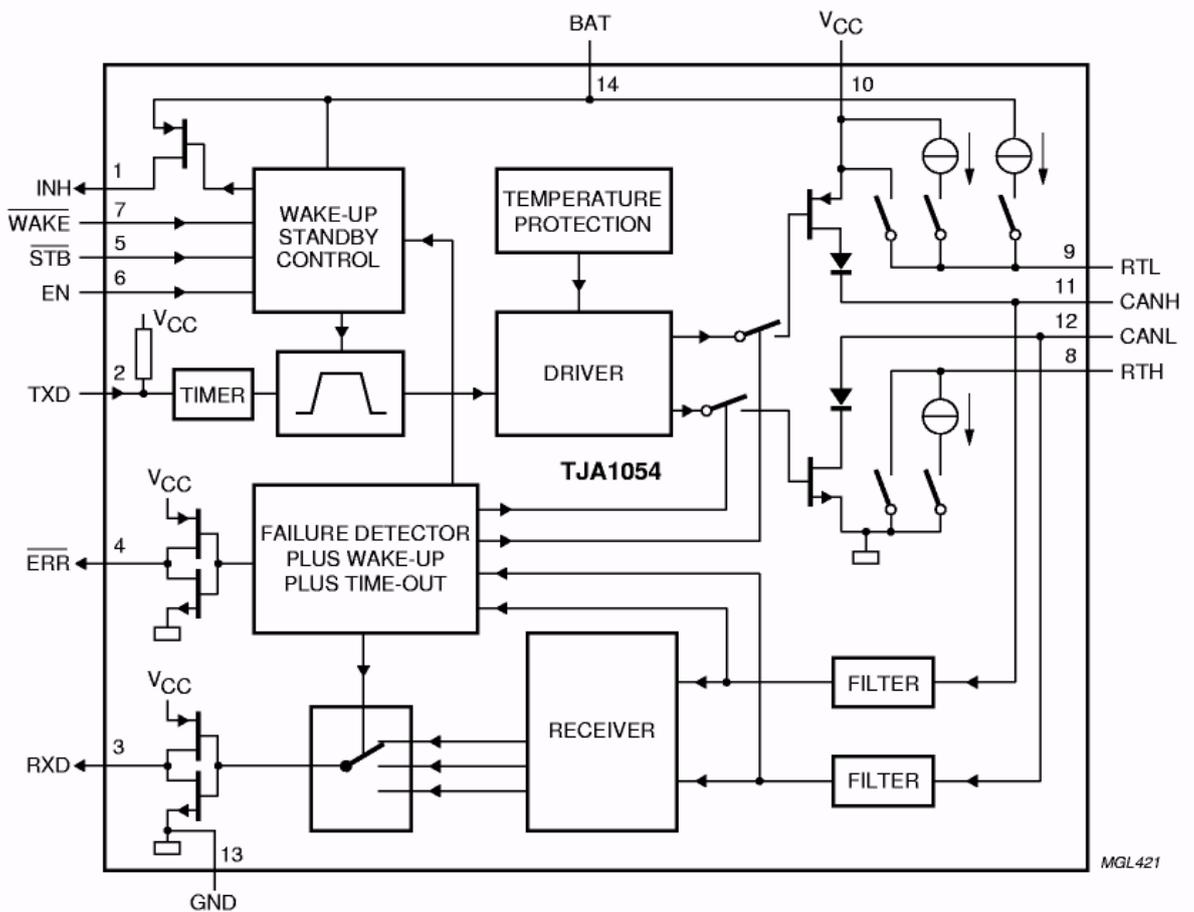
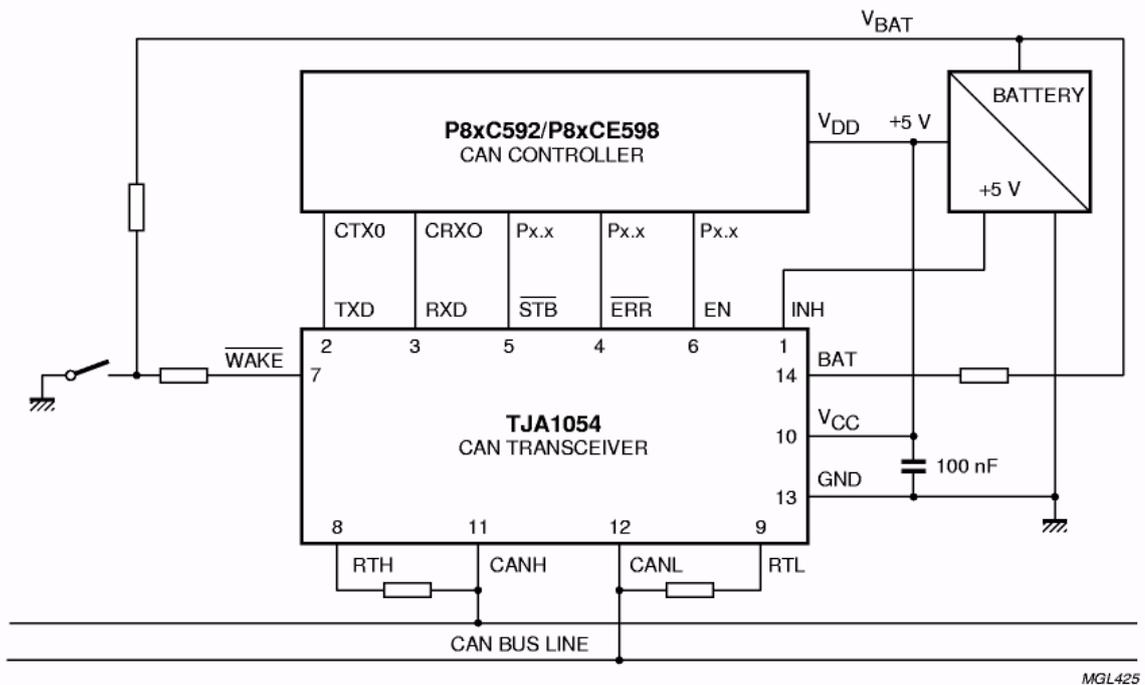


Рисунок 2.16 – Структурная схема трансивера TJA1041.

Трансивер TJA1041 имеет ряд особенностей по сравнению с предыдущими моделями CAN трансиверов:

- а) спящий режим с потреблением тока всего узла 20 мкА;
- б) удаленный запуск по шине и локальный запуск через специальный вывод, что позволяет определить источник запуска;
- в) уникальные возможности диагностики и сигнализации отказа шины;
- г) сигнализация коротких замыканий, включая «скрытые»;
- д) сигнализация о локальных сбоях.

Благодаря этим свойствам TJA1041 имеет очень гибкую систему управления потреблением тока и рекомендуется для применения в малопотребляющих приложениях. Схема подключения трансивера TJA1041 к микроконвертору C8051F043 показана на рисунке 2.17.



MGL425

Рисунок 2.17 - Схема подключения трансивера TJA1041 к микроконвертору C8051F043.

### 2.4.3 Организация интерфейса SPI

В разработанном модуле мониторинга ввод данных от цифровых датчиков осуществляется по последовательному интерфейсу SPI, реализованном на основе модуля SPI0 управляющего микроконтроллера C8051F043.

Модуль SPI0 обеспечивает доступ к гибкой полнодуплексной синхронной последовательной шине и может выполнять функции ведущего или ведомого устройства в 3-х проводном или 4-х проводном режимах. Во втором случае модуль SPI0 использует четыре сигнала MOSI, MISO, SCK и NSS (рисунок 2.18).

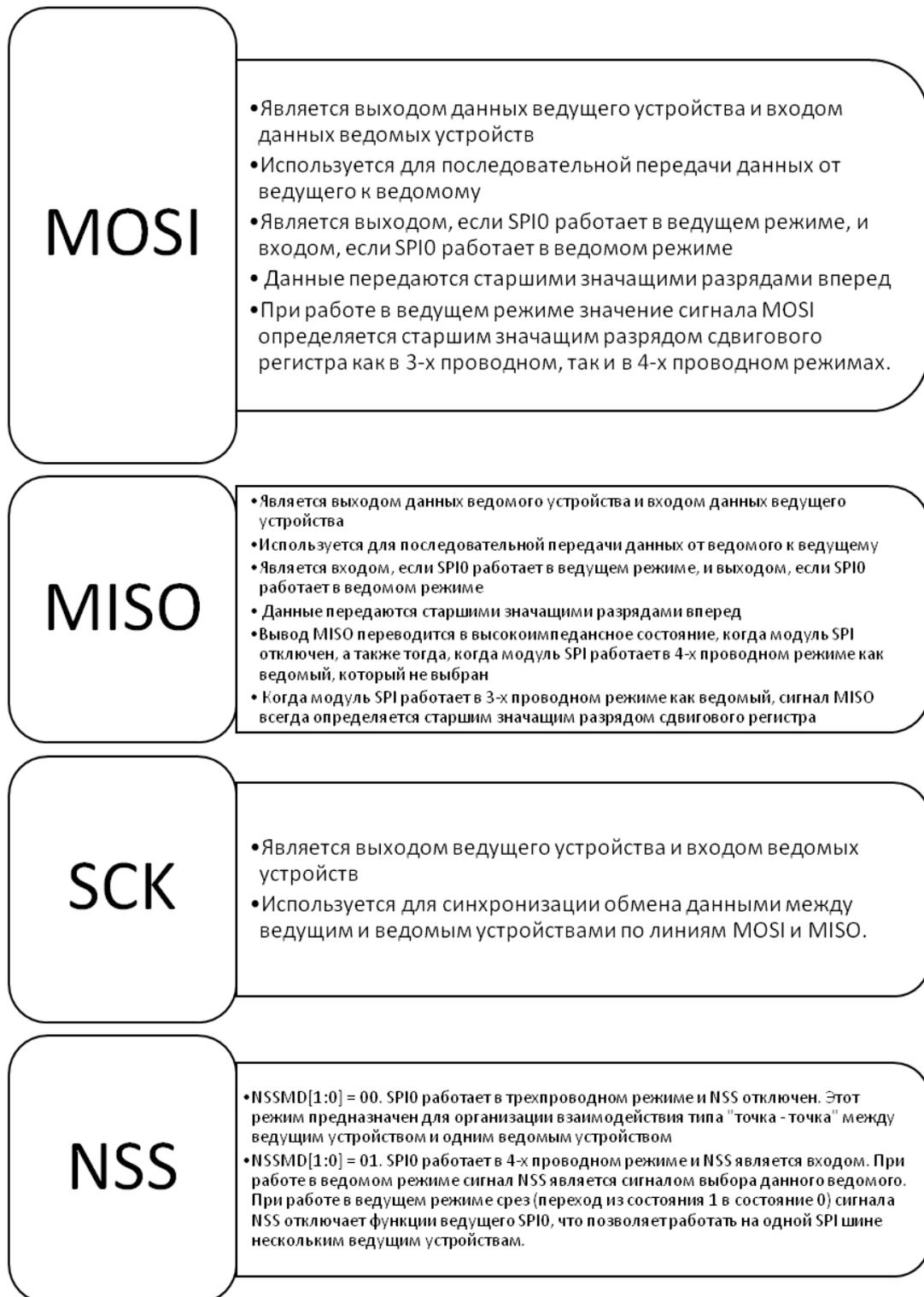


Рисунок 2.18 – Сигналы модуля SPI.

#### 2.4.4 Интерфейс управления ЖК индикатором

Конструкция разработанного модуля мониторинга предусматривает наличие на передней панели ЖК - индикатора, на котором отображается необходимая для пользователя информация (объем и формат определяется пользовательской программой).

Знакосинтезирующие буквенно-цифровые ЖКИ выпускаются сегодня многими фирмами. Индикаторы отличаются числом строк и выводимых символов в строке, типом жидких кристаллов, присутствием или отсутствием подсветки.

Конструкция индикаторов представляет собой печатную плату, на которой расположены выводы подключения и управляющие элементы. Сверху на ней зафиксировано жидкокристаллическое табло в металлической оправке.

В качестве индикатора в разработанном модуле применен широко распространенный ЖК-индикатор DV16230E фирмы Data Vision со встроенным контроллером знакогенератора и последовательным интерфейсом (рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 - Внешний вид знакосинтезирующего ЖКИ DV-16230E.

Индикатор DV16230E имеет следующие характеристики:

- а) структура индикатора – матричная, две строки по 16 символов;
- б) управление индикатором – шина I2C (SMBus);
- в) размер модуля - 110x46x10 мм;
- г) размер видимого поля - 72x27 мм;
- д) напряжение питания –  $5 \pm 10\%$  В;
- е) потребляемый ток – 10 мкА.

Кроме функции контроллера в модуль включена поддержка часов реального времени и таймера с выводом данных на индикатор.

Назначение выводов индикатора:

- 1 - SDA -вход данных;
- 2 - SCL -тактовый вход;
- 3 - Ucc –питание;

4 - GND –общий;

5 – А - положительный вывод питания подсветки;

6 – К – отрицательный вывод питания подсветки;

8..10 - не подключены.

Данные подаются на вывод 1 и защелкиваются по спаду тактирующих импульсов на тактовом входе 2. Контроллер знакогенератора ЖКИ может отображать 16 различных символов, каждый из которых кодируется 4-мя битами. Символы загружаются в индикатор в крайнюю правую позицию и при загрузке очередного символа остальные сдвигаются влево.

Так как микроконтроллер и ЖК-индикатор имеют одинаковые уровни питающего напряжения, согласования логических уровней микроконтроллера и ЖКИ не требуется.

С программной точки зрения работа с индикатором очень проста. В приложении А приведен набор подпрограмм для управляющего микроконтроллера.

### **3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию модуля мониторинга**

#### **3.1 Разработка печатного узла модуля мониторинга**

В настоящее время для сокращения времени, стоимости разработки и выпуска продукта широко используются технологии автоматизированного проектирования (computer-aided design - CAD), автоматизированного производства (computer-aided manufacturing - CAM) и автоматизированной разработки или конструирования (computer-aided engineering - CAE). Все эти системы входят в состав систем автоматизированного проектирования (САПР) для решения различных научных и производственных задач.

Значительное усложнение электронных устройств, в частности внедрение микросхем высокой степени интеграции и высокого быстродействия, потребовало применения сложных и многослойных ПП, которые практически невозможно разработать без применения средств автоматизации.

В области мелкосерийного производства благодаря своей невысокой стоимости и, тем не менее, высокой функциональности, устойчивое положение занимает отечественный продукт САПР ПП DipTrace российской фирмы Novarm. Она представляет собой полнофункциональную систему для разработки принципиальных схем и печатных плат. Обладает весьма удобным, интуитивным, Windows-подобным и, естественно, русифицированным интерфейсом. Включает в себя четыре программных модуля (рисунок 3.1).

Для создания перечня электрических соединений в программе Schematic была создана принципиальная электрическая схема модуля. Отсутствующие в прилагаемых библиотеках корпуса элементов были созданы в программе ComEdit - редакторе корпусов для печатной платы. В программе SchemEdit (редактор компонентов) были разработаны оригинальные символы схемотехники и осуществлена их связка с корпусами. Результаты работы в программе Schematic приведены на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Основные программные модули редактора DipTrace.

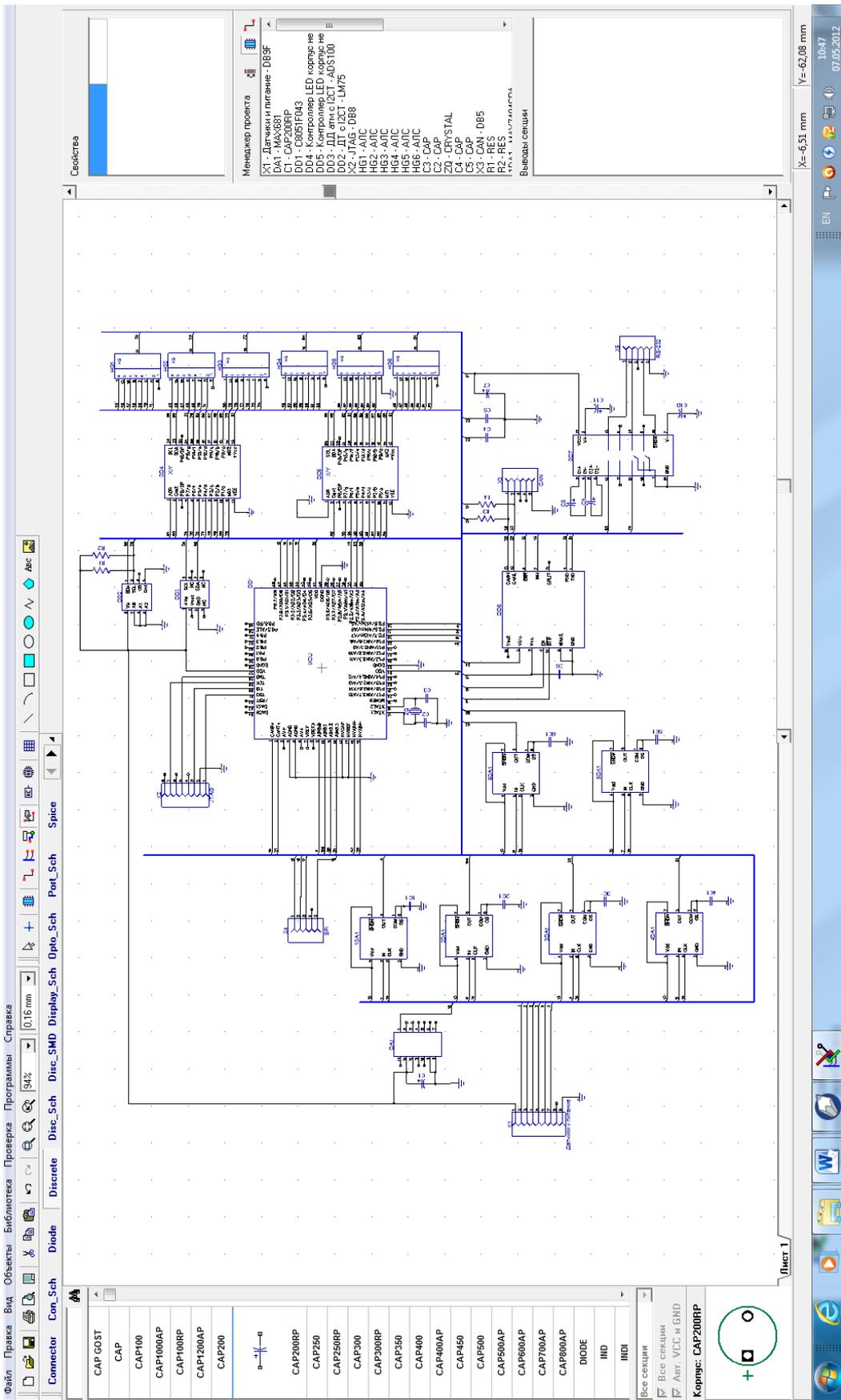


Рисунок 3.2 – Результат проектирования модуля в программе Schematic.

После создания принципиальной электрической схемы разрабатываемого модуля мониторинга в программе Schematic, был осуществлен перевод этой схемы в PCB Layout - программу проектирование печатных плат с интерактивной и автоматической трассировкой. Результаты трассировки печатной платы в программе PCB Layout приведены на рисунке 3.3.

## **3.2 Особенности программирования управляющего МК**

### **3.2.1 Интерфейс внутрисхемного программирования JTAG**

Интерфейс JTAG полностью соответствует спецификации IEEE 1149.1. Эта спецификация содержит подробную информацию об интерфейсе тестирования и архитектуре граничного сканирования. Работа с регистром команд (IR) и регистром данных (DR) интерфейса JTAG описана в разделе «Test Access Port and Operation» (порт тестового доступа и работа в режиме тестирования) спецификации IEEE 1149.1.

Для работы с интерфейсом JTAG используются четыре специальных вывода МК: TCK, TMS, TDI и TDO.

Используя 16-разрядный регистр команд интерфейса JTAG (IR), можно подавать любую из восьми команд, приведенных в таблице 3.1. Имеется три регистра данных (DR), связанных с работой интерфейса граничного сканирования, и четыре регистра данных, связанных с выполнением операций чтения/записи Flash-памяти МК.

Регистр данных интерфейса граничного сканирования является 138-разрядным регистром сдвига. Этот регистр позволяет управлять всеми выводами МК, SFR шиной и слаботочковыми подтягивающими резисторами и определять их состояние. Для этого используются команды EXTEST и SAMPLE.

Описание бит регистра данных интерфейса граничного сканирования приведены в описании микросхемы C8051F043, приведенной на сайте фирмы производителя Silicon Labs.



Таблица 3.1 - IR: Регистр команд интерфейса JTAG

Значение IR	Команда	Описание
0x0000	EXTEST	Выбирает регистр данных интерфейса граничного сканирования для управления всеми выводами МК и наблюдения за ними
0x0002	SAMPLE/ PRELOAD	Выбирает регистр данных интерфейса граничного сканирования для опроса его защелок и их предварительной установки
0x0004	IDCODE	Выбирает регистр идентификатора устройства
0xFFFF	BYPASS	Выбирает регистр-шунт (BYPASS регистр данных)
0x0082	Flash Control	Выбирает регистр FLASHCON для управления реакцией логики интерфейса на операции чтения/записи в регистр FLASHDAT
0x0083	Flash Data	Выбирает регистр FLASHDAT для выполнения операций чтения/записи Flash-памяти
0x0084	Flash Address	Выбирает регистр FLASHADR, который хранит адреса для всех операций чтения/записи/стирания Flash-памяти

Команда EXTEST подается с помощью регистра IR. Регистр данных интерфейса граничного сканирования DR позволяет как управлять всеми выводами МК и слаботочными подтягивающими резисторами, так и определять их состояние. Все входы к элементам встроенной логики установлены в 1.

Команда SAMPLE подается с помощью регистра IR. Регистр данных интерфейса граничного сканирования DR используется для опроса защелок пути сканирования и их предварительной установки.

Команда BYPASS подается с помощью регистра IR. Она обеспечивает доступ к стандартному 1-разрядному регистру-шунту (BYPASS регистру данных) интерфейса JTAG.

Команда IDCODE подается с помощью регистра IR. Она обеспечивает доступ к 32-регистру идентификатора устройства.

DEVTCEID: Регистр JTAG идентификатора устройства (рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 – Структура регистра DEVTCEID.

Значение при сбросе: 0xn0005243. Версия =0000b. Шифр компонента = 0000 0000 0000 0101b (C8051F040/1/2/3). Идентификатор производителя = 0010 0100 001b (Silicon Laboratories).

FLASHCON: Регистр управления режимами чтения/записи Flash-памяти интерфейса JTAG (рисунок 3.5).

SFLE	WRMD2	WRMD1	WRMD0	RDMD3	RDMD2	RDMD1	RDMD0
Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0

Рисунок 3.5 – Структура регистра FLASHCON.

Этот регистр определяет, каким образом контроллер Flash-памяти будет реагировать на операции чтения и записи в регистр FLASHDAT.

FLASHADR: Регистр адреса Flash-памяти интерфейса JTAG. Значение при сбросе: 0x0000.

Этот регистр содержит адрес для всех операций чтения/записи/стирания Flash-памяти интерфейса JTAG. Содержимое этого регистра автоматически инкрементируется после каждой операции чтения или записи независимо от того, была ли операция успешной или неудачной.

Биты 15-0: 16-разрядный адрес для операций с Flash-памятью.

FLASHDAT: Регистр данных Flash-памяти интерфейса JTAG (рисунок 3.6). Значение при сбросе: 0000000000.

DATA7	DATA6	DATA5	DATA4	DATA3	DATA2	DATA1	DATA0	FAIL	BUSY
Бит 9	Бит 8	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0

Рисунок 3.6 – Структура регистра FLASHDAT.

Этот регистр используется для чтения данных из Flash-памяти или записи данных во Flash-память посредством интерфейса JTAG.

Биты 9-2: DATA7-0: Байт данных Flash-памяти.

Бит 1: FAIL: Бит ошибки операций с Flash-памятью.

0: Предыдущая операция с Flash-памятью была успешной.

1: Предыдущая операция с Flash-памятью была неудачной. Обычно показывает, что соответствующая ячейка памяти была заблокирована.

Бит 0: BUSY: Бит занятости контроллера Flash-памяти. 0: Контроллер Flash-памяти свободен.

1: Контроллер Flash-памяти обрабатывает запрос. Пока FBUSY = 1, чтение или запись не будут инициировать другую операцию.

### **3.2.2 Средства поддержки и отладки**

Как уже было показано, микроконтроллер C8051F043 имеет встроенные интерфейс JTAG и средства отладки, которые обеспечивают «неразрушающую» внутрисхемную отладку в режиме реального времени с использованием МК, установленного в конечное изделие. Средства отладки фирмы Silicon Laboratories поддерживают проверку и модификацию памяти и регистров, расстановку точек останова, пошаговую отладку. При этом не требуется никаких специальных дополнительных ОЗУ, памяти программ или каналов связи. Во время отладки все цифровые и аналоговые периферийные модули не отключаются и работают корректно (остаются в режиме синхронизации).

Компания Silicon Labs обеспечивает комплексную поддержку аппаратными средствами поддержки разработок и инструментальным программным обеспечением для реализации конечного приложения, как на нижнем, так и на верхнем уровне.

Для каждой серии микросхем Silicon Labs предлагаются стартовые наборы, название которых состоит из наименования самого «мощного» микроконтроллера в линейке и суффикса DK. Для используемого в разработанной системе управления управляющего микроконтроллера C8051F043 предлагается стартовый набор C8051F040DK-E (рисунок 3.7).

Отличительные особенности стартового набора C8051F040DK-E:

а) установленный микроконтроллер C8051F040 (производительность 25MIPS, 64 кб Flash памяти, 4352 байт ОЗУ, 32 I/O, JTAG, SPI, два UART доступные одновременно, SMBus/I2C, CAN 2,0В, пять 16-битных таймеров, два 8 канальных 10 bit (100кSPS) и 8 bit (500кSPS) АЦП, два компаратора, встроенный датчик температуры и пр.);

б) интерфейс RS-232;

- в) CAN интерфейс;
- г) JTAG разъём;
- д) все выходы микроконтроллера доступны на штыревых IDC разъемах;
- е) область для макетирования.

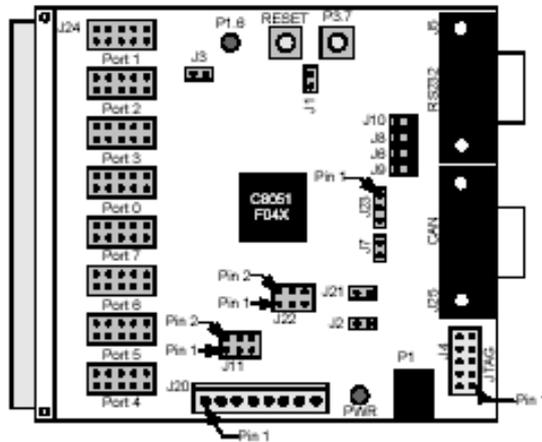


Рисунок 3.7 - Стартовый набор C8051F040DK-E.

В состав каждого набора входит демонстрационная целевая (target) плата с установленным МК, последовательный адаптер для программирования и отладки посредством интерфейсов JTAG или C2, источник питания, набор кабелей и компакт-диск с интегрированной средой разработки SiLabs IDE, примерами программ и технической документацией.

Схема подключения стартового набора C8051F040DK-E для программирования микроконтроллера C8051F043 приведена на рисунке 3.8.

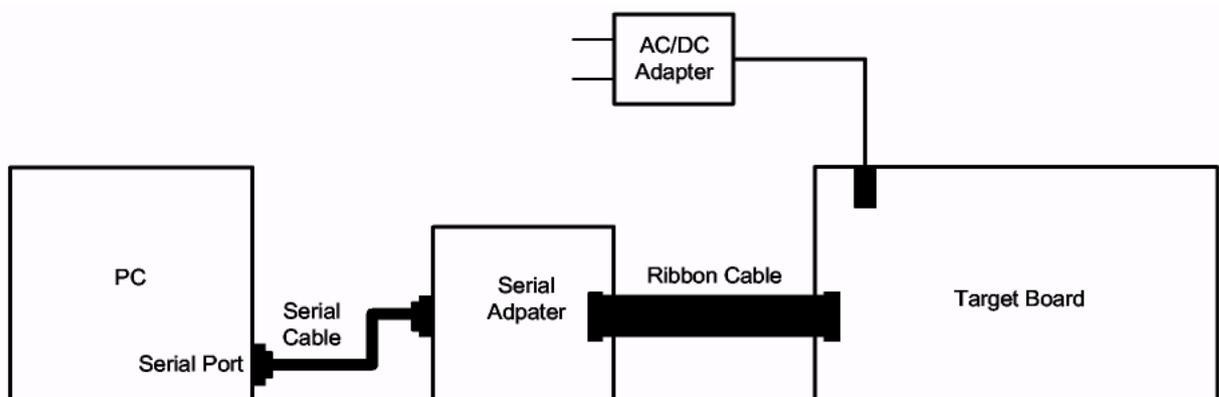


Рисунок 3.8 - Схема подключения стартового набора C8051F040DK-E для программирования микроконтроллера C8051F043.

### 3.3 Модуль универсального приемо-передатчика USART

USART он же UART он же SCI — универсальный протокол передачи данных, который может работать в асинхронном либо в синхронном режиме передачи. Именно асинхронный режим используется для связи с ПК. В этом случае шина данных выглядит как на рисунке 3.9.

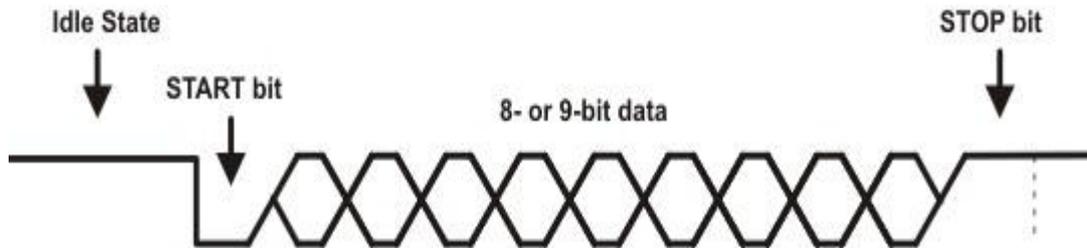


Рисунок 3.9 – Шина данных в асинхронном режиме передачи.

В состоянии ожидания на линии высокий логический уровень. Каждая передача инициализируется стартовым нулевым битом. Сначала передается младший бит.

Каждая передача заканчивается стоповым битом единицей.

Структурная схема передатчика представлена на рисунке 3.10.

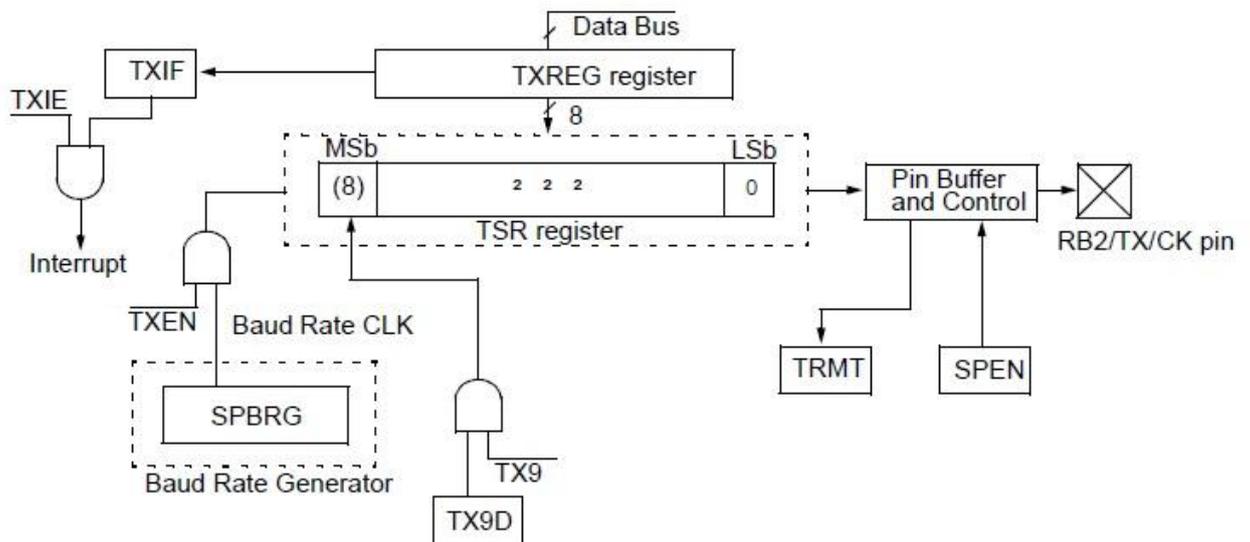


Рисунок 3.10 - Структурная схема передатчика модуля USART

Главный элемент передатчика — сдвиговый регистр TSR, который получает данные из буфера передатчика TXREG. Временная диаграмма передачи одного байта представлена на рисунке 3.11.

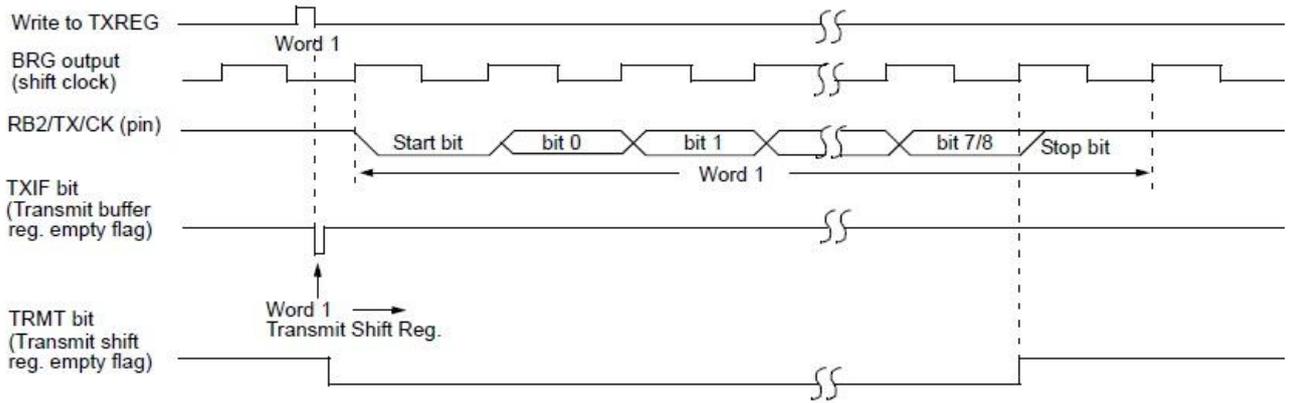


Рисунок 3.11 - Временная диаграмма передачи одного байта.

Регистр RCSTA — приемник. Его структура приведена на рисунке 3.12.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
<b>SPEN</b>	<b>RX9</b>	<b>SREN</b>	<b>CREN</b>	<b>ADDEN</b>	<b>FERR</b>	<b>OERR</b>	<b>RX9D</b>
Бит 7							Бит 0

Рисунок 3.12 – Структура регистра-приемника RCSTA.

Структурная диаграмма приемника приведена на рисунке 3.13.

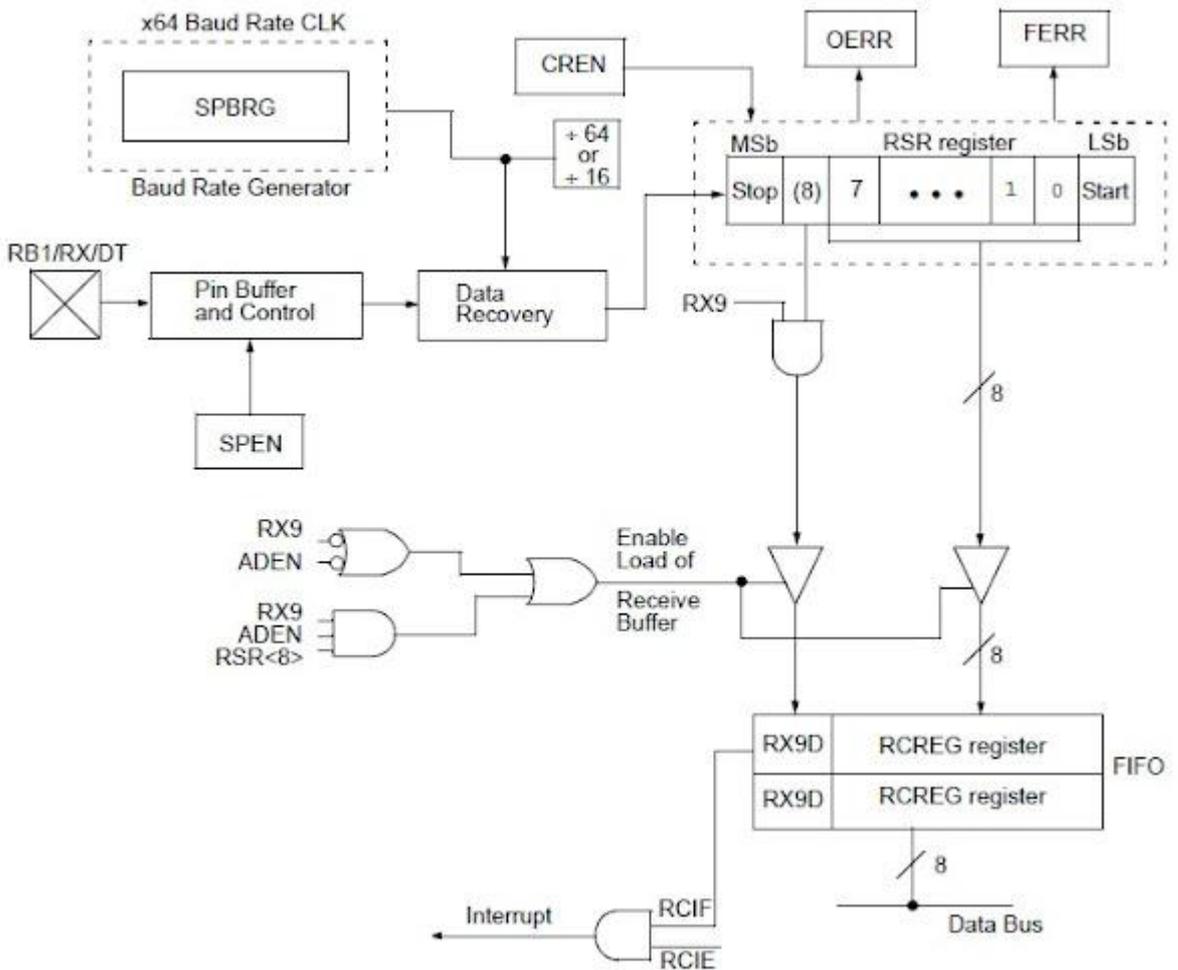


Рисунок 3.13 - Структурная диаграмма приемника модуля USART.

В приемнике главным также является сдвиговый регистр RSR, именно в него записываются данные со входа RB1, после получения стопового бита данные попадают в регистр RCREG, который имеет двойную буферизацию. То есть фактически, приемник принимает два байта буферы FIFO и еще один в сдвиговый регистр. После приема третьего байта устанавливается флаг переполнения OERR. После этого бит OERR необходимо сбросить выключением/включением

### **3.4 Статистическая обработка результатов преобразования**

Получение наиболее достоверного результата измерения и оценка его погрешности - основная цель обработки данных, полученных в ходе эксперимента. Выбор метода обработки зависит от числа экспериментальных данных (многократные, однократные измерения), вида измерений, вида распределения погрешностей измерений, требования к скорости получения результатов, трудоемкости обработки и т.д.

Для оценки результата однократного измерения используют результаты специально поставленного эксперимента или данные предварительных исследований условий измерений, погрешности использованных средств и методов измерений, субъективных погрешностей.

При определении результата многократных измерений обычно используются различные вероятностные методы оценки. Наибольшее распространение нашли статистические методы обработки при условии, что распределение полученного ряда экспериментальных данных не противоречит нормальному закону распределения.

Рассмотрим, прежде всего, статистические измерения, при которых многократные измерения проводятся для уменьшения влияния случайных погрешностей.

Результат наблюдения  $x_i$  отличается от истинного  $x_n$  значения измеряемой величины из-за случайной  $\Delta_{сл}$  и систематической  $\Delta_{ст}$  составляющих погрешности:

$$x_i = x_n + \Delta_{сл} + \Delta_{ст}. \quad (3.3)$$

Повторяя наблюдение, можно получить информацию о случайной погрешности. О систематической погрешности из этих наблюдений информацию извлечь нельзя. Для оценки систематической погрешности необходимо знать свойства используемых средств измерений, метод и условия измерений.

Считается, что для нормального закона распределения среднее арифметическое значение является самой эффективной оценкой измеряемой величины.

В общем случае алгоритм обработки результатов многократных измерений состоит в следующем:

а) исключают из результатов наблюдений известные систематические погрешности  $\Delta_{ст}$ . Если известно, что все результаты наблюдений отягощены одинаковой постоянной систематической погрешностью, ее исключают из результата измерений;

б) если есть подозрение о наличии аномальных наблюдений (грубых погрешностей, промахов), то находят предварительные значения среднего арифметического  $x_{cp}$ , исключив из него систематическую погрешность  $\Delta_{ст}$ , и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_1$ . Вычисляют отношение  $t$  для аномального наблюдения  $x_b$ :

$$t = \frac{|x_b - x_{cp}|}{\sigma_1} \quad (3.4)$$

и сравнивают его с табличным значением  $t_\Gamma$ , имеющим для данного числа  $n$  и уровня значимости  $q_3$  определенное значение. Если  $t > t_\Gamma$ , то  $x_b$  можно считать аномальными и исключить их из дальнейшей обработки (отбросить);

в) вычисляют среднее арифметическое значение исправленных результатов наблюдений:

$$x_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (3.5)$$

если все результаты наблюдений  $x_i$  отягощены одинаковой погрешностью  $\Delta$ , то сначала вычисляют среднее арифметическое неисправленных результатов измерений:

$$x_{\text{cp.н}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_{ni}}{n}, \quad (3.6)$$

где  $x_{ni}$  - неисправленный результат  $i$ -го измерения, а затем вычисляют исправленный результат измерений  $x_{\text{cp}} = x_{\text{cp.н}} - \Delta x$ ;

г) вычисляют оценку среднеквадратического отклонения результата наблюдений по формуле (3.7)

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{cp}})^2}{n-1}}; \quad (3.7)$$

д) рассчитывают оценку среднего квадратического отклонения среднего арифметического значения (результата измерений) по формуле (3.8):

$$\sigma_2 = \sigma_{x_{\text{cp}}} = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}; \quad (3.8)$$

е) определяют принадлежность результатов наблюдений нормальному распределению;

ж) определяют доверительные границы  $\varepsilon$  случайной погрешности результата измерений по формуле (3.9):

$$\varepsilon = t_{n,p} \sigma_2, \quad (3.9)$$

где  $t_{n,p}$  - коэффициент, определяемый по таблице распределения Стьюдента по заданной доверительной вероятности  $p$  (или  $\alpha$ ) и числу наблюдений  $n$ ;

з) определяют границы  $\theta$  не исключенной систематической погрешности. Если известно, что погрешность результата измерений определяется рядом составляющих не исключенных систематических погрешностей, каждая из которых имеет свои доверительные границы, то при неизвестных законах распределения их границы суммарной погрешности находят по формуле (3.10)

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (3.10)$$

где  $m$  – число не исключенных систематических составляющих погрешности результата измерения,

$k$  - коэффициент, принимаемый равным 1,1 при доверительной вероятности  $p=\alpha=0,95$  и зависящий от числа не исключенных составляющих систематических погрешностей;

и) определяют соотношение  $\theta \setminus \sigma_2$ . Если это соотношение меньше 0,8, то не исключенными погрешностями пренебрегают и в качестве границы погрешности результата измерений принимают  $\Delta = \varepsilon$ . Если  $\theta \setminus \sigma_2 > 8$ , то пренебрегают случайной погрешностью и считают, что  $\Delta = \theta$ . Если  $0,8 < \theta \setminus \sigma_2 < 8$ , при определении границ погрешности  $\Delta$  следует учитывать и случайную и систематическую составляющие;

к) определяют границу погрешности результата измерений по формуле (3.11):

$$\Delta = \pm K S_{\Sigma}, \quad (3.11)$$

где:

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{\sigma_2^2 + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}}, \text{ а } S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + \sigma_2^2};$$

л) представляют результат измерения и погрешности для случая симметричных доверительных границ в форме  $x_{cp} \pm \Delta, p$ .

Рассмотрим пример статистической обработки результатов измерений. При работе АЦП модуля мониторинга проводит 10 измерений в секунду. Требуется провести статистическую обработку результатов преобразования выходного сигнала датчика статического давления МРХ5100 с доверительной вероятностью  $p=\alpha=0,95$  при условии воздействия интенсивных помех в линии связи.

Данные наблюдений приведены в таблице 3.2. В эту же таблицу внесем необходимые данные, полученные в результате проведенных расчетов.

Вычислим среднее арифметическое и среднеквадратическое значения для 10 наблюдений:  $x_{cp10} = \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i}{10} = 75,67465 \text{ мВ}$  и

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - x_{cp10})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - 75,67465)^2}{10-1}} = 0,70925 \text{ мВ.}$$

Таблица 3.2 – Данные для статистической обработки результатов преобразования выходного сигнала датчика статического давления MPX5100 с доверительной вероятностью  $p = \alpha = 0,95$

Номер измерения	$x_i$	$\Delta_i = x_i - x_{cp10}$	$x_i$	$\Delta_i = x_i - x_{cp9}$
1	75,3323	-0,34233	76,3323	0,85643
2	75,4679	-0,20680	74,7679	-0,70804
3	75,5343	-0,14030	75,7343	0,25845
4	75,5965	-0,07812	75,5965	0,12064
5	75,5342	-0,14041	75,5342	0,05834
6	77,6735	1,99881	75,3544	-0,12153
7	75,4444	-0,23028	74,9544	-0,52154
8	75,2544	-0,42029	75,5544	0,07847
9	75,4544	-0,22028	75,4547	-0,02124
10	75,4547	-0,21999	76,3323	0,85643

$$x_{cp10} = 75,67465 \quad \sum_{i=1}^{10} \Delta_i = 0,00000 \quad x_{cp9} = 75,47589 \quad \sum_{i=1}^9 \Delta_i = 0,00000$$

Из таблицы 3.2 видно, что 6-е наблюдение существенно отличается от остальных результатов. Проверим гипотезу, что 6-й результат является аномальным (промахом).

Рассчитаем соотношение  $t_6$  для 6-го наблюдения ( $x_6 = 77,6735$  мВ):

$$t_6 = \frac{x_6 - x_{cp9}}{\sigma_1} = 2,81821.$$

Определим теоретическое значение  $t_\Gamma$  для  $n=9$  и уровня значимости  $q_3 = 1 - 0,95 = 0,05$ :  $t_\Gamma = 2,414$ .

Так как  $t_6 > t_\Gamma$  ( $2,8182 > 2,414$ ), наша гипотеза не противоречит данным эксперимента, т.е. 6-е наблюдение является промахом и из дальнейшей обработки исключается.

Вычислим среднее арифметическое 9 оставшихся наблюдений  $x_{cp9}$ , которое принимаем за неисправленный результат измерений:

$$x_{cp9} = x_{cp} = \sum_{i=1}^9 \frac{x_i}{9} = 75,45256 \text{ мВ.}$$

Вычислим среднее квадратическое отклонение результатов наблюдений

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (x_i - x_{cp9})^2}{n-1}} = 0,10496 \text{ мВ.}$$

Найдем среднее квадратическое отклонение результата измерения:

$$\sigma_2 = \sigma_{\bar{x}} = \frac{0,10496}{\sqrt{9}} = 0,03499 \text{ мВ.}$$

Определим принадлежность результатов наблюдений к нормальному закону распределения. Так как число наблюдений  $n$  меньше 15, то каких-либо проверок проводить не будем. У нас должна быть априорная информация о нормальности закона распределения случайных погрешностей преобразования. Это возможно, например, при длительных измерениях одной и той же физической величины с проведением многократных измерений и проверками нормальности закона распределения.

Вычислим доверительные границы  $\varepsilon$  случайной погрешности измерения. Так как распределение подчиняется нормальному закону, доверительные границы вычисляем по формуле  $\varepsilon = t_{n,p} \sigma_2$ , где  $t_{n,p}$  - коэффициент, определяемый по таблице распределения Стьюдента.

При заданной доверительной вероятности  $P=0,95$  и числе наблюдений  $n=9$  находим  $t_{n,p}=2,306$ . Следовательно,  $\varepsilon=0,08069$  мВ.

Определим доверительные границы не исключенной систематической составляющей погрешности измерения. Здесь не исключенная систематическая погрешность измерения будет обусловлена погрешностью преобразования АЦП, которая составляет  $100\% \cdot 2^{-16} = 0,0015\%$ .

Так погрешность задана в относительных единицах, вычислим предварительно ее абсолютное значение:

$$\theta_k = \frac{\delta_k}{100} x_{cp} = \pm \frac{0,0015}{100} 75,47 = \pm 0,001 \text{ мВ.}$$

Определим, можно ли пренебречь какой-либо составляющей погрешности измерения. Вычислим отношение  $\theta / \sigma_2$ . Так как  $\theta / \sigma_2 = 0,001 / 0,03499 = 0,012$ ,

то погрешностью средства измерения, в данном случае АЦП, можно пренебречь.

Результат измерения можно представить в следующей форме  $X = x_{\text{cp}} + \Delta$  или  $X = 75,4526 \pm 0,0807$  мВ с вероятностью  $p = 0,95$ .

Следует помнить, что требуемая погрешность измерений определяется не сложностью используемого алгоритма статистической обработки, погрешностью измерительных приборов и количеством обрабатываемых данных. Число последних, в свою очередь, определяется допустимым временем проведения измерений, в течение которого измеряемая величина может считаться неизменной.

Алгоритм статистической обработки для рассмотренного примера приведен на рисунке 3.14.

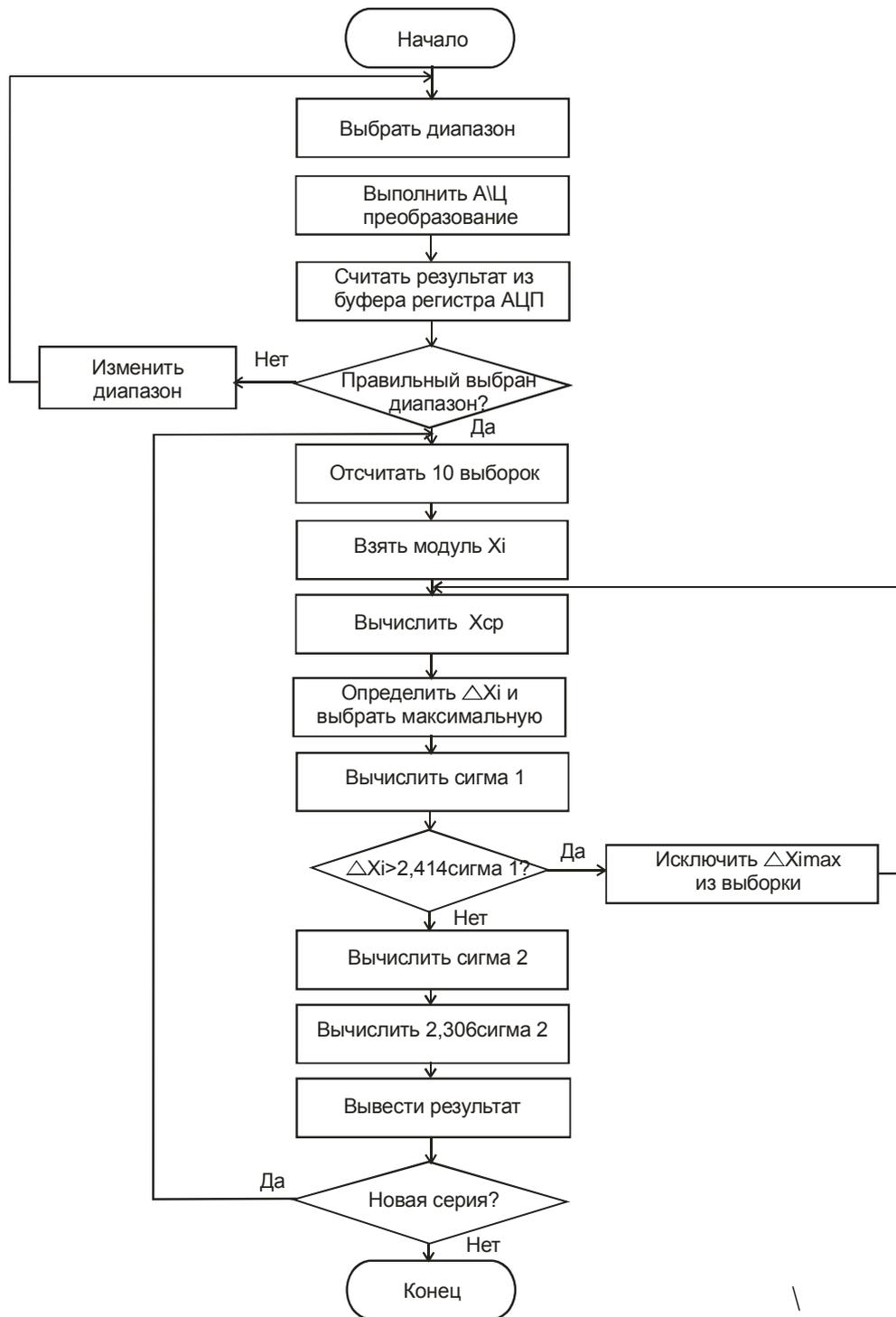


Рисунок 3.14 – Алгоритм статистической обработки результатов А\Ц преобразований.

## **Заключение**

При проведении аэроклиматических испытаний автомобилей широко используются автономные модули различного назначения. Применение таких модулей обеспечивает гибкость используемых технологий и значительно упрощает процесс подготовки и проведения испытаний.

Проведенный анализ структуры и технических характеристик систем сбора данных аэроклиматического комплекса позволил выработать основные эксплуатационно-технические требования к разрабатываемому модулю мониторинга. Было показано, что использование однокристалльной системы семейства C8051F04x с интегрированным контроллером полевой шины CAN open позволит существенно упростить аппаратную и программную составляющие разрабатываемого модуля.

Анализ принципов и технических параметров шины CAN позволил выбрать контроллер физического уровня, обеспечивающий требуемые параметры интерфейса передачи данных.

Анализ состава и функциональных возможностей выбранного МК C8051F043 показал, что набор его встроенных периферийных модулей является достаточным для проектирования автономного модуля мониторинга.

В процесс работы были разработаны функциональная и принципиальная схемы модуля, сдано обоснование используемой элементной базы, рассчитаны основные параметры интерфейсных модулей и даны рекомендации по их практической реализации.

Встроенный модуль АЦП на максимальной частоте исследуемого сигнала обеспечивает его квантование с трехкратным запасом, что позволяет либо увеличить диапазон частот исследуемых сигналов, либо увеличить до 3 число одновременно контролируемых параметров, либо проводить статистическую обработку результатов проведенных измерений.

Достаточно большой объем внутренней памяти программ и данных МК C8051F043 позволяет проводить различные математические операции над кон-

тролируемыми сигналами: цифровую фильтрацию, устранение промахов, построение различных графиков и диаграмм. В разработанном модуле используется статистическая обработка результатов многократных изменений. С учетом возможности внутрисистемного перепрограммирования с помощью собственного интерфейса JTAG, эта функция является весьма удобной для сокращения времени на анализ полученных данных.

В третьем разделе рассмотрены вопросы реализации и ввода в эксплуатацию разработанного модуля, разработана основная конструкторская документация и функциональная модель процесса создания печатного узла модуля. На базе стартового (отладочного) набора C8051F040DK-E составлена блок-схема и разработан в среде программирования SiLabs IDE основной программный модуль АЦ преобразования и отображения результатов на ЖКИ. Дан пример проведения статистической обработки результатов измерений физических параметров. Рассмотрены также программно- аппаратные средства поддержки МК семейства C8051F04x, разработан программный модуль.

## Список литературы

1. Controller Area Network//[www.ru.wikipedia.org/wiki/CANbus](http://www.ru.wikipedia.org/wiki/CANbus).
2. Dameon D. Welch-Abernathy. Essential Check Point Firewall-1 NG(TM): An Installation, Configuration, and Troubleshooting Guide. — Addison-Wesley Professional, 2004.
3. Etschberger, K.: Controller Area Network (CAN) Basics, Protocols, Chips and Applications. Third Edition Hanser Publishing, 2002.
4. L-CARD – оборудование для промышленной автоматизации измерений // [www.aveon.ru](http://www.aveon.ru).
5. Zeltwanger, H.: State-of-the-Art CAN Applications and Future Requirements Proc. 7th International CAN Conference, 2000.
6. Аэроклиматический комплекс // [www.mosavtotest.ru](http://www.mosavtotest.ru).
7. Введение в протокол CAN// [www.products.marathon.ru](http://www.products.marathon.ru)
8. Вовк П. Микроконтроллеры С8051F04х, С8051F12х и С8051F31х фирмы Cygnal // [www.housea.ru](http://www.housea.ru).
9. ГОСТ Р 50866-96. Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Методы оценки эффективности и безопасности // [www.bpl.ru/gost/Gr50866-96.htm](http://www.bpl.ru/gost/Gr50866-96.htm)
10. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат.– 1984. – С.229.
11. Компьютерный класс. Техника безопасности в компьютерном классе. Комплексное оснащение//[www.tocomplect.ru/oll-for-computer-class/computer-classroom-safety.html](http://www.tocomplect.ru/oll-for-computer-class/computer-classroom-safety.html).
12. Мониторинг климатических параметров // [www.virton.ru](http://www.virton.ru).
13. Первое семейство микроконтроллеров С8051F00х - С8051A01х // [www.electrokurs.ru](http://www.electrokurs.ru).
14. Программное обеспечение систем управления, диспетчеризации и АСУ ТП. ОРС-серверы//[www.insat.ru](http://www.insat.ru).

15. Руководства по применению и примеры программ для микроконтроллеров C8051Fxxx //www.mymcu.ru/articles.
16. Технология OPC. OPC-сервер и OPC-клиент //www.novosoft.by.
17. Универсальные платы ввода-вывода (АЦП/ЦАП) на шины PCI и ISA//www.lcard.ru.
18. Цифровая шина данных CAN//www.wiki.gclass.ru/index.php/CAN.
19. Цифровой осциллограф// www.radioland.net.ua/contentid-412.
20. Щетинин И. Стоимость владения и системы управления// Открытые системы. – 2005. -№9.- С.23-27.