

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Микропроцессоры и МП системы

ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: Аналоговые сигналы. АЦП, ЦАП, компараторы. Принцип работы (в общем случае и в случае Atmega16A), возможности устройств, их ограничения. Настройка и использование. Ошибки измерений АЦП и как с ними бороться. Прикладная задача: получение аналогового сигнала, используя Atmega16A

Выполнила:

Белозерова Мария Сергеевна

Группа: 16312, ФФ НГУ

Новосибирск, 2019

Оглавление

Введение	3
Виды сигналов.....	3
<i>Аналоговый сигнал</i>	3
<i>Дискретный сигнал</i>	3
<i>Цифровой сигнал</i>	4
Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)	4
<i>Характеристики ЦАП</i>	4
<i>Погрешности</i>	5
<i>Типы ЦАП</i>	7
АЦП	7
<i>Характеристики АЦП</i>	8
<i>АЦП последовательного приближения</i>	8
Компаратор.....	9
АЦП Atmega16A.....	9
<i>Принцип работы</i>	9
<i>Ошибки АЦП</i>	11
Получение аналогового сигнала.....	12
Заключение.....	13
Список литературы.....	13

Введение

Во время современных физических исследований регистрируется огромное количество аналоговых параметров. Оперировать такими объемами информации можно только с помощью компьютеров. Перевод аналоговых сигналов в цифровой формат осуществляется с помощью электронных устройств – аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). Обратную же операцию преобразование цифрового кода в аналоговый сигнал выполняет цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Виды сигналов

Аналоговый сигнал

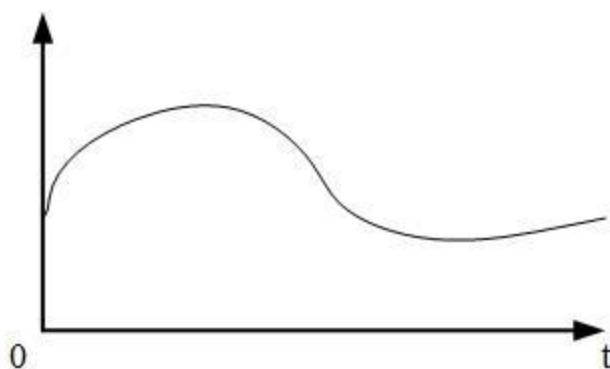


Рис. 1 Аналоговый сигнал

Аналоговый сигнал – сигнал данных, который может быть представлен непрерывной линией из множества значений, определенных в каждый момент времени (Рис. 1). Значения аналогового сигнала произвольны в

каждый момент времени, поэтому он может быть в принципе как некая непрерывная функция (зависящая от времени как от переменной), либо как кусочно-непрерывная функция времени.

Аналоговые сигналы часто используют для представления непрерывно изменяющихся физических величин. Например, аналоговый электрический сигнал, снимаемый с термопары, несет информацию об изменении температуры, сигнал с микрофона – о быстрых изменениях давления в звуковой волне и т.п.

Дискретный сигнал

Следующий тип сигнала – дискретный (Рис. 2).

В определенный момент период времени (например, секунду) дискретный сигнал будет какой-то установленной величины. По окончании

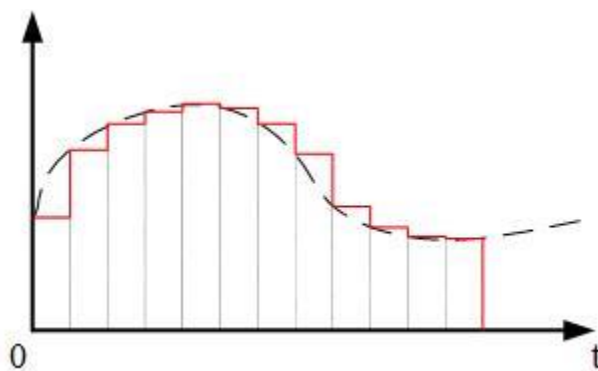


Рис. 2 Дискретный сигнал

этого времени он резко изменится в большую или меньшую сторону и останется там таким еще секунду. И так беспрерывно. Поэтому дискретный сигнал – это преобразованный аналоговый.

Чаще всего на практике применяются дискретные сигналы, распределенные по равномерной временной сетке, шаг которой называется *интервалом дискретизации*.

Цифровой сигнал

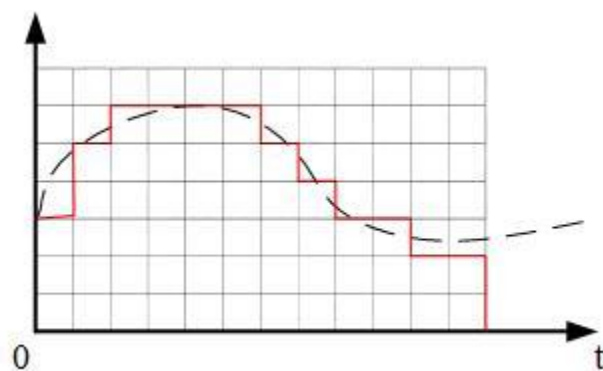


Рис. 3 Цифровой сигнал

После дискретного сигнала, следующим шагом преобразования аналогового является цифровой сигнал (Рис. 3). Дискретный сигнал становится цифровым, когда принимает только какие-то фиксированные значения (которые могут быть расположены по сетке с

определенным шагом). Т.е. цифровой сигнал – это такой дискретный сигнал, который квантован не только по промежуткам времени, но и по уровню.

Именно с таким видом сигналов работают компьютеры.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)

ЦАП является устройством для преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал.

Характеристики ЦАП

Основные свойства ЦАП описывает его характеристика преобразования. *Характеристика преобразования* (или *передаточная функция*) (Рис.4) – это зависимость между величиной сигнала на выходе ЦАП и поданным на вход кодом.

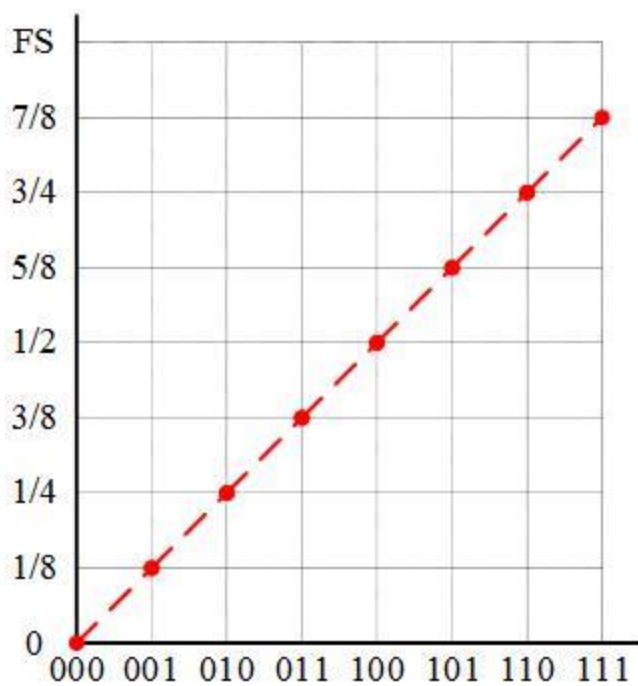


Рис. 4 Передаточная функция идеального однополярного 3-разрядного ЦАП

Количество выходных уровней N , отстоящих друг от друга на один элементарный шаг, задается *разрядностью* ЦАП. Например, для 3-разрядного преобразователя выходной сигнал принимает 2^3 значений (от 0 до 7). Величина элементарного шага называется *весом младшего разряда*, или *квантом преобразования (LSB)*. *Шкала выходного сигнала* определяется как $FS = LSB \cdot 2^N$.

Погрешности

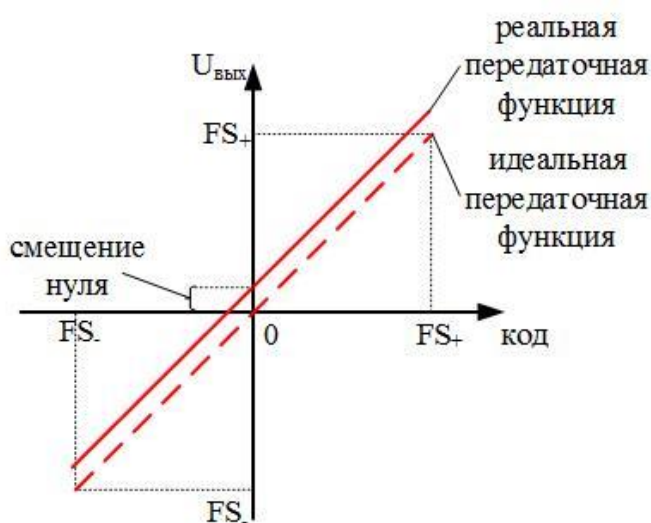


Рис. 5 Ошибка смещения нуля для биполярного ЦАП

Ошибка смещения нуля — напряжение на выходе ЦАП, когда на вход подается код, соответствующий нулевому напряжению (Рис. 5). Она выражается в процентах от полной шкалы или LSB.

Ошибка коэффициента преобразования (или ошибка масштаба) (Рис. 6) определяет насколько наклон характеристики

преобразования отличается от заявленного значения. Данная ошибка может выражаться в процентах отклонения от идеального значения или в величине ошибки на полной шкале преобразователя в единицах LSB.

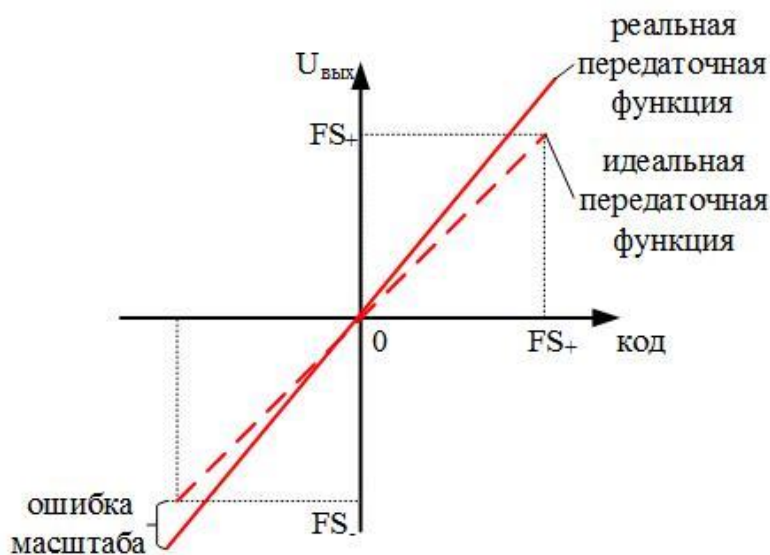


Рис. 6 Ошибка коэффициента преобразования для биполярного ЦАП

Ошибка смещения нуля и ошибка масштаба в тех случаях, когда ошибки превышают один квант, могут быть уменьшены, если ЦАП предварительно прокалибровать более точным устройством.

Интегральную

нелинейность измеряют как максимальное отклонение от

линии, соединяющей крайние точки шкалы (Рис. 7).

Дифференциальная нелинейность (Рис. 7) является локальной характеристикой. В идеальном случае при изменении цифрового кода на 1 аналоговый сигнал должен измениться на 1 LSB, однако реально имеет место неравномерность шагов. *Дифференциальная нелинейность* определяется как максимальное отклонение величины кванта от его среднего по шкале значения, выражается в LSB.

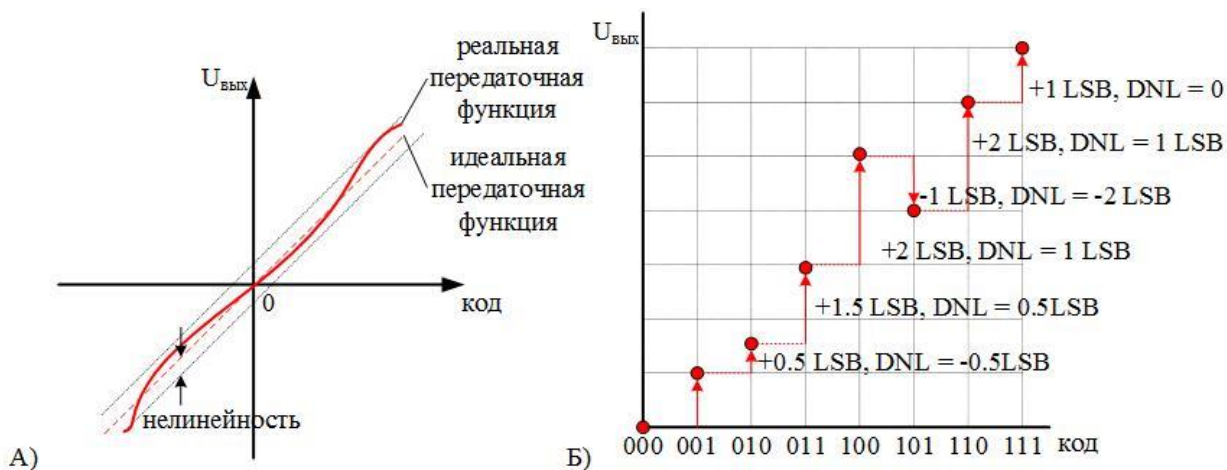


Рис 7. А) Интегральная нелинейность биполярного ЦАП;
Б) Дифференциальная нелинейность ЦАП

Типы ЦАП

Существует несколько классических схем построения ЦАП, на которых и будет показана логика его работы.

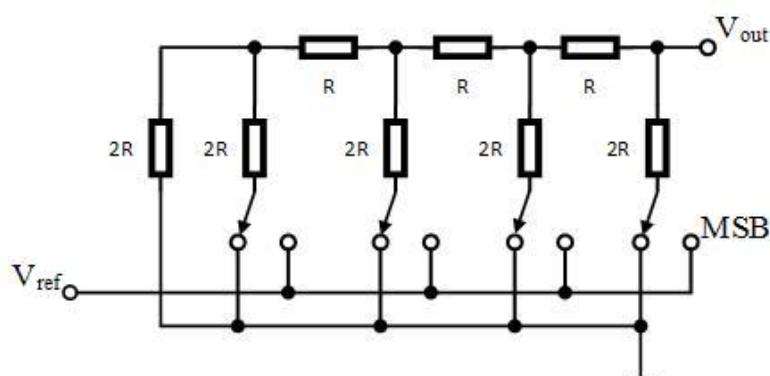


Рис 8. ЦАП R-2R

Схема ЦАПа R-2R представлена на Рис.8. Она образована резисторами номинала R и резисторами с номиналом 2R. Подключая, в соответствии с двоичным кодом,

резисторы к верхнему или нижнему потенциалу, получают требуемое напряжение.

ЦАП-ШИМ применяется, если не требуется высокое быстродействие, зато необходима высокая точность. Основой устройства является узел, преобразующий с помощью цифровых методов, управляющий код в длительность импульса (генератор код-скважность). Полученный широтно-модулированный сигнал управляет коммутатором, подключающим к выходному фильтру на время определяемое длительностью импульса, $+U_{ref}$, в отсутствие импульса $-U_{ref}$.

Заметим, что Atmega16A не имеет ЦАП.

АЦП

АЦП являются приборами, которые физическую величину превращают в соответствующее числовое представление, т.е. преобразующее входной аналоговый сигнал в эквивалентный ему код.

Процедуру преобразования аналоговых сигналов в цифровые отсчеты можно разбить на два этапа.

Как уже говорилось, аналоговый сигнал – непрерывный. Т.е. такой сигнал может принимать бесконечное количество значений, и ни у какого процессора не хватит вычислительной способности для обработки всех этих

значений. Поэтому первая задача АЦП – это разбить измеряемый диапазон на какое-то конечное количество значений. Т.е. сначала аналоговый сигнал подвергается дискретизации, в результате чего непрерывная функция заменяется последовательностью мгновенных значений сигнала, полученных в равноотстоящие моменты времени.

Затем производится квантование этих мгновенных значений по уровню. Результатом является последовательность кодов в заданные моменты времени.

Характеристики АЦП

Производительность преобразователя – это количество отсчетов в секунду, обеспечиваемое им на выходе. Распространение получила англоязычная единица измерения, обозначаемая как kSPS, MSPS, GSPS (kilo-, Mega-, Giga- Samples per Second). Величина, обратная производительности, задает *интервал между отсчетами*. Допустимая величина интервала между отсчетами (и производительность) определяется способами обработки и восстановления сигнала из произведенных АЦП отсчетов. Чем сложнее алгоритм восстановления по дискретным значениям исходного сигнала, тем больше возможен интервал между ними.

Если слово данных на выходе АЦП имеет n двоичных разрядов, то числовые отсчеты могут принимать значения от 0 до $2^n - 1$. Число n называется *разрядностью АЦП*.

Для описания возможностей АЦП также важны (как и для ЦАП) сдвиг нуля, ошибка масштаба и нелинейность.

АЦП последовательного приближения

Данный тип АЦП рассмотрен, потому что он используется в Atmega16A.

В АЦП последовательного приближения используется алгоритм «взвешивания». Устройством измеряется величина входного сигнала, а потом она сравнивается с числами, которые генерируются определенным способом:

1. Устанавливается половина возможного опорного напряжения.
2. Если сигнал преодолел предел величины из пункта 1, то сравнивается с числом, которое лежит посередине между оставшимся значением. Так, в нашем случае это $\frac{3}{4}$ опорного напряжения. Если опорный сигнал не дотягивает до этого показателя, то сравнение будет проводиться с другой частью интервала по такому же принципу. В данном примере это $\frac{1}{4}$ опорного напряжения.
3. Шаг 2 необходимо повторить N раз, что даст N бит результата.

Компаратор

Компаратор – это устройство, принимающее на свои входы два аналоговых сигнала, которые оно сравнивает. В зависимости от этого сравнения на свое выходе компаратор устанавливает либо логический ноль, либо логическую 1.

АЦП Atmega16A

Atmega16A содержит 10-разрядный АЦП последовательного приближения. Основные характеристики АЦП на Atmega16A согласно документации:

- 10-разрядное разрешение
- Интегральная нелинейность 0.5 LSB
- Время преобразования 13 – 260 мкс
- Частота преобразования до 15 kSPS при максимальном разрешении
- Диапазоны входного напряжения 0 В – VCC

Принцип работы

АЦП преобразовывает входное аналоговое напряжение в 10-разрядный код методом последовательных приближений. Минимальное значение соответствует уровню GND, а максимальное уровню AREF – 1 LSB. К выводу AREF по выбору может быть подключено напряжение AVCC или внутренний опорный источник напряжения на 2.56 В (ИОН) путем записи

соответствующих значений в биты регистров (соответствующие биты и регистры приведены в Таблице в конце параграфа). Для уменьшения шума к выводу AREF может быть подключен внешний блокировочный конденсатор.

Для АЦП существует возможность выбора дифференциального ввода, при этом дифференциальный усилитель будет усиливать разность напряжений между выбранной парой входов на заданный коэффициент усиления. Усиленное таким образом значение поступает на аналоговый вход АЦП. Если выбирается однополярный режим аналогового ввода, то каскад усиления пропускается.

Работа АЦП разрешается путем установки бита ADEN в регистре ADCSRA.

АЦП генерирует 10-разрядный результат, который помещается в пару регистров данных ADCH и ADCL. По умолчанию результат преобразования размещается в младших 10 разрядах 16-разрядного слова (выравнивание справа), но может быть опционально размещен в старших разрядах.

При чтении с АЦП гарантируется, что будет считан результат с обоих регистров от одного преобразования. После чтения регистра ADCL, блокируется доступ к регистрам данных со стороны АЦП. Это означает, что если считан ADCL и преобразование завершается перед чтением регистра ADCH, то ни один из регистров не может модифицироваться и результат преобразования теряется. После чтения ADCH доступ к регистрам данных со стороны АЦП снова разрешается.

АЦП на Atmega16A имеет два режима запуска преобразования: одиночное преобразование и автоматический запуск по сигналу с различных источников. Одиночное преобразование запускается путем записи логической 1 в соответствующий бит регистра ADCSRA. В режиме автоматического перезапуска АЦП непрерывно оцифровывает аналоговый сигнал и обновляет регистры данных АЦП. Когда происходит положительный перепад выбранного сигнала перезапуска, запускается

преобразование. Если перепад происходит во время преобразования, он будет проигнорирован.

Результат недифференциального преобразования $ADC = \frac{V_{in} \cdot 1024}{V_{ref}}$, где V_{in} – уровень напряжения на входе АЦП, V_{ref} – напряжение выбранного источника опорного напряжения. При использовании дифференциального преобразования $ADC = \frac{(V_{pos} - V_{neg}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{ref}}$, где V_{pos} – напряжение на «плюсовом» дифференциальном входе, а V_{neg} – на «минусовом», $GAIN$ – выбранный коэффициент усиления.

Таблица 1. Регистры управления АЦП

Регистр	Бит	Назначение
ADMUX	REFS1-0	Выбор источника опорного напряжения
	ADLAR	Управление представлением результата преобразования
	MUX4-0	Выбор аналогового канала и коэффициента усиления
ADCSRA	ADEN	Разрешение работы
	ADSC	Запуск преобразования
	ADFR	Включение режима автоматического запуска
	ADIF	Флаг прерывания
	ADIE	Разрешение прерывания АЦП
	ADPS2-0	Управление делителем АЦП
SFIO	ADTS2-0	Выбор источника автоматического запуска АЦП

Ошибки АЦП

N-разрядный однополярный АЦП преобразовывает напряжение между GND и VREF с количеством шагов $2N$. Минимальный код – 0, максимальный – $2N - 1$. Основные погрешности преобразования являются отклонением реальной функции преобразования от идеальной. Графически они выглядят

также как для ЦАП, но определения считаем необходимым повторить. К ним относятся:

Смещение нуля – отклонение первого перехода (от кода 0x000 на код 0x001) по сравнению с идеальным переходом (т.е. при 0.5 LSB).

После корректировки смещения *погрешность усиления* представляет собой отклонение последнего перехода (с 0x3FE на 0x3FF) от идеального перехода (т.е. отклонение при максимальном значении минус 1.5 LSB).

После корректировки смещения и погрешности усиления *интегральная нелинейность* (INL) представляет собой максимальное отклонение функции преобразования от идеальной для любого кода.

Максимальное отклонение между шириной фактического кода (интервал между двумя смежными переходами) от ширины идеального кода (1 LSB) называется *дифференциальной нелинейностью* (DNL).

Погрешность квантования возникает из-за преобразования входного напряжения в конечное число кодов, она равна интервалу входного напряжения протяженностью 1 LSB (шаг квантования по напряжению), который характеризуется одним и тем же кодом. Всегда равен $\pm 0.5 \text{ LSB}$.

Абсолютная погрешность определяется как максимальное отклонение реальной (без подстройки) функции преобразования от реальной при любом коде. Является результатом действия нескольких эффектов: смещение, погрешность усиления, дифференциальная погрешность, нелинейность и погрешности квантования.

Получение аналогового сигнала

Одним из самых простых методов получения аналогового сигнала с Atmega16A является использование внешних микросхем ЦАП, например, R-2R, о которых говорилось ранее.

Второй способ получения аналогового сигнала – использование широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Для этого ШИМ сигнал нужно пропустить через сглаживающую RC цепочку.

Заключение

Микроконтроллер Atmega16A умеет работать с АЦП в различных режимах, однако, не имеет ЦАП. Но аналоговый сигнал можно получить, например, с использованием внешних микросхем.

Список литературы

1. ATMEL Corporation Atmega16 Datasheet
2. Бехтенов Е.А. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Методические указания к лабораторной работе. Новосибирск, 2015. 30 с.
3. Школа для электрика // Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/automation/2238-analogovye-diskretnye-i-cifrovye-signaly.html>
4. FB // Общий принцип работы АЦП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/250298/obschiy-printsip-raboty-i-atsp>