

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

В. Н. Коровин

**Методические указания для выполнения практических работ
по дисциплине
"Проектирование БТС"**

Воронеж

1.1 Условия применения структурно-функционального подхода

Сущность структурно-функционального подхода к разработке медицинских приборов и систем заключается в декомпозиции (разбиении) на автоматизированные функции. Медицинский прибор (система) разбивается на функциональные подсистемы, которые в свою очередь делятся на подфункции, подразделяемые на задачи. При этом автоматизированная система (прибор) сохраняет свое целостное представление, в котором все составляющие компоненты взаимосвязаны.

Структурно-функциональный подход применяется в тех условиях, когда необходимо:

- Произвести исследование структуры (строение) системного объекта;
- Осуществить анализ элементов и их функциональных особенностей;
- Произвести исследование изменений этих элементов и их функций;
- Выполнить рассмотрение развития системного объекта в целом;
- Сформировать представление объекта как гармонично-функционируемой системы, все элементы которой поддерживают эту гармонию.

1.2 Роль структурно-функционального подхода при проектировании программного обеспечения. Примеры

Сущность структурного подхода к разработке программного обеспечения заключается в его декомпозиции (разбиении) на автоматизируемые функции: система разбивается на функциональные подсистемы, которые, в свою очередь, делятся на подфункции, подразделяемые на задачи, и т. д. (рисунок 1). Процесс разбиения продолжается вплоть до конкретных процедур. При этом автоматизируемая система сохраняет целостное представление, в котором все составляющие компоненты взаимосвязаны. Следует отметить, что при обратной разработке системы («снизу-вверх») от отдельных задач ко всей системе целостность теряется, возникают проблемы при информационной стыковке отдельных компонентов.



Рисунок 1— Разбиение программы на основе СПФ

Все наиболее распространенные методологии структурного подхода базируются на таких принципах, как:

- принцип «разделяй и властвуй» — принцип решения сложных проблем путем их разбиения на множество меньших независимых задач, легких для понимания и решения;
- принцип иерархического упорядочивания — принцип организации составных частей проблемы в иерархические древовидные структуры с добавлением новых деталей на каждом уровне.

В структурном анализе используются группы средств, иллюстрирующих функции, выполняемые системой, и отношения между данными. Каждой группе средств соответствуют определенные виды моделей (диаграмм), наиболее распространенными среди которых являются следующие:

- метод SADT (Structured Analysis and Design Technique) — метод структурного анализа и проектирования, модели и соответствующие диаграммы;
- метод DFD (Data Flow Diagrams) — диаграммы потоков данных;
- метод ERD (Entity-Relationship Diagrams) — диаграммы «сущность-связь» (модель данных).

Перечисленные модели в совокупности дают полное описание программного обеспечения независимо от того, является оно существующим или вновь разрабатываемым. Состав диаграмм

в каждом конкретном случае зависит от необходимой полноты описания программного обеспечения.

СПФ позволяет разделить разработку ПО на этапы по группам разработчиков, за счет чего достигается наибольшая проработка каждой функции.

Например, при разработке МИС можно сначала разделить МИС на крупные блоки: модуль ЭМК, модуль счетов, модуль администрирования. После этого каждый из модулей разделяется на более точные функции, выполняемые в нем.

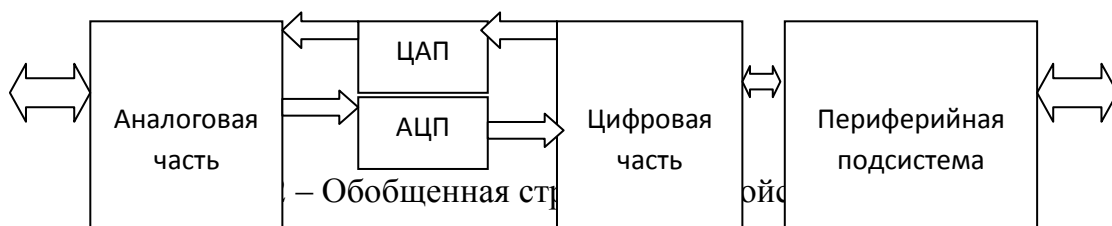
Такое разделение позволяет выделить группу разработчиков на определенный модуль, а также получить жесткую связку «элемент-програма-функция». Наличие такой связки приводит к тому, что в случае внесения изменений в ПО можно изменить определенную функцию, не затрагивая остальные.

1.3. Принципы проектирования при реализации AFE (тип аналогового интерфейса).

Достижения в области современной микроэлектроники привели к созданию широкой номенклатуры микросхем, являющихся интерфейсами между датчиками и цифровыми средствами обработки данных. В зарубежной литературе микросхемы такого типа обозначают Analog Front End (AFE).

Характерной чертой данных микросхем является то, что по своим ходам они напрямую подключаются к сенсорам (датчикам), например к электрокардиографическим электродам, а цифровые выходы ориентированы на прямое подключение ко входам цифровых средств, например по стандартному протоколу SPI.

Типовая обобщенная структура микросхем типа AFE представлена на рисунке 2.



Конкретные структуры и функции AFE определяются решаемой ими задачей: например, AFE, ориентированные на регистрацию ЭКГ в аналоговой части содержат коммутаторы, усилители с программируемым коэффициентом усиления, фильтры, драйверы обратной связи на биообъект и экран и т.д. Как правило, при проектировании аналоговой части используют те же схемы, что и в «классическом» аналоговом исполнении. После достаточно качественного АЦП дальнейшую предварительную обработку производит цифровая часть, в состав которой могут входить как классические микропроцессоры CPU, так и сигнальные процессоры (DSP), которые решают задачи подавления синфазной помехи, вычисления отведений, фильтрации и т.д. Периферийная подсистема обеспечивает реализацию стандартных протоколов. Через периферийную систему AFE подключается к другим вычислительным средствам или средствам передачи данных (например, Bluetooth), осуществляется настройка параметров AFE. Для воздействия на биообъект или формирования тестовых сигналов (например, при измерении надежности контактов электродов с биообъектом; при измерении импеданса и пр.) в схему включают ЦАП, иногда с аналоговыми фильтрами низких частот.

По ряду микросхем AFE достигается 95% экономия площади печатных плат и энергопотребления, значительно снижается стоимость изделий.

Для медицинских целей разработаны и выпускаются микросхемы AFE для электрокардиографических и энцефалографических исследований, для измерения импеданса биообъектов, измерения кислотности в полостях организма, для ультразвуковой и рентгеновской томографии и т.д.

2 Отличительные черты микропроцессоров, микроконтроллеров, сигнальных процессоров и прикладных процессоров

Микроконтроллер по сути является микросхемой, который состоит из:

- Центрального процессора. В него входят блок управления, регистры, ПЗУ (постоянное запоминающее устройство).
- Периферии, которая включает порты ввода-вывода, контроллеры прерываний, таймеры, генераторы различных импульсов, аналоговые преобразователи и подобные элементы.

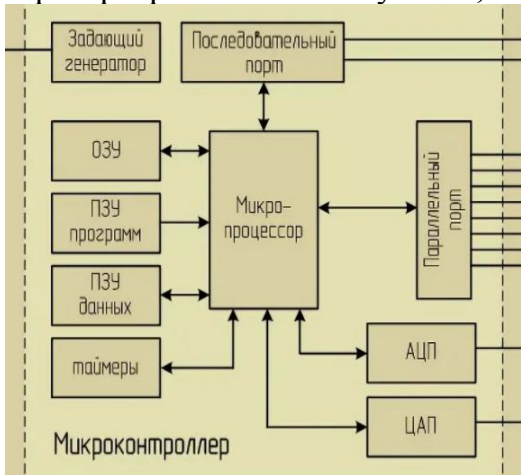


Рисунок 1 – Структура МК
Отличительные черты МК:

Рисунок 2 – Классификация и сведения о МК

- высокая надежность;
- высокая степень минитюризации;
- малое энергопотребление;
- работоспособность в жестких условиях эксплуатации;
- достаточная производительность для выполнения всех требуемых функций;
- отдельные области памяти для хранения команд (программы, алгоритмы), данных;
- интеграция в одном корпусе микросхемы множества блоков: процессора, ПЗУ, ОЗУ, устройств ввода/вывода, контроллера прерываний, АЦП, блютуз-модуля, Wi-Fi модуль.

Микропроцессор - функциональный блок микросхемотехники, выполненный, как правило, на одной и предназначенный для цифровой обработки информации и управления ходом этой обработки на основе кодов команд программы, считываемых из запоминающих устройств.

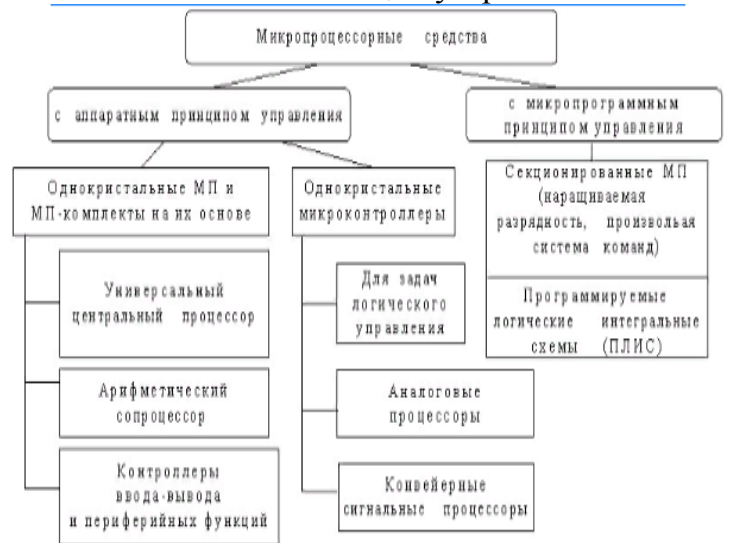


Рисунок 3 – Структура простейшего МП
Отличительные черты МП:

Рисунок 4 – Функциональная классификация микропроцессорных средств

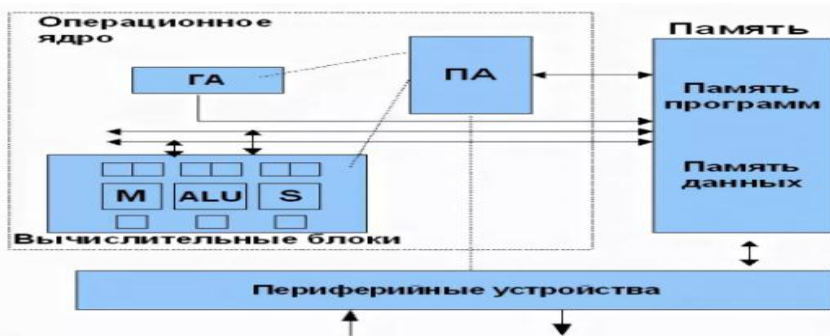
МП имеет множество внешних устройств, например, ПЗУ, ОЗУ, таймер, порты ввода/вывода и тд. Все эти устройства обмениваются командами и данными с МП через системную шину. Системная шина состоит из адресной шины, шины данных и шины управления.

МП содержит только то, что непосредственно понадобится для выполнения арифметических и логических операций (само арифметическо-логическое устройство, блок синхронизации и управления, запоминающее устройство, регистры и шины). Все остальные комплектующие (ПЗУ, ОЗУ, порты, устройства ввода/вывода, интерфейсы) нужно подключать извне.

Таблица – Отличия МП и МК.

Параметр	МП	МК
Использование	Компьютерные системы	В приборах
Устройство	Содержит центральный процессор, регистратор, шины, счетчики, таймеры	МП, встроенную ОЗУ, ПЗУ, порты
Память	Имеет много инструкций для перемещения данных между памятью и процессором	Имеет 1-2 инструкции
Электрические цепи	Высокая сложность	Достаточно простые
Затраты	Высокая стоимость	Низкая стоим. всей системы
Число регистров	Малое количество регистров, операции в осн. производятся в памяти	Большое число регистров, проще писать программы

Рисунок 5 – Классическая архитектура ЦСП



Цифровой сигнальный процессор – специальный МП, предназначенный для обработки оцифрованных систем (обычно в режиме реального времени). Архитектура сигнала процессора имеет особенности, связанные со стремлением максимально ускорить выполнение типовых задач цифровой обработки сигналов (цифровая фильтрация, преобразование Фурье, поиск сигналов и т.д.). Сигнальные процессы оптимизированы по быстрдействию, чаще всего для выполнения умножения с расчетом «на лету» адресов перемножаемых элементов массивов. Вычислительные блоки выполняют над входными операндами задаваемые программным кодом действия и формируют результат обработки.

Программный аппарат осуществляет чтение команд из памяти программ по очереди, начиная с некоторого начального адреса, расшифровывает код очередной команды и организует ее выполнение иницируя работу всех блоков ЦСП. На каждый входной отсчет процессор должен выдавать выходной. Прикладной процессор включает весьма разнообразные периферийные модели и обладает мощными мультимедийными средствами. Видеосигналы.

Программный аппарат осуществляет чтение команд из памяти программ по очереди, начиная с некоторого начального адреса, расшифровывает код очередной команды и организует ее выполнение иницируя работу всех блоков ЦСП. На каждый входной отсчет процессор должен выдавать выходной. Прикладной процессор включает весьма разнообразные периферийные модели и обладает мощными мультимедийными средствами. Видеосигналы.

3.1 Какие операции, отличные от микропроцессоров и микроконтроллеров, аппаратно поддерживают сигнальные процессоры.

Однокристалльные микроконтроллеры и универсальные микропроцессоры оказываются относительно медленными при выполнении операций, характерных для цифровой обработки сигналов (к основным из которых относятся свертка, корреляция, фильтрация, функциональные преобразования, модуляция). В сигнальных микропроцессорах такие операции поддерживаются на аппаратном уровне и выполняются, соответственно, достаточно быстро.

Математически эти задачи сводятся к поэлементному перемножению элементов многокомпонентных векторов действительных чисел,



последующему суммированию произведений. Поэтому сигнальные процессоры оптимизированы по быстродействию для выполнения именно таких операций. ЦСП ориентированы на многократное выполнение умножения с расчётом «на лету» адресов перемножаемых элементов массивов:

- 1) Операция «умножение с накоплением» ($Y = Y + A \times B$), где Y , A , B — элементы действительных массивов с автоматическим расчётом адресов элементов массивов и обычно реализована аппаратно и выполняется за один машинный цикл.
- 2) Аппаратная реализация многократного повторения заданного набора команд, то есть циклы с заранее назначенной длиной без использования счётчиков цикла и команд проверки обнуления счётчика цикла — признака выхода из цикла.

Работа в реальном масштабе времени требует от процессора также поддержки на аппаратном уровне таких действий, как обработка прерываний, программных циклов.

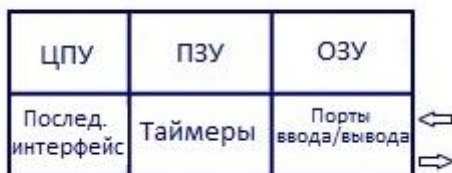
3.2 Как осуществляется обмен с "внешним аналоговым и цифровым миром" классическими микропроцессорами? Как осуществляется обмен с "внешним миром" современными микроконтроллерами?

Рассмотрим, как *микропроцессор* может принять данные или передать их внешним устройствам. Способ решения этой задачи в зависимости от конструкции ЭВМ может быть одним из двух указанных ниже:

- 1) устройства ввода-вывода включаются в общее адресное пространство;
- 2) устройства ввода-вывода имеют собственное адресное пространство.

В первом случае при обращении к определенным адресам памяти вместо обмена с ОЗУ происходит аппаратное подключение того или иного внешнего устройства. При этом для «общения» с внешними устройствами и с памятью используются одни и те же команды МП. Во втором случае внешние устройства образуют отдельное адресное пространство. Каждая ячейка этого дополнительного адресного пространства называется портом. Каждому внешнему устройству обычно соответствует несколько портов с последовательными адресами. Обмен процессора с организованными подобным образом устройствами осуществляется специальными командами ввода-вывода. На самом деле, с точки зрения схемной организации оба описанных способа имеют

Архитектура микроконтроллера



очень много общего. При любом обмене, будь то обращение к ОЗУ, ПЗУ или внешнему устройству, процессор выставляет адрес информации на единую адресную шину, а данные передает или принимает по общей шине данных. Выбор же требуемого адресата - ячейки памяти или порта - осуществляется подачей специального управляющего сигнала. При внимательном рассмотрении этой блок-схемы можно увидеть, что микропроцессор имеет много вспомогательных устройств, вроде постоянно запоминающего устройства (ПЗУ), оперативно запоминающего устройства (ОЗУ), интерфейсов последовательной передачи данных, таймеров, портов ввода/вывода и т.п.

Все эти устройства взаимодействуют с микропроцессором посредством системной шины. То есть, все вспомогательные устройства в микропроцессорной системе являются внешними. Системная шина состоит из шины адреса, шины данных и шины управления.

Микроконтроллер – в нем размещено много разных устройств, которые, естественно, должны общаться между собой – передавать или принимать данные (нули и единицы), передавать и принимать различные сигналы управления, записывать данные в память или считывать их из памяти. Общение устройств между собой, а также с «внешним миром» происходит с помощью шин. В МК имеется три шины:

1. Шина данных — шина, предназначенная для передачи информации.

Эта шина служит только для передачи различных данных между устройствами. Эта шина двунаправленная: по ней устройство может как передавать, так и принимать данные.

2. Шина адреса — шина, на которой в ходе выполнения программы выставляется адрес ячейки памяти, к которой в данный момент времени должен обратиться МК чтобы считать или следующую команду, или данные, или в которую необходимо записать данные.

3. Шина управления. Шина управления – шина, а точнее набор линий (проводников) по которым передаются управляющие сигналы с помощью которых определяется как будет происходить обмен информацией – или ее считывание из памяти, или запись в память, а также некоторые специальные сигналы – сигнал готовности, сигнал сброса.

4 Возможности использования платформы Arduino в медико-биологических исследованиях

Существует более 20 вариантов базовых модулей Arduino и не менее десятка плат расширения для них. Существует также огромное количество разработок как азиатских, так и отечественных компаний, обеспечивающих совместимость с Arduino. Базовые модули отличаются габаритами, моделями и количеством предустановленных микроконтроллеров, а также набором предустановленных дополнительных элементов. К последним относятся: стабилизаторы на ратные напряжения питания, светодиоды, тактовые кнопки, разъемы цифровых портов и коммуникационные разъемы (USB, COM-порты и другие). компоненты, обеспечивающие зарядку Li-Pol аккумуляторов и т.п.

Самый маленький базовый модуль - Arduino Mini (рисунок 8, а) имеет стабилизатор питания на 5 В, микроконтроллер Atmel ATmega168, 16 МГц кварцевый резонатор и 24-контактный разъем, контакты которого могут быть программно сконфигурированы для использования в качестве цифровых линий ввода-вывода, выходов ШИМ, последовательных интерфейсов UART, SPI, I2C. Несколько линий могут использоваться в качестве входов 10-битного АЦП. Базовый модуль Arduino Uno (рисунок 8, б) имеет 2 предустановленных микроконтроллера: прогрессивный ATmega328, поддерживающий частоты тактирования до 20 МГц и имеющий 32 Кбайт флеш-памяти команд и 2 Кбайт SRAM-памяти данных, а также ATmega8U2, аппаратно поддерживающий обмен данными через интерфейс USB.

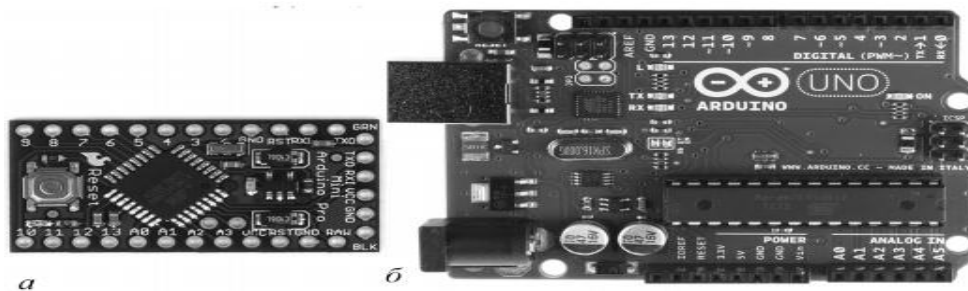


Рисунок 8 – Внешний вид платформ

Для разработчиков, которым важно наличие большого объема памяти, нескольких цифровых интерфейсов и большого количества цифровых линий ввода-вывода, удачным решением может оказаться Arduino Mega ADK с установленным микроконтроллером ATmega2560, поддерживающая режим USB-host. Arduino Mega ADK поддерживает до 54 цифровых линий ввода-вывода, до 14 каналов ШИМ, до 16 входов 10-битного АЦП. Имеется 4 последовательных порта UART, 5 интерфейсов SPI, 6 независимых таймеров. Микросхема имеет 256 Кбайт встроенной флеш-памяти, 8 Кбайт SRAM-памяти данных, 4 Кбайт EEPROM и работает на скорости до 16 MIPS. Самым мощным решением в настоящее время является плата Arduino Due (рис. 2), имеющая предустановленный 32-битный микроконтроллер с ARM-ядром (Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 в 144-выводном корпусе). Процессор работает на тактовой частоте 84 МГц (до 84 MIPS) и имеет 96 Кбайт ОЗУ, 512 Кбайт флеш-памяти, контроллер прямого доступа к памяти. Плата поддерживает до 54 цифровых линий ввода-вывода, до 12 каналов ШИМ, 16 каналов 12-битного АЦП, 2 канала 12-битного ЦАП, 4 UART, 3 интерфейса SPI, 2 интерфейса I2C, поддерживается USB. Разработчики Arduino используют в своих платах микропроцессоры фирмы Atmel, являющейся признанным мировым лидером в сегменте 8-битных микроконтроллеров. Платы расширения подключаются через электромеханические разъемы к базовым платам, обеспечивая возможности подключения к компьютерной сети по проводным каналам (плата расширения Ethernet Shield), беспроводным каналам (плата расширения WiFi), ор-

ганизацию передачи данных между устройствами по цифровому радиоканалу Zigbee (Maxstream Xbee Zigbee). Существуют платы расширения со специализированными токовыми драйверами, обеспечивающие подключение электромоторов постоянного тока, шаговых двигателей и сервомоторов (Motor Shield) и другие платы. Платформа Arduino активно развивается, и в настоящее время доступно большое число аналоговых и цифровых датчиков, предназначенных для оценки самых разнообразных аналоговых величин. К ним относятся датчики магнитного поля, температуры, влажности, освещенности, ультразвуковые датчики для измерения расстояния и многие другие. На рисунке 9 приведены некоторые из датчиков, подключаемых к Arduino. Существуют как аналоговые, так и цифровые датчики для платформы. Аналоговые датчики подключаются к входам АЦП, цифровые могут быть подключены к цифровым линиям ввода-вывода. Разрешение АЦП для модулей с 8-битными контроллерами Atmel составляет 10 бит, для ARM-микроконтроллера на Arduino Due -12 бит.



Рисунок 9 – Датчики платформы

Характеристики платформы представлены в таблице ниже.

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	32 Кб (ATmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

На рисунке 10 представлена схема платформы с подписями основных ее элементов.

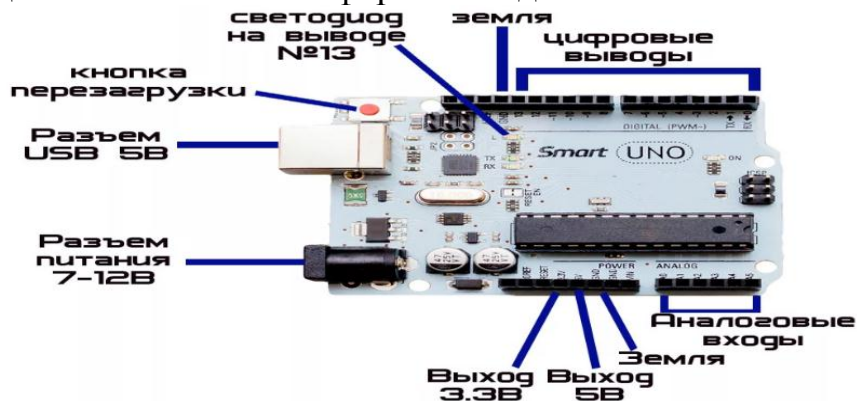


Рисунок 10 – Arduino UNO

Вот некоторые популярные области использования этого устройства: Система «умный дом». Всевозможные датчики. Робототехника. Автоматические вентиляторы. Светофоры. Охранные системы. Мини метеостанции. Мультидетекторы. Квадрокоптеры.

С помощью микроконтроллерной платформы Arduino можно создать немало полезных устройств, применимых в околomedической и фитнес тематике. Для этих целей разные производители выпускают датчики, которые позволяют оценить физиологические и биологические параметры тела человека.

- Считыватель отпечатков пальцев
- Датчик пульса человека
- Grove-модуль кожно-гальванической реакции
- Датчик сокращения мышц Myoware
- Датчик сердечного ритма, считываемого с пальца
- Шилд e-Health
- Датчик спирта MQ-3
- Цифровой датчик прикосновения TTP223B

5 Явление передискретизации

Передискретизация (англ. resampling) в обработке сигналов — изменение частоты дискретизации дискретного (чаще всего цифрового) сигнала. Алгоритмы передискретизации широко применяются при обработке звуковых сигналов, радиосигналов и изображений (передискретизация растрового изображения — это изменение его разрешения в пикселах). Отсчёты сигнала, соответствующие новой частоте дискретизации, вычисляются по уже имеющимся отсчётам и не содержат новой информации. Согласно теореме Котельникова любой непрерывный сигнал с финитным спектром (то есть таким спектром, в котором спектральные составляющие, соответствующие частотам выше или равным некоторой частоты f_0 , отсутствуют) может быть представлен в виде отсчётов дискретного сигнала с частотой дискретизации f_d . При этом такое преобразование является взаимно однозначным, то есть при соблюдении условий теоремы Котельникова по дискретному сигналу можно восстановить исходный сигнал с финитным спектром без искажений. При передискретизации отсчёты сигнала, соответствующие одной частоте дискретизации, вычисляются по имеющимся отсчётам этого же сигнала, соответствующим другой частоте дискретизации (при этом предполагается, что обе частоты дискретизации соответствуют условиям теоремы Котельникова). Идеальная передискретизация эквивалентна восстановлению непрерывного сигнала по его отсчётам с последующей дискретизацией его на новой частоте. Существуют важные частные случаи передискретизации, для которых вычисление новых отсчётов производится проще:

- децимация с целым коэффициентом (уменьшение частоты в целое число раз);
- интерполяция с целым коэффициентом (увеличение частоты дискретизации в целое число раз);
- изменение частоты дискретизации в рациональное (M/N) число раз (этот случай можно рассматривать как комбинацию двух предыдущих).

На рисунке 6 показана децимация для дискретного сигнала, где частота дискретизации входного сигнала $X(m)$ уменьшена в 4 раза. Сигнал $S(n)$ пересчитывается на более низкую частоту квантования (частоту децимации). Децимация может также рассматриваться как метод избавления от избыточной информации, привнесённой передискретизацией. В сигма-дельта АЦП широко используется совмещение функций цифрового фильтра и дециматора — в результате вычислительная эффективность повышается.

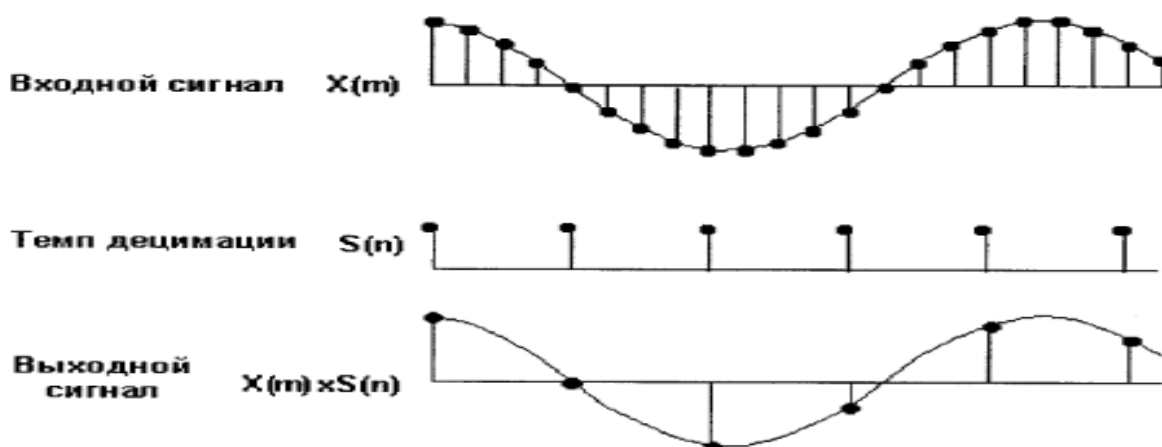


Рисунок 11 – Децимация дискретного во времени сигнала

Передискретизация используется для упрощения конструкций АЦП и ЦАП. По условиям задачи на входе АЦП и выходе ЦАП должен быть установлен аналоговый фильтр с АЧХ, линейной в рабочем диапазоне и круто спадающей за его пределами. Реализация такого аналогового фильтра весьма сложна; в то же время при повышении частоты

ты дискретизации вносимые ею отражения спектра пропорционально отодвигаются от основного сигнала, и аналоговый фильтр может иметь гораздо меньшую крутизну среза. Другое преимущество передискретизации состоит в том, что ошибки амплитудного квантования (шум дробления), распределенные по всему спектру квантуемого сигнала, при повышении частоты дискретизации распределяются по более широкой полосе частот, так что на долю основного звукового сигнала приходится меньшее количество шума. Каждое удвоение частоты снижает уровень шума квантования на 3 дБ; поскольку один двоичный разряд эквивалентен 6 дБ шума, каждое учетверение частоты позволяет уменьшить разрядность преобразователя на единицу. Передискретизация вместе с увеличением разрядности отсчета, интерполяцией отсчетов с повышенной точностью и выводом их на ЦАП надлежащей разрядности позволяет несколько улучшить качество восстановления звукового сигнала. По этой причине даже в 16-разрядных системах нередко применяются 18- и 20-разрядные ЦАП с передискретизацией. АЦП и ЦАП с передискретизацией за счет значительного уменьшения времени преобразования могут обходиться без схемы выборки-хранения. Чаще всего при передискретизации используются следующие классы цифровых фильтров:

- ▶ 1. Фильтры, построенные, исходя из критерия близости частотной характеристики к частотной характеристике идеального фильтра нижних частот:

- ▶ Оконные sinc-фильтры (англ. windowed-sinc filters) — их импульсная характеристика $h(t)$ получается путём умножения импульсной характеристики идеального ФНЧ на оконную функцию,

- ▶ Равноволновые фильтры Чебышёва.

- ▶ 2. Классические способы интерполяции функций (часто применяются для изображений):

- ▶ Линейные интерполяторы,

- ▶ Интерполяторы Лагранжа (частный случай — кубическая интерполяция).

- ▶ 3. CIC-фильтры (каскады гребёчатых фильтров и интеграторов). Этот класс фильтров не использует умножений при вычислении, что позволяет сэкономить вычислительные ресурсы. Приведём пример. Допустим, есть запись голоса человека с частотой дискретизации 11025 моментальных значений в секунду (11025 Гц) и вы хотите её использовать с музыкой у которой частота дискретизации 44100 моментальных значений в секунду (44100 Гц). Прежде, чем вы сможете соединить записи, необходимо их преобразовать так, чтобы они имели одинаковую частоту дискретизации.

6 Особенности программного обеспечения платформы Arduino UNO

Программный комплекс состоит из среды разработки Arduino и программного модуля, расположенного в разделе загрузчика (bootloader) флеш-памяти микроконтроллера. Наличие загрузчика позволяет не использовать внешний ISP-программатор, а загружать микрокод непосредственно через USB, используя специализированную утилиту. Среда разработки Arduino написана на языке JAVA и является кросс платформе иной. Она включает редактор программного кода, отладчик, утилиту-программатор, систему помощи, библиотеки подпрограмм и др. элементы. Среда имеет дружественный интуитивно понятный интерфейс в стиле Windows.

Доступны версии для Linux, Mac OS X и Windows. Для загрузки программ и связи с микроконтроллером среда разработки подключается к аппаратной части Arduino по USB-интерфейсу в режиме виртуального COM-порта. Среда разработки основана на языке программирования Processing, специально спроектированном для быстрого освоения людьми, не являющимися профессиональными программистами и не имеющими специального опыта работы с микроконтроллерами. Именно поэтому программирование на Arduino очень просто осваивается даже школьниками. Язык программирования аналогичен используемому в проекте Wiring. Это язык стилистически очень близкий к C++ и дополненный большим набором библиотек, позволяющих легко настраивать и использовать аппаратные модули микроконтроллеров, не тратя время на детальное изучение особенностей внутренней программно-аппаратной реализации этих модулей. Все программное обеспечение является свободно распространяемым, бесплатным и имеет открытый исходный код. Проект является плодом коллективных усилий большого числа людей во всем мире. Все исходные коды, библиотеки и примеры программ доступны для скачивания, использования и модификации.

Программа, написанная в среде Arduino, называется «скетч». После написания скетча его нужно загрузить в контроллер (кнопка «загрузить» в среде), после чего программа немедленно начинает выполняться – рисунок 12.

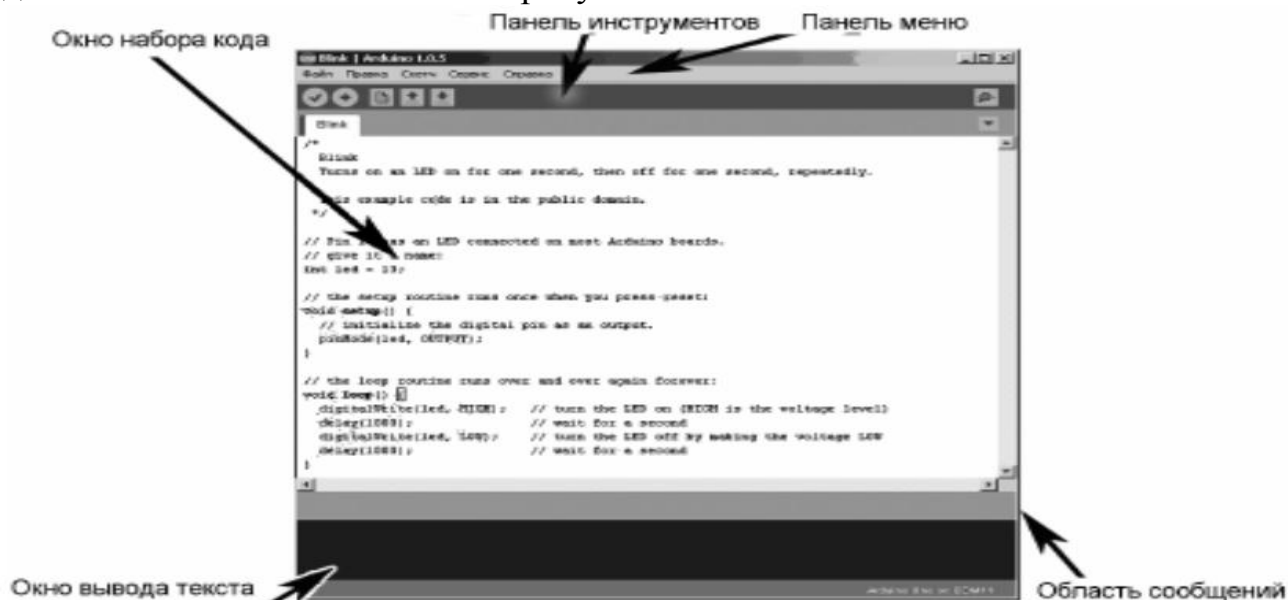


Рисунок 12 – Окно программной среды Arduino с программой, обеспечивающей мигание светодиодам

Платформа программируется посредством ПО Arduino. Из меню Tools > Board выбирается «Arduino Uno» (согласно установленному микроконтроллеру).

Микроконтроллер ATmega328 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500.

Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выводы ICSP (внутрисхемное программирование). Подробная информация находится в данной инструкции.

В левом верхнем углу расположен USB-разъём. Он выполняет две функции. Первая – организация канала обмена данными между микроконтроллером и ПК и вторая – запись прошивки в ATmega328.

На аппаратном уровне за связь с компьютером отвечает модуль последовательного интерфейса передачи данных (UART), который встроен в ATmega328 и выведен на контактах 0(RX) и 1(TX) платы Arduino Uno. Однако просто передавать данные на компьютер не получится. Посредником между ATmega328 и компьютером выступает отдельно установленный микроконтроллер ATmega16. Его специальная прошивка позволяет определять плату Arduino Uno как виртуальный COM-порт, когда та подключается к ПК. Обмен данными будет сопровождаться миганием соответствующих светодиодов RX и TX, расположенных справа от ATmega16.

Что касается записи прошивки, то этот процесс максимально упрощён и сводится к нажатию всего одной кнопки в среде Arduino IDE. Такая простота обусловлена тем, что Arduino Uno выпускается со встроенным прошитым загрузчиком, работающем по протоколу STK500. Следовательно, во внешнем программаторе нет никакой необходимости. Тем не менее, для любителей прошить контроллер напрямую, на плате предусмотрена колодка ICSP (справа посередине) для внутрисхемного программирования в обход загрузчика. Сам DFU-загрузчик находится в ATmega16 и также может быть переписан путём внутрисхемного программирования через аналогичную колодку в верхней левой части платы.

7 Особенности работы и функциональные возможности семейства OMAP, рекомендованных к использованию в медицинском и экологическом приборостроении

Платформа прикладных процессоров OMAP (Open Multimedia Applications Platform) создавалась компанией Texas Instruments, чтобы удовлетворить довольно противоречивые требования рынка мобильных устройств: необходимость в высокой вычислительной мощности – с одной стороны, и минимальное энергопотребление (и, как следствие, максимально возможное время работы устройства без перезарядки аккумуляторной батареи) – с другой.

В линейке прикладных процессоров TI можно выделить два основных направления:

- 1 Прикладные процессоры для работы в приложениях беспроводной телефонии.
- 2 Прикладные процессоры для портативных приложений, не связанных с телефонией.

К первому направлению относятся семейства OMAP1, OMAP2, OMAP3 (точнее, OMAP34х и OMAP36х) и OMAP4. Ориентированность на приложения беспроводной связи определяется наличием средств поддержки сотовой связи, а также (не всегда) технологии Bluetooth®, GPS-приемников, беспроводных сетевых соединений WLAN. Безусловно, большинство изделий этого направления включает весьма разнообразные периферийные модули и обладает мощными мультимедиа средствами. Но критерием отнесения к этому направлению является поддержка сотовой связи.

Ко второму направлению относятся семейства OMAP35х и OMAP-L1х.

Несколько слов о семействе OMAP35х. Вычислительной основой является ARM-ядро процессора Cortex-A8 и ядро сигнального процессора с фиксированной точкой TMS320C64х+. Последний используется в качестве видео- и графического акселератора. Процессоры OMAP35х содержат подсистему управления ЖК-дисплеем, контроллер интерфейса цифровой камеры, а также мощную периферийную подсистему. В нее входят многоканальные буферизованные последовательные порты (McBSP), четырехканальный контроллер интерфейса SPI, три контроллера интерфейса I2C, три универсальных асинхронных передатчика (UART), один из которых предназначен для работы с инфракрасным каналом (IrDA). Подключения к внешним интерфейсам представлены двумя хост-контроллерами USB, контроллером USB 2.0 HS OTG, контроллером однопроводного интерфейса 1-Wire. Помимо этого в состав периферии входят три контроллера карт памяти MMC/SD, двенадцать универсальных таймеров и два сторожевых. Производитель определяет такие области применения семейства OMAP35х: портативные устройства (медиаплееры, цифровые фото- и видеокамеры, PDA, игровые приставки), медицинская электроника, торговые и кассовые терминалы.

Компания Texas Instruments уделяет большое внимание применению своей продукции в медицинской технике. Высокопроизводительные процессоры востребованы в следующих направлениях:

- Портативная медицинская аппаратура, в том числе потребительского назначения.
- Диагностическая аппаратура, средства мониторинга состояния пациента и терапевтическое оборудование.
- Аппаратура для обработки и визуализации медицинских изображений (рентгеновских, ультразвуковых, томография).
- Коммуникационные задачи для медицины.

Рассмотрим два примера медицинских применений прикладных процессоров.

На рисунке 13 приведена блок-схема портативного измерителя артериального давления. В данных устройствах используются сдавливающая манжета, насос и преобразователь, измеряющий артериальное давление и частоту сердечных сокращений в трех фазах: накачивание, измерение и выкачивание. Процессор управляет накачиванием и выкачиванием манжеты. Сигнал с датчика усиливается инструментальным усилителем и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем. Процессор осуществляет обработку полученных данных. Результаты измерения сохраняются во Flash-памяти как файл данных, который может быть выгружен в компьютер через USB-порт. Потребитель управляет процессом измерения с клавишной панели и просматривает результаты на жидкокристаллическом дисплее.

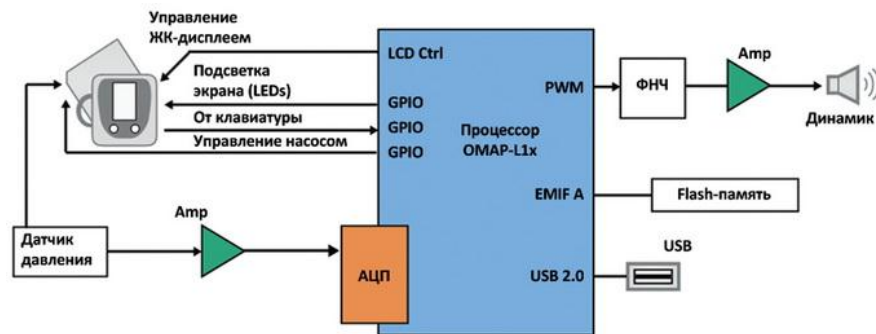


Рисунок 13 – Блок-схема портативного измерителя артериального давления

В качестве примера диагностического оборудования на рисунке 14 приведена блок-схема цифрового стетоскопа.

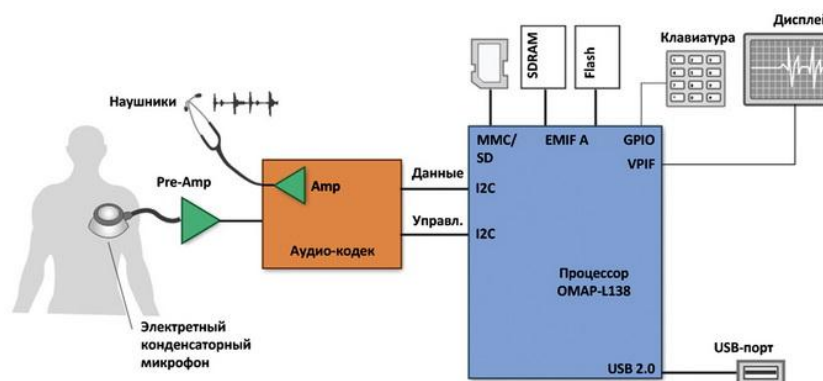


Рисунок 14 – Блок-схема цифрового стетоскопа

Элементы цифрового стетоскопа: датчик - электретный конденсаторный микрофон, который фиксирует звуки сердца и легких, преобразователь сигналов с датчика в цифровую форму, процессор, пользовательский интерфейс (клавиатура и жидкокристаллический дисплей), средства коммуникации (USB-порт и карта памяти), источник питания.

Задачи, выполняемые прикладным процессором: функции шумопонижения и фильтрации входного сигнала, трансляция обработанного сигнала на аудиовыход, алгоритмы детектирования частоты сердечных сокращений, анализ данных, визуализация данных на дисплее, управление коммуникациями.

8 Обобщенная схема AFE, ее достоинства и возможные недостатки

Типовая схема предполагает использование на входе инструментального операционного усилителя (ОУ), ряда фильтров и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Обработку данных выполняет микроконтроллер или цифровой сигнальный процессор (ЦСП). Дополнительно используют схему компенсации синфазного сигнала. Реализация всех этих модулей на отдельных микросхемах занимает достаточно много пространства на печатной плате, усложняет ее разводку и увеличивает энергопотребление. Решением данной проблемы является интеграция всех аналоговых микросхем в одну в виде аналоговых интерфейсов – analog front-end interfaces (AFE).

Такие решения начали появляться на рынке в 2012 г. Одной из первых компаний, представивших целую линейку подобных микросхем, была Texas Instruments.

Характерной чертой микросхем AFE является то, что по своим входам они напрямую подключаются к сенсорам (датчикам), например к электрокардиографическим электродам, а цифровые выходы ориентированы на прямое подключение ко входам цифровых средств, например, по стандартному протоколу SPI.

Типовая обобщенная структура микросхем типа AFE представлена на рисунке 15.

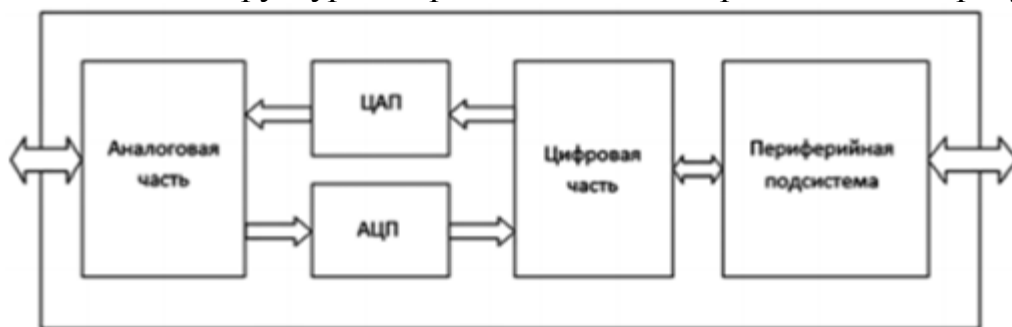


Рисунок 15 – Обобщенная схема AFE

Конкретные структуры и функции AFE определяются решаемой ими задачей: например, AFE, ориентированные на регистрацию ЭКГ в аналоговой части содержат коммутаторы, усилители с программируемым коэффициентом усиления, фильтры, драйверы обработки связи на биообъект и экран и т. д. Как правило, при проектировании аналоговой части используют те же схемы, что и в «классическом» аналоговом исполнении. После достаточно качественного аналого-цифрового преобразования (АЦП) дальнейшую предварительную обработку производит цифровая часть, в состав которой могут входить как классические микропроцессоры (CPU), так и сигнальные (DSP) процессоры, которые решают задачи подавления синфазной помехи, вычисления отведений, фильтрации и т. д. Периферийная подсистема обеспечивает реализацию стандартных протоколов (чаще всего SPI). Через периферийную систему AFE подключается к другим вычислительным средствам или средствам передачи данных (например, Bluetooth), осуществляется настройка параметров AFE. Для воздействия на биообъект или формирования тестовых сигналов (например, при измерении надежности контактов электродов с биообъектом; при измерении импеданса и пр.) в схему включают цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), иногда с аналоговыми фильтрами низких частот. Наибольший интерес представляет функциональная микросхема в линейке AFE для ЭКГ – ADS1298. Данная микросхема реализует специализированные функции, необходимые для измерения и обработки биологических сигналов, а именно электрокардиосигналов и электроэнцефалографических сигналов (ЭЭС). Данная микросхема включает набор аналоговых компонентов (инструментальный усилитель, аналоговый фильтр), необходимых для разработки медицинских приборов, и

24-разрядный АЦП. Схема ADS1298 может обрабатывать одновременно до восьми каналов на входе и предоставлять на выходе соответствующее количество каналов цифрового сигнала с частотой дискретизации 32 000 отсчетов в секунду. Разрешение каждого канала составляет до 24 разрядов, кроме того, для каждого канала предусмотрены собственные настройки усиления (коэффициент усиления может составлять от 1 до 12).

Особенностью является возможность установки максимального разрешения сигнала при частоте дискретизации до 8 кГц, при частотах дискретизации 16 и 32 кГц оно может составлять до 19 и 17 бит соответственно. Кроме того, несмотря на возможность данной микросхемы использовать биполярное питание, рекомендуют питание однополярное в диапазоне от 2,8 до 5,25 В. Что касается синфазной помехи, то микросхема обеспечивает ее подавление 115 дБ. Связь с внешними устройствами осуществляется с помощью последовательного периферийного интерфейса (SPI), что позволяет настраивать устройство с помощью микроконтроллера.

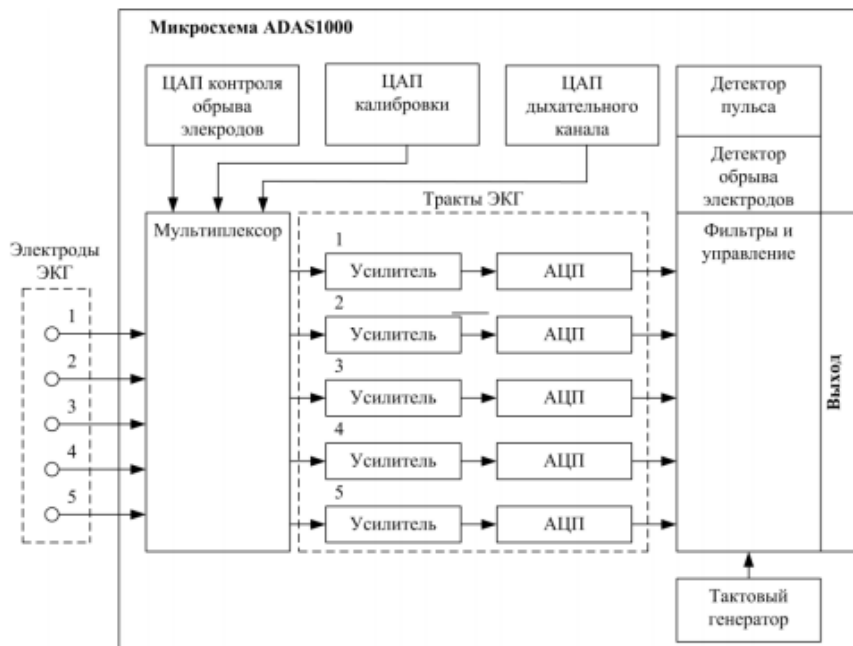


Рисунок 16 – Обобщенная схема AFE ADAS1000

9 Структура, возможности и принцип работы микросхемы AFE4300

Компания Texas Instruments представила недорогую, полностью интегрированную схему сопряжения аналоговых интерфейсов датчиков AFE4300 для приложений измерения веса человека и анализа его телосложения. Устройство представляет собой высокоинтегрированную аналого-цифровую систему, включающую два канала обработки аналоговых сигналов: канал измерения веса (WS) и канал анализа телосложения (BCM). Интегрированный аналого-цифровой преобразователь (16 бит, 860 выборок в секунду) осуществляет мультиплексирование данных каналов.

Канал измерения веса включает интегрированный инструментальный усилитель (INA) с функцией программирования коэффициента усиления внешним резистором, 6-битный цифро-аналоговый преобразователь для корректировки смещения, а также схему управления внешними мостовыми тензодатчиками (до 4 штук), питаемыми стабилизированным напряжением 1.7 В для реализации логометрического метода измерения.

Канал анализа телосложения обеспечивает реализацию сегментированного анализа электропроводимости тела (BIA), позволяющего получить полное представление о телосложении конкретного человека.

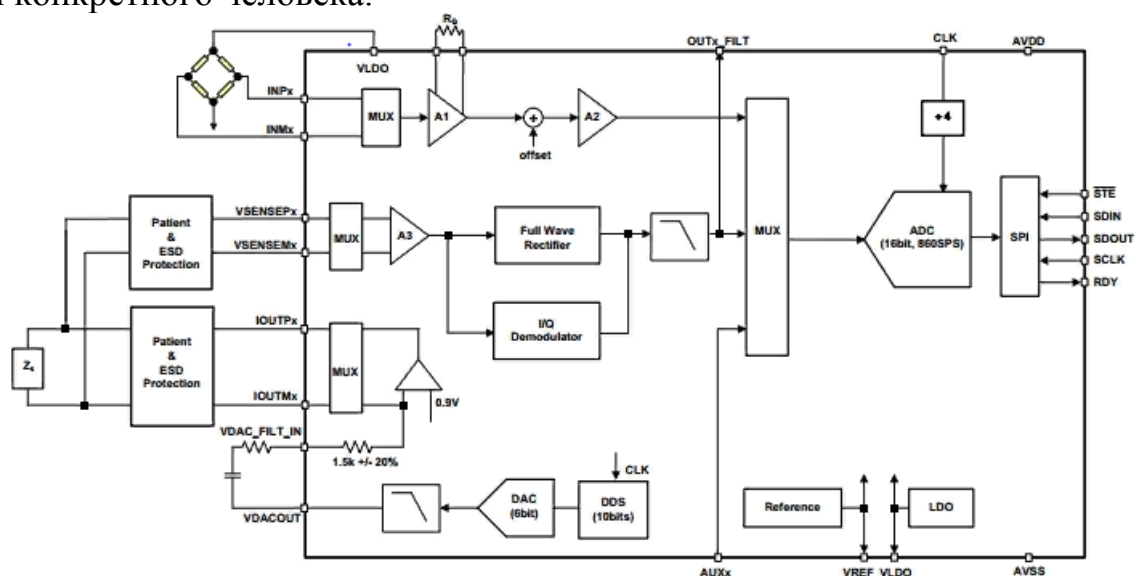


Рисунок 17 – Блок-схема структуры микросхемы

Основные параметры

Разрешение,бит	16
Частота выборок (макс.),kSPS	0.86
Каналов,шт	2
Интерфейс	SPI
V_{REF}	Int./Ext.
Напряжение питания: AV_{DD} ,В	от 2 до 3.6
I_{CC} ,мА	0.11
T_A , °C	от 0 до 70
Корпус	<u>LQFP-80</u>

Отличительные особенности:

- Канал измерения веса:
 - Поддержка до четырех тензодатчиков
 - Интегрированный источник напряжения возбуждения тензодатчиков на 1.7 В для логометрического метода измерения

- Низкий уровень приведенных к входу шумов: 68 нВ (в диапазоне от 0.1 Гц до 2 Гц)
 - Ток потребления в режиме измерения веса 540 мкА (тип.)
 - Канал измерения свойств организма:
 - Поддержка до трех четырехполюсных зондов измерения комплексного сопротивления
 - 6-битный ЦАП с рабочей частотой 1 МГц для генерации синусоидального сигнала
 - Выходной переменный ток возбуждения 375 мкА $\pm 20\%$
 - Ток потребления в режиме анализа телосложения 970 мкА (тип.)
 - Интегрированный аналого-цифровой преобразователь:
 - 16 бит, дельта-сигма
 - Быстродействие 860 выборок в секунду
 - Диапазон напряжения питания от 2 В до 3.6 В
 - Диапазон рабочих температур от 0°C до +70°C
 - Доступны в корпусах TQFP-80 размером 12 мм x 12 мм x 1.4 мм
- Обл. применения: Мед. и спортивные весы с функцией анализа телосложения

10.1 Цели оценки технического уровня продукции. Определение качества продукции. Комплексный показатель качества

Различают два понятия: технический уровень продукции и уровень качества продукции как более широкое понятие. *Оценка уровня качества продукции* - это совокупность операций включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей при оценке качества продукции. Технический уровень продукции - относительная характеристика качества продукции. Под *оценкой технического уровня продукции* понимается совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенствование оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми. Оценка технического уровня заключается в установлении соответствия продукции мировому, региональному, национальному уровням или уровня отрасли. Соответствие оцениваемой продукции мировому уровню (или другим) устанавливается на основании сопоставления значения показателей технического совершенства продукции и базовых образцов.

Целями оценки технического уровня продукции:

- прогнозирование потребностей, технического уровня и качества продукции;
- планирование повышения качества и объемов производства;
- обоснование освоения новых видов продукции;
- выбор наилучших образцов;
- обоснование целесообразности снятия продукции с производства;
- аттестация (сертификация);
- обоснование возможности реализации продукции за рубежом;
- оценка научно-технического уровня разрабатываемых и действующих стандартов;
- контроль качества;
- стимулирование повышения качества;
- анализ динамики уровня качества;
- анализ информации о качестве;
- и др.

Обобщая рассмотренные аспекты качества продукции, ГОСТ 15467-79 дает ему следующее определение: "**Качество продукции**" - это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением". Для оценки качества продукции при ее создании, испытании, сертификации, покупке и потреблении используются показатели качества.

Каждый вид продукции характеризует своя номенклатура показателей качества, которая зависит от назначения продукции. У продукции многоцелевого назначения эта номенклатура может быть очень многочисленной. Показатель качества продукции может выражаться в различных единицах (например, км/ч, часах на отказ), баллах, а также может быть безразмерным.

Показатель качества продукции, характеризующий одно из ее свойств, называется **единичным** показателем качества продукции. Примерами единичных показателей могут быть мощность (двигателя), калорийность, наработка на отказ.

Комплексным называется показатель качества продукции, характеризующий несколько ее свойств.

Комплексные показатели подразделяют на:

- обобщенные – показатели, которые характеризуют наиболее значительную совокупность свойств, по которой оценивают качество;
- интегральные – показатели, отражающие соотношение суммарного полезного эффекта и суммарных расходов использования;
- индексные – показатели, которые отражают соотношение качества разнородной продукции.

Они могут быть выражены в натуральных единицах (килограммах, метрах, литрах), в стоимостных единицах.

10.2 Технический уровень продукции. Классификация методов оценки технического уровня

Технический уровень продукции - относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции с соответствующими базовыми значениями (ГОСТ 15467-79).

В международных стандартах нет понятия "технический уровень продукции", поэтому в них отсутствует и определение этого понятия.

Согласно ГОСТ 15467-79 под оценкой технического уровня продукции понимается совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

Технический уровень продукции - относительный показатель, определяемый на основе сравнения с показателями базового образца (реального или гипотетического), являющегося материализацией соответствующего уровня развития.

Различают следующие уровни:

1. потенциальный научно-технический уровень - это уровень современных достижений научно-технического прогресса, характеризующий наивысшую степень использования на данном этапе развития науки и техники передовых научно-технических знаний без учета экономических, производственно-технических и др. ограничений;

2. перспективный технический уровень продукции - это уровень техники, характеризующийся параметрами наиболее рациональных решений, т.е. наиболее перспективных для достижения поставленных целей на установленный перспективный период при учете возможностей общественного производства;

3. достигнутый (прогнозируемый) мировой технический уровень продукции - это уровень воплощения (прогнозирования) в определенной группе изделий, реализованных (прогнозируемых) на данном (прогнозируемом) этапе развития в стране и за рубежом и обеспечивающих наибольшую степень удовлетворения потребностей.

Для оценки технического уровня и качества продукции используют:

- дифференциальный, - обобщающий, - смешанный - комплексный методы.

Дифференциальный метод, или метод относительных показателей, основан на сравнении единичных показателей качества оцениваемого и базового изделий.

Смешанный метод — сочетание дифференциального и обобщающего методов. Он применяется в случае, если обобщающий показатель качества недостаточно полно учитывает все существенные свойства изделия и не позволяет получить выводы относительно некоторых определенных групп свойств.

Комплексный метод оценки - основан на сравнении обобщающих показателей качества оцениваемого изделия, базового образца и суммарных затрат потребителя на их приобретение и эксплуатацию, т. е. определяется интегральный показатель качества продукции.

Для техники, революционизирующей производство, и для специфических товаров народного потребления, которые попросту не имеют аналогов, применяют *интегральный показатель качества продукции*, установленный государственным стандартом. Он определяется как отношение суммарного полезного эффекта от использования образца продукции за заданный срок службы к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление.

Результатом оценки уровня качества продукции дифференциальным методом являются следующие решения:

- уровень качества оцениваемой продукции превосходит уровень базового образца или соответствует ему;
- уровень качества оцениваемой продукции ниже уровня базового образца, если все значения относительных показателей меньше единицы;
- уровень качества оцениваемой продукции, для которой существенно важно значение каждого показателя, считается ниже базового, если хотя бы один из относительных показателей меньше единицы.

В тех случаях, когда часть значений относительных показателей больше или равна единице, а часть – меньше единицы, применяется комплексный или смешанный метод оценки уровня качества продукции.

11 Достоинства и недостатки цифровых фильтров по сравнению с аналоговыми

Аналоговые фильтры используют резонанс в электрических цепях. Комбинации резисторов и индукторов обеспечивают разные уровни импеданса для токов с разными частотами. Следовательно, они могут использоваться в схемах для подавления нежелательных частотных составляющих в сигнале.

Аналоговые фильтры могут фильтровать сигналы непрерывно, В некоторых случаях это дает небольшое преимущество аналоговым фильтрам, где *все* нежелательные частоты должны быть удалены. Способность цифрового фильтра делать это зависит от частоты дискретизации.

Цифровые фильтры могут работать с цифровыми (то есть не непрерывными) сигналами. Следовательно, цифровой фильтр состоит из Аналого-цифровой преобразователя (АЦП), который сначала преобразует любой аналоговый сигнал в цифровой сигнал. Затем полученный цифровой сигнал необходимо преобразовать обратно в аналоговый сигнал, используя Цифро-аналоговый преобразователь (КСП).

Реализация ЦФ может быть осуществлена двумя способами:

1) программный способ, когда алгоритм фильтрации реализуется в виде программы цифровой вычислительной машины. Этот способ удобен при математическом моделировании фильтра на этапе полученных исследований или проектирования.

2) схемный способ, когда ЦФ реализуется в виде специального вычислителя или процессора. Такой вариант предполагает использование стандартных элементов цифровой техники, обладающей высокой надежностью, быстродействием, малыми габаритами и массой.

По сравнению с аналоговыми фильтрами они предпочтительны во множестве областей, так как обладают рядом достоинств.

- Однажды разработанное аппаратное и программное обеспечение можно использовать в других задачах цифровой фильтрации практически без изменений или с незначительной модификацией.
- Цифровые фильтры могут использоваться при очень низких частотах, которые характерны во многих областях, в частности в биомедицинских приложениях. Использование аналоговых фильтров в этих случаях требует громоздких компонентов.
- Цифровые фильтры могут иметь характеристики, которые невозможно получить у аналоговых фильтров, например линейную фазочастотную характеристику.
- Точность, достигаемая при использовании аналоговых фильтров, ограничена точностью применяемых аналоговых компонентов. Точность цифровых фильтров ограничена только количеством разрядов.
- ЦФ не имеют реактивных элементов, поэтому нет проблем с точностью их изготовления и их стабильностью;
- Цифровые фильтры не имеют дрейфа, характерного для аналоговых фильтров.
- При разработке ЦФ не возникает проблема согласования нагрузок, присущая аналоговым фильтрам.
- Частотные характеристики цифровых фильтров зависят от частоты (периода) дискретизации. Изменяя эту частоту, можно легко перестраивать фильтр.
- Просто решаются вопросы сохранения исходных, промежуточных и выходных данных, если в этом есть необходимость.
- ЦФ реализуется на стандартных элементах цифровой техники, причем несколько фильтров могут обслуживаться одним тактовым генератором, одним управляю-

щим устройством и одним арифметическим блоком. Отсюда высокая надежность, стабильность, малые габариты, вес.

И все же, по сравнению с аналоговыми, цифровые фильтры имеют и некоторые недостатки.

- Конечное число разрядов приводит к неизбежной процедуре округления. Ошибка округления может накапливаться, и при использовании рекурсивных фильтров высоких порядков может вызвать неустойчивость фильтра.

- Квантование по уровню, которое учитывается введением в структурную схему многоступенчатого симметричного релейного, может привести к возникновению автоколебаний. И это надо учитывать.

- Существуют определенные ограничения при работе в реальном масштабе времени, состоящие в том, что все вычисления должны быть завершены в течение интервала дискретизации.

Впрочем, эти недостатки успешно преодолеваются. В большинстве современных систем обработки информации учитываются достоинства как аналоговых, так и цифровых методов, и для реализации желаемых функций комбинируются аналоговые и цифровые методы.

12 Структура и функциональные возможности линейки микросхем LMP901xx

Удачным примером класса AFE может послужить линейка микросхем Texas Instruments LMP901xx/LMP91xx (таблица 1), объединяющая в себе микросхемы сопряжения для различных типов датчиков. Общее для всех микросхем представленной линейки – высокая степень интеграции. На борту микросхем, помимо АЦП, находятся дополнительные блоки, которые упрощают построение измерительного тракта. Эта интеграция позволяет обойти такие ограничения традиционного подхода с использованием дискретных микросхем, как отсутствие возможности диагностики подключения датчика, подверженность погрешностям измерения из-за смещения входного напряжения, дрейфа усиления и тому подобное.

Таблица 1. AFE Texas Instruments для систем измерения

Наименование	Используемые датчики	Область применения
<u>LMP901xx</u>	Датчики температуры, RTD, NTC, термопара, резистивный мост	LMP90XXX: промышленная автоматика, весовое оборудование, измерения силы и давления, автомобильная электроника
<u>LMP9100x</u>	Электрохимические датчики, твердотельные датчики, CO ₂ , CO, O ₂ , H ₂ S	LMP91000, LMP91002: автоматизация и контроль помещений, системы вентиляции, анализ H ₂ S в нефтепродуктах
<u>LMP9105x</u>	Датчики NDIR, CO ₂ , CH ₄ , паров алкоголя	LMP91050, LMP91051: контроль CO ₂ , системы вентиляции
<u>LMP91200</u>	Датчики pH	LMP91200: системы измерения качества воды
<u>LMP91300</u>	Индуктивный датчик расстояния	LMP91300: промышленная автоматизация

Все микросхемы представленного семейства содержат полный набор элементов, необходимых для точного измерения параметров различных типов датчиков: кроме 24- или 16-битного АЦП, в микросхему интегрированы малошумящий усилитель с программируемым коэффициентом усиления, мультиплексор с возможностью дифференциального подключения входного сигнала, тактовый генератор. Дополнительно к стандартным средствам измерения в микросхемы добавлен блок калибровки, который позволяет в фоновом режиме корректировать значения усиления и напряжения смещения, что сводит к минимуму ошибки, связанные с изменением этих параметров во времени и диапазоне температур. Также полезным для радиометрических измерений будет возможность переключения между двумя внешними опорными напряжениями.

LMP91000 – первый в отрасли полностью конфигурируемый, маломощный потенциостат, обеспечивающий завершённый, интегрированный тракт прохождения сигнала между датчиком и аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Этот программируемый AFE ориентирован для использования в микромощных сенсорных приложениях, таких как трехэлектродные одногазовые датчики и двухтерминальные датчики кислорода. LMP91000 измеряет силу тока в потенциостате, который пропорционален концентрации газа. Устройство генерирует выходное напряжение, пропорциональное току ячейки, при помощи трансимпедансного усилителя, коэффициент усиления которого программируется пользователем посредством I²C-совместимого интерфейса, что обеспечивает LMP91000 чувствительность к концентрации токсичных газов в диапазоне от 0.5 нА/ppm до 9.5 нА/ppm. Сверхнизкое энергопотребление позволяет применять LMP91000 в устройствах с питанием от батареи, а также в передатчиках с интерфейсом «токовая петля» 4...20 мА. Напряжение и коэффициент усиления ячейки устанавливаются пользователем при помо-

щи интегрированной функции программирования.

Все эти возможности позволяют реализовать устройство, поддерживающее широкую номенклатуру газов и большой диапазон концентраций газов с общим энергопотреблением менее 10 мкА. I2C интерфейс дает возможность менять рабочие характеристики датчика, а интегрированный датчик температуры обеспечивает дополнительный выход для мониторинга температуры. Диапазон напряжения питания LMP91000 составляет от 2,7 В до 5,5 В.

Отдельно стоит обратить внимание на дополнительный функционал, напрямую не связанный с измерениями: блок диагностики состояния датчика, дополнительные выходы GPIO. Блок в фоновом режиме позволяет определить состояние датчика, например, обрыв, короткое замыкание, отклонение амплитуды входного сигнала за пределы рабочего диапазона без участия пользователя.

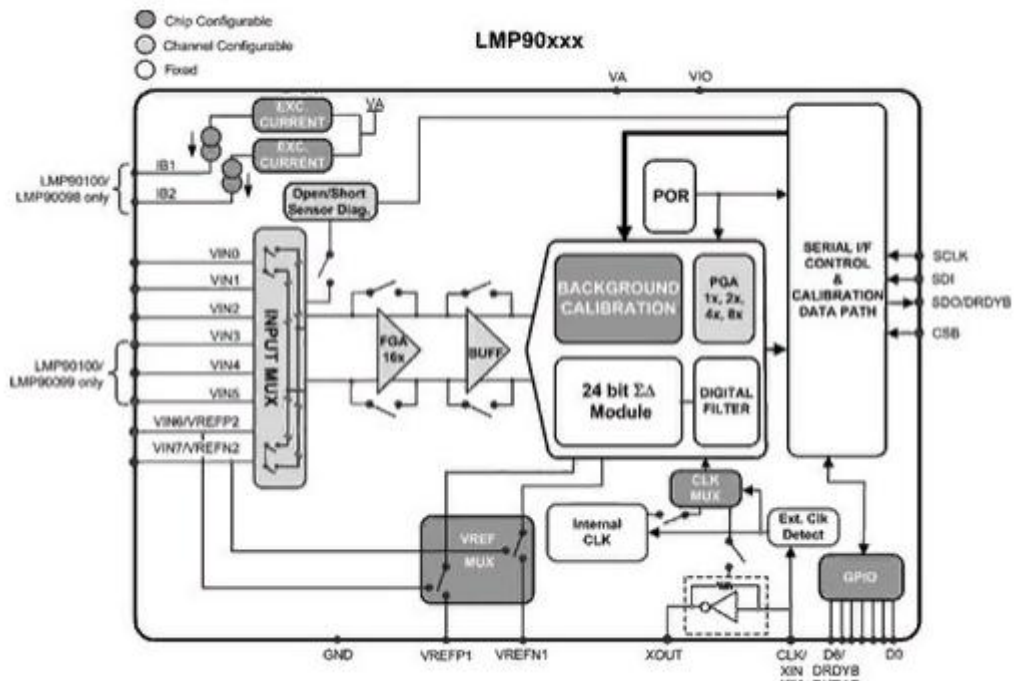


Рисунок 20 – Блок-диаграмма микросхемы. Внутренняя организация

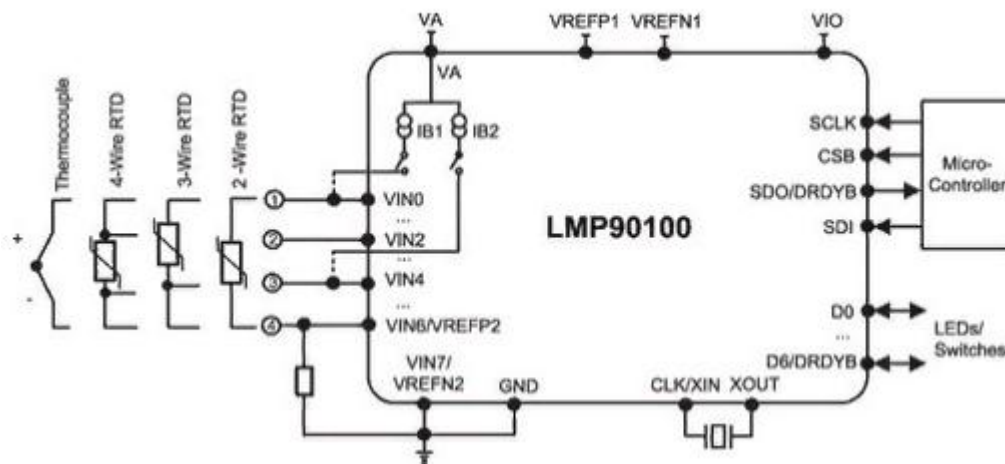


Рисунок 21 – Типовая схема включения LMP901xx

13 Правила настройки LMP901xx

Для того, чтобы было легче разобраться со всевозможными настройками LMP90100 или любой другой микросхемой данного семейства, компания TI предлагает воспользоваться средой разработки WEBENCH® SensorAFE, доступной на сайте производителя. Программа представляет собой веб-приложение, и ее можно легко запустить со страницы описания интересующей микросхемы. Также доступна версия этого приложения для офлайн-использования – ее можно просто скачать. Использование программы дает возможность ознакомиться с основными узлами микросхемы и получить полную карту необходимых регистров для дальнейшей работы. В WEBENCH® SensorAFE интересующая микросхема представлена в виде блок-диаграммы, есть возможность через интуитивно понятный интерфейс настроить желаемые параметры каждого узла и оценить результат. Список возможных параметров каждого узла можно применить, кликнув в окне приложения на соответствующий блок. Также для простоты работы и оценки функциональности решения в приложение интегрирована база данных различных датчиков, которыми можно воспользоваться для оценки параметров системы в целом. Если интересующего датчика в базе нет – его можно создать самостоятельно и использовать для дальнейшей работы. При запуске приложения будет доступна блок-диаграмма устройства, где определенным цветом выделены устройства, которые можно сконфигурировать для дальнейшей работы. Также на этой странице присутствует «путеводитель» (Help bar) – рисунок 22, который поможет в работе с приложением, если в процессе настройки возникнут какие-либо сложности.

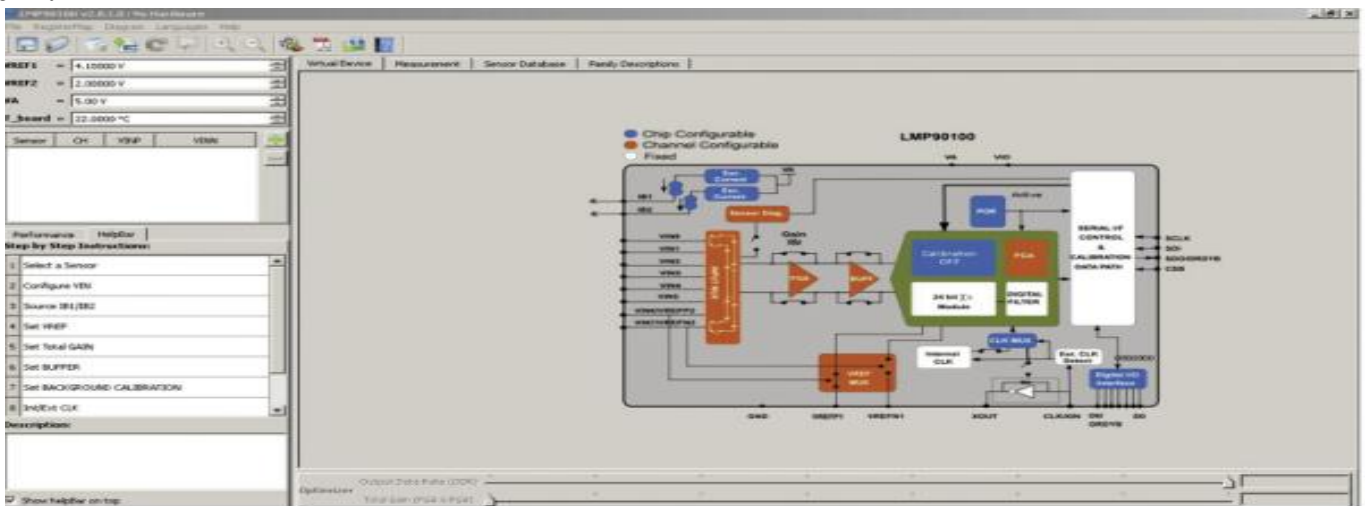


Рисунок 22 – Начальная страница оффлайн-приложения

Работа с приложением, так же как и разработка измерительного устройства, начинается с выбора первичного датчика (Select Sensor). После того, как выбран тип датчика, программа предложит пользователю условную схему с вариантами его подключения к микросхеме. Следующий этап – это установка токов возбуждения для решений с использованием трех- и четырехпроводных термометров сопротивления или мостовых датчиков (Source IB1/IB2). Значение тока может быть установлено в диапазоне 0,1...1 мА с шагом 100 мкА (рисунок 15) и определяется типом используемого датчика.



Рисунок 22 – Выбор значения тока возбуждения



Рисунок 23 – Варианты коэффициентов усиления

После того, как внешние выводы сконфигурированы, можно переходить к настройке остальных параметров микросхемы. Также с помощью приложения у разработчика есть возможность оценить влияние работы блока внутренней калибровки на результаты измерения. Использование различных режимов калибровки дает возможность достичь значительного улучшения точности измерения системы при всех реализуемых в микросхеме коэффициентах усиления сигнального тракта. Для того чтобы, кроме расчетных значений, увидеть реальные параметры, получаемые с помощью представленных АЦП, доступна отладочная плата LMP90100EB. Подключив данную плату к компьютеру, можно в реальном времени сравнить расчетные значения с реальными, воспользовавшись все тем же приложением «SensorAFE». Однако с отладочной платой можно работать только с помощью оффлайн-приложения и при наличии дополнительной платы SPIO4. Использование такого режима позволит получить нормальное распределение и оценить характеристики микросхемы в связке с реальным датчиком. Также возможно использование отладочной платы в режиме осциллографа для дальнейшего сохранения полученных данных и их последующей обработки с помощью собственных программных средств. Кроме АЦП LMP90100 на плате LMP90100EB установлены дополнительные элементы: LM94022 и LM4140CCM-4.1. Источник опорного напряжения LM4140CCM-4.1 обеспечивает малый уровень шума 35мкVrms в рабочем диапазоне температур 0...70°C. Для решений, где требуется расширенный рабочий диапазон, более подходящим будет REF5050, который обеспечивает работу в диапазоне -40...125°C и малый дрейф опорного напряжения 3 ppm/°C. Другая позиция, представленная на плате – LM94022. Она представляет собой аналоговый датчик температуры и предназначена для работы с термопарой для определения температуры холодного спая (рисунок 24).

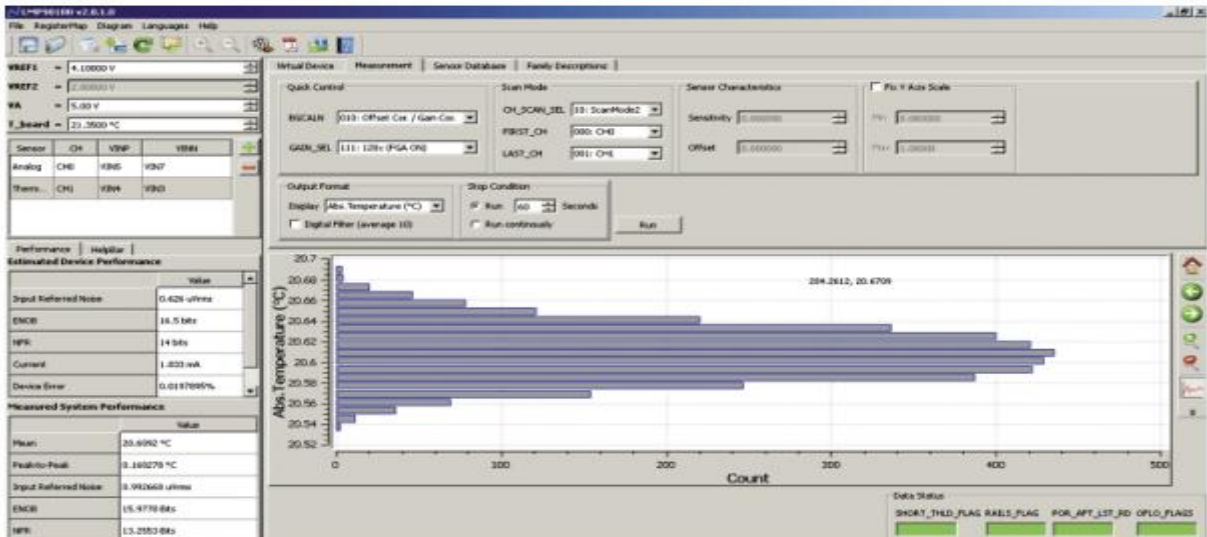


Рисунок 24 – Гистограмма измерения температуры с помощью термопары

14.1 Аналитические выражения, описывающие цифровые фильтры

ЦФ относятся к классу линейных дискретных систем, взаимосвязь между входным $x(i)$ и выходным $y(i)$ дискретными сигналами в которых определяется следующим разностным уравнением:

$$y(i) = \sum_{l=0}^{N-1} b_l x(i-l) - \sum_{k=1}^{L-1} a_k y(i-k). \quad (1)$$

Здесь пределы суммирования N и L и величины a_k и b_l являются параметрами фильтра, причем коэффициенты a_k и b_l могут быть константами либо отсчетами решетчатых функций, зависящих от дискретного времени i .

Сигналы $x(i)$ и $y(i)$ могут быть как вещественными, так и комплексными. Уравнение (1) можно рассматривать как алгоритм вычисления $y(i)$, т.е. алгоритм работы ЦФ. Его реализация в виде устройства приведет к аппаратному способу реализации ЦФ, а программирование на выбранном языке – к программному способу реализации ЦФ.

Как правило, решение уравнения (1), т.е. решетчатую функцию $\{y(i)\}$, требуется определить при $i \geq 0$. Если известны коэффициенты a_k и b_l , отсчеты входного сигнала $\{x(i)\}$ при $i \geq -N+1$ и начальные значения $y(-1), y(-2), \dots, y(-L+1)$, то, используя (1), можно рассчитать отсчеты $y(i)$ для любого $i \geq 0$. Уравнение (1) дает аналитическое описание ЦФ во временной области.

Если коэффициенты a_k и b_l не зависят от дискретного времени i , то ЦФ являются системами с постоянными параметрами, в противном случае они будут принадлежать классу систем с переменными параметрами.

14.2 Какие операции желательно поддерживать аппаратно при цифровой фильтрации? Что такое Z- плоскость, что на ней отображают и зачем ее используют?

Цифровые фильтры могут быть реализованы в виде как специализированного вычислителя (аппаратурная реализация), так и в виде программ для универсальной ЭВМ (программная реализация). При аппаратурной реализации каждый функциональный узел (сумматор, элемент задержки, умножитель) цифрового фильтра выполняется, как правило, в виде отдельного модуля, например отдельной микросхемы. При программной реализации аналитический алгоритм работы цифрового фильтра представляет собой программу, записываемую в память универсальной ЭВМ.

Основным достоинством аппаратурной реализации цифровых фильтров является повышенное быстродействие; основным недостатком - недостаточная гибкость перестройки, связанная с заменой отдельных узлов цифрового фильтра, а также невозможность использовать данный специализированный вычислитель для других цифровых фильтров.

Для эффективной реализации алгоритмов цифровой фильтрации необходима аппаратная поддержка базовых операций: умножения с накоплением (MAC), модульной адресной арифметики, нормировки результатов арифметических операций. Другим часто выполняемым преобразованием сигнала является Фурье-преобразование (прямое и обратное).

Z- преобразование является обобщением дискретного преобразования Фурье.

Впервые z-преобразование введено в употребление П.Лапласом в 1779 году и повторно "открыто" В.Гуревичем в 1947 году.

Z-преобразование (англ. *Z-transform*) – один из самых распространенных способов анализа дискретных цифровых последовательностей.

Большое значение Z-преобразование имеет для расчетов рекурсивных цифровых систем обработки сигналов.

Если имеется передаточная характеристика аналогового фильтра в виде нулей и полюсов фильтра, то для того чтобы фильтр стал дискретным необходимо периодически «размножить» нули и полюса с периодом. При этом мы получим бесконечное количество нулей и полюсов дискретного фильтра, что не совсем удобно. Для облегчения анализа вводят z-преобразование путем отображения комплексной s-плоскости в комплексную z-плоскость. Соотношение между дискретным по времени сигналом $x[n]$ и его односторонним z-преобразованием $X(z)$ выражается следующим образом:

$$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x[n]z^{-n}$$

Эта сумма начинается как последовательность отдельных значений, и так как мы суммируем от $n = 0$ до $n =$ бесконечность, эта последовательность имеет бесконечную длину.

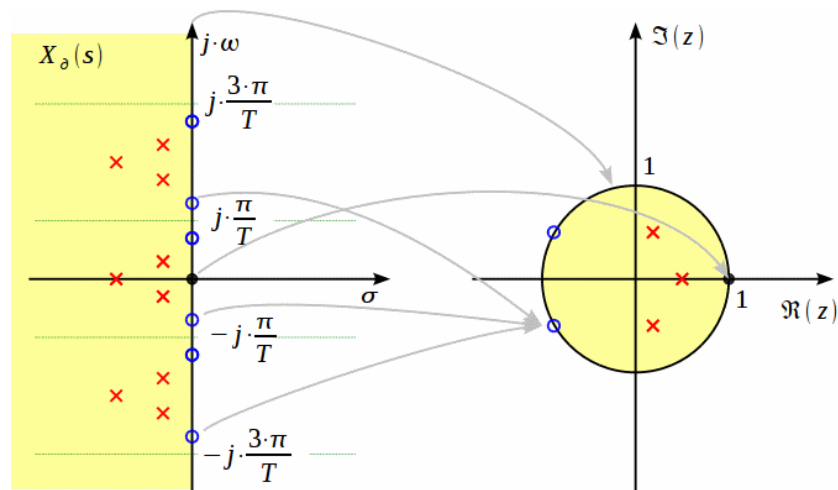


Рисунок 18 – Преобразование комплексной s-плоскости в комплексной z-плоскость

Можно думать о z-преобразовании как о версии преобразования Лапласа, дискретном по времени. Вместо s мы используем комплексную переменную z , и, применяя z-преобразование к последовательности точек данных, мы создаем выражение, которое позволяет нам выполнять анализ в частотной области для сигналов, дискретных по времени.

С помощью z-преобразования мы можем создавать передаточные функции для цифровых фильтров, а также строить диаграмму полюсов и нулей на комплексной плоскости для анализа устойчивости. Обратное z-преобразование позволяет нам преобразовать передаточную функцию в z-области в разностное уравнение, которое может быть реализовано в коде, написанном для микроконтроллера или цифрового сигнального процессора.

Смысл величины z в z-полиноме заключается в том, что она является оператором единичной задержки по координатам функции. Умножение z-образа сигнала $S(k)$ на величину z^n означает задержку сигнала (сдвиг вправо по временной оси) на n интервалов

Основное достоинство z-преобразований заключается в простоте математических операций со степенными полиномами, что имеет немаловажное значение при расчетах цифровых фильтров.

15.1 Формулы прямого и обратного преобразования Фурье для непрерывных сигналов. Их физическая суть по отношению к обработке электрофизиологических сигналов

Любой сигнал может быть представлен как во временной области (совокупность графиков в координатах время - амплитуда), так и в частотной области (последовательность графиков в координатах частота - амплитуда). В зависимости от сложности реализации обработки может быть выбрано либо частотное, либо временное представление сигнала. Фурье-преобразование позволяет осуществлять перенос сигнала из одной формы представления в другую.

Фурье определил, что абсолютно любую непрерывную функцию можно представить в виде суммы гармонических функций (\sin , \cos) с разной частотой, амплитудой и начальной фазой. То есть, сложив множество синусов и косинусов с подходящей частотой, амплитудой и начальной фазой можно получить абсолютно любую непрерывную функцию.

Это значит, что любую непрерывную функцию можно представить (описать ее) не только во *временной области* (фиолетовое направление на картинке ниже), но и в *частотной области* (синее направление).

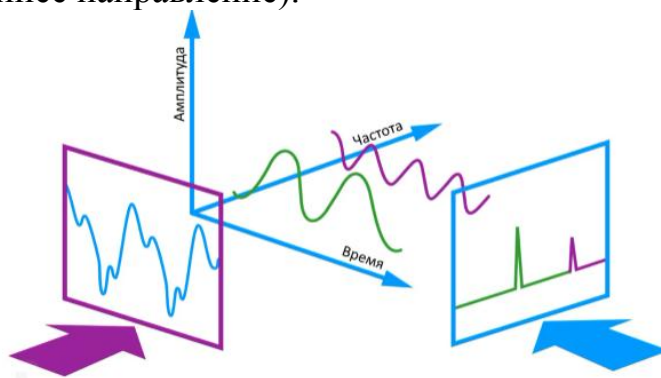


Рисунок 19 – Представление сигнала

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad \text{— обратное преобразование Фурье}$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{— прямое преобразование Фурье}$$

$S(\omega)$ - спектральная плотность сигнала $s(t)$

С помощью преобразования Фурье осуществляют фильтрацию ЭЭГ-сигнала, в результате чего обнаруженные в сигнале посторонние шумы, артефакты вырезаются, и перед специалистом предстает новый очищенный ЭЭГ-сигнал, где наиболее наглядно отражены его основные компоненты.

Применяется преобразования Фурье на сегодняшний день для :

- Изучения и оценки глубины анестезии
- Изучения, обнаружения, прогнозирования и классификации эпилептических припадков;
- Изучения сонных веретен и спайко-волновых разрядов на ЭЭГ;
- Обучения и составления нейронных сетей

Анализ ЭЭГ методом преобразования Фурье требует дополнительного детального

исследования, с последующим выявлением закономерности между новыми и уже полученными результатами.

15.2 Дискретное преобразование Фурье и особенности его использования для обработки биомедицинских сигналов

Дискретное преобразование Фурье (в англоязычной литературе DFT, Discrete Fourier Transform) — это одно из преобразований Фурье, широко применяемых в алгоритмах цифровой обработки сигналов (его модификации применяются в сжатии звука в MP3, сжатии изображений в JPEG и др.), а также в других областях, связанных с анализом частот в дискретном (к примеру, оцифрованном аналоговом) сигнале. Дискретное преобразование Фурье требует в качестве входа дискретную функцию. Дискретные преобразования Фурье также активно используются в статистике, при анализе временных рядов.

$$\begin{array}{l} \text{Прямое} \\ \text{преобразование} \end{array} \quad X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} \quad k = 0, \dots, N-1$$
$$\begin{array}{l} \text{Обратное} \\ \text{преобразование} \end{array} \quad x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{2\pi i}{N} kn} \quad n = 0, \dots, N-1.$$

Дискретное преобразование Фурье имеет особенность, так как дискретная последовательность может быть получена суммой функций с различным составом гармонического сигнала. Другими словами, дискретная последовательность раскладывается на гармонические переменные – неоднозначно. Поэтому при разложении дискретной функции с помощью дискретного преобразования Фурье во второй половине спектра возникают высокочастотные составляющие, которых не было в оригинальном сигнале. Данный высокочастотный спектр является зеркальным отображением первой части спектра (в части частоты, фазы и амплитуды). Обычно вторая половина спектра не рассматривается, а амплитуды сигнала первой части спектра - удваиваются.

Ключевыми задачами анализа кардио- сигналов является не только обнаружение комплексов и анализ их формы, но и выявления характерных зависимостей в спектре. В этой связи новые возможности открывает использование преобразования Фурье и спектрального анализа для получения частотно-временного представления сигнала. В основе преобразования Фурье (ПФ) лежит идея представления периодической функции, все сигналы ЭКГ являются именно такими, в виде суммы отдельных гармонических составляющих.