МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**



**Курсовая работа на тему: «Исследование аналого-цифрового преобразователя»**

Выполнил студент группы И433

Яценко С.О

Научный руководитель:

Ширшов А.Д.

Санкт-Петербург

2019 г.

Содержание

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc471742246)

[РАЗДЕЛ 1.ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ВЕЛИЧИН, ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АЦП, ХАРАКТЕРИСТИКИ. 4](#_Toc471742247)

[1.1 Преобразование аналоговых величин. 4](#_Toc471742248)

[1.2 Основные типы АЦП 8](#_Toc471742249)

[1.2.1Линейные АЦП 9](#_Toc471742250)

[1.2.2 Нелинейные АЦП 9](#_Toc471742251)

[1.3 Характеристики АЦП 10](#_Toc471742252)

[РАЗДЕЛ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ АЦП ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ И СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП. 11](#_Toc471742253)

[2.1 АЦП прямого преобразования. 11](#_Toc471742254)

[2.1. АЦП последовательного приближения 13](#_Toc471742255)

[2.3 Сигма-дельта АЦП. 15](#_Toc471742256)

[РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. 20](#_Toc471742257)

[3.1 Применение АЦП в звукозаписи. 20](#_Toc471742258)

[3.2 Применение АЦП в системах связи 22](#_Toc471742259)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 24](#_Toc471742260)

[БИБЛИОГРАФИЯ 25](#_Toc471742261)

# ВВЕДЕНИЕ

В качестве отправной точки дадим определение аналого-цифровому преобразованию. Аналого-цифровое преобразование – это процесс преобразования входной физической величины в ее числовое представление. Аналого-цифровой преобразователь – устройство, выполняющее такое преобразование. Формально, входной величиной АЦП может быть любая физическая величина – напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т.п. Однако, для определенности, в дальнейшем под АЦП мы будем понимать исключительно преобразователи напряжение-код.

Данная тема является актуальная так как, в радиоизмерениях мы часто сталкиваемся с аналоговыми устройствами, но хотим видеть результат в виде числового кода. Эту проблему можно решить с помощью аналого-цифрового преобразователя.   
Понятие аналого-цифрового преобразования тесно связано с понятием измерения. Под измерением понимается процесс сравнения измеряемой величины с некоторым эталоном, при аналого-цифровом преобразовании происходит сравнение входной величины с некоторой опорной величиной (как правило, с опорным напряжением). Таким образом, аналого-цифровое преобразование может рассматриваться как измерение значения входного сигнала, и к нему применимы все понятия метрологии, такие, как погрешности измерения.

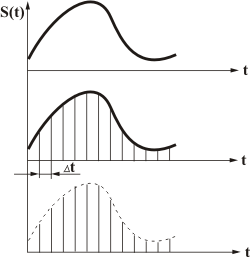
# РАЗДЕЛ 1.ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ВЕЛИЧИН, ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АЦП, ХАРАКТЕРИСТИКИ.

## Преобразование аналоговых величин.

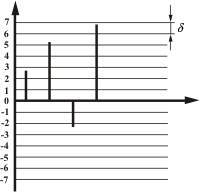
В принципе, вполне реально осуществить преобразование различных физических величин непосредственно в цифровую форму. Однако, процесс этот весьма сложен и кое-где непригоден. Поэтому наиболее рациональным является сначала преобразование чего-то там в функционально связанные с ними электрические сигналы, а затем с помощью преобразователя напряжение-код в цифровые. Именно последние и понимаются, как АЦП.[1]

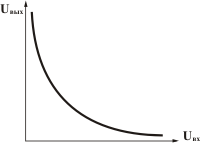
Сама суть преобразования аналоговых величин заключается в представлении некой непрерывной функции (например, напряжения) от времени в последовательность чисел, отнесенных к неким фиксированным моментам времени. Если говорить простым языком, то пусть, к примеру, есть какой-то сигнал (непрерывный) и для преобразования его в цифровой необходимо этот самый сигнал представить в виде последовательности определенных чисел, каждое из которых относится к определенному моменту времени. Для преобразования аналогового (непрерывного) сигнала в цифровой необходимо выполнить три операции: **дискретизация**, **квантование** и **кодирование**. Во многих книжках последняя операция исключается.[4]

Дискретизация - это представление непрерывной функции (т. е. какого-то сигнала) в виде ряда дискретных отсчетов. По-другому можно сказать, что дискретизация - это преобразование непрерывной функции в непрерывную последовательность. На рисунке 1 изображен принцип дискретизации.

  
 Рис. 1 - Принцип дискретизации

На рисунке показана наиболее распространенная равномерная дискретизация. Сначала имеется непрерывный сигнал S(t). Затем он подвергается разбиению на равные промежутки времени Δt. Вот эти промежутки "дельта тэ" и есть дискретные отсчеты, называемые периодами дискретизации. В результате получается последовательность отсчетов (дискретных) с шагом в Δt. По сути в основе дискретизации непрерывных сигналов лежит возможность представления их, т. е. сигналов в виде взвешенных сумм некоторых коэффициентов, обозначим их как ai, иначе называемых отсчетами, и набора элементарных функций, обозначим их как fi(t), используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам.   
Период дискретизации выбирается из условия:   
Δt = 1/2Fв,   
где Fв - максимальная частота спектра сигнала. Это выражение есть не что иное, как теорема Котельникова, которая гласит: Любой непрерывный сигнал можно абсолютно точно восстановить на выходе идеального полосового фильтра (ПФ) с полосой Fв, если дискретные отсчеты взяты через интервал Δt = 1 / 2Fв. А это значит, что частота дискретизации должна быть вдвое больше максимальной частоты сигнала.[5] На практике, например, это хорошо иллюстрирует обычный компакт диск (КД или CD) или, как его называют, AudioCD. КД записывают с частотой дискретизации 44,1 кГц. А это значит, что максимальная верхняя частота будет равна 22 кГц, что, как считается, вполне достаточно для уха человека (помните, частотный диапазон для уха человека равен 20...20 000 Гц). Про компакт диски будет отдельная глава.[2]   
При квантовании шкала сигнала разбивается на уровни. Отсчеты помещаются в подготовленную сетку и преобразуются в ближайший номер уровня квантования. Опять посмотрим на рисунок:

  
 Рис. 2 - Квантование

На рисунке изображено равномерное квантование. Одним из основных параметров является δ - шаг квантования. Соответственно, при равномерном квантовании шаг квантования одинаков. Итак, согласно определению запихиваем отсчеты в подготовленную сетку. Первый (слева направо) отсчет находится ближе к уровню 3 (уровни квантования - по вертикальной оси). Второй - к 5-му уровню и т. п. Таким образом, вместо последовательности отсчетов получаем последовательность чисел, соответствующих уровням квантования. [4]  
При равномерном квантовании динамический диапазон получается довольно большим. Поэтому придумали так называемое неравномерное квантование, при котором динамический диапазон уменьшается. Понятно, что шаг квантования δ будет различным при различных уровнях. При малых уровнях сигнала шаг небольшой, при больших он увеличивается. На практике же неравномерное квантование практически не используется. Вместо этого применяют компрессоры, причем американцы используют μ-компрессоры, европейцы - А-компрессоры.Характеристика компрессора показана на рисунке 3. [6]  
  
  
  
Рис. 3 - Амплитудная характеристика компрессора

Для восстановления ужатого динамического диапазона используют декомпрессор или экспандер. Понятно, что амплитудная характеристика экспандера обратна компрессору.   
Кодирование - это сопоставление элементов сигнала с некоторой кодовой комбинацией символов. Широко используется двоичный код. 

## Основные типы АЦП

**Аналого-цифровой преобразователь** (*АЦП*, [англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Analog-to-digital converter, ADC*) — устройство, преобразующее входной [аналоговый сигнал](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) в дискретный код ([цифровой сигнал](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB)).

Как правило, АЦП — [электронное](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) устройство, преобразующее [напряжение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) в двоичный цифровой код. Тем не менее, некоторые неэлектронные устройства с цифровым выходом следует также относить к АЦП, например, некоторые типы [преобразователей угол-код](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA_%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B0). Простейшим одноразрядным двоичным АЦП является [компаратор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80)[1].

По способу применяемых алгоритмов АЦП делят на:

* [Последовательные прямого преобразования](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%A6%D0%9F_%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F)
* Последовательного приближения
* Последовательные с сигма-дельта-модуляцией
* Параллельные одноступенчатые
* Параллельные двух- и более ступенчатые (конвейерные)

АЦП первых двух типов подразумевают обязательное применение в своем составе [устройства выборки и хранения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2%D1%8B%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BA%D0%B8_%D0%B8_%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (УВХ). Это устройство служит для запоминания аналогового значения сигнала на время, необходимое для выполнения преобразования. Без него результат преобразования АЦП последовательного типа будет недостоверным. Выпускаются интегральные АЦП последовательного приближения, как содержащие в своем составе УВХ, так и требующие внешнее УВХ.[5]

### 1.2.1Линейные АЦП

Большинство АЦП считаются [линейными](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)&action=edit&redlink=1), хотя аналого-цифровое преобразование, по сути, является нелинейным процессом (поскольку операция отображения непрерывного пространства в дискретное — операция нелинейная).[5]

Термин линейный применительно к АЦП означает, что диапазон входных значений, отображаемый на выходное цифровое значение, связан по линейному закону с этим выходным значением, то есть выходное значение *k* достигается при диапазоне входных значений от

*m*(*k* + *b*)

до

*m*(*k* + 1 + *b*),

где m и b — некоторые константы. Константа b, как правило, имеет значение 0 или −0.5. Если b = 0, АЦП называют квантователь с ненулевой ступенью (mid-rise), если же b = −0,5, то АЦП называют квантователь с нулём в центре шага квантования (mid-tread).

### 1.2.2 Нелинейные АЦП

Если бы [плотность вероятности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8) амплитуды входного сигнала имела [равномерное распределение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), то отношение сигнал/шум (применительно к шуму квантования) было бы максимально возможным. По этой причине обычно перед квантованием по амплитуде сигнал пропускают через безынерционный преобразователь, передаточная функция которого повторяет [функцию распределения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) самого сигнала. Это улучшает достоверность передачи сигнала, так как наиболее важные области амплитуды сигнала квантуются с лучшим разрешением. Соответственно, при цифро-аналоговом преобразовании потребуется обработать сигнал функцией, обратной функции распределения исходного сигнала.[1]

Это тот же принцип, что и используемый в [компандерах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80), применяемых в магнитофонах и различных коммуникационных системах, он направлен на максимизацию [энтропии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%8F).

Например, голосовой сигнал имеет [лапласово распределение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%9B%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B0" \o "Распределение Лапласа) амплитуды. Это означает, что окрестность нуля по амплитуде несёт больше информации, чем области с большей амплитудой. По этой причине логарифмические АЦП часто применяются в [системах передачи голоса](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B8_%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%B0&action=edit&redlink=1) для увеличения динамического диапазона передаваемых значений без изменения качества передачи сигнала в области малых амплитуд.

8-битные логарифмические АЦП с [a-законом](https://ru.wikipedia.org/wiki/A-%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD) или [μ-законом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8E-%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD) обеспечивают широкий [динамический диапазон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BD_(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) и имеют высокое разрешение в наиболее критичном диапазоне малых амплитуд; линейный АЦП с подобным качеством передачи должен был бы иметь разрядность около 12 бит.[1]

## Характеристики АЦП

АЦП имеет множество характеристик, из которых основными являются:

* Частота преобразования.
* Разрядность.

Частота преобразования обычно выражается в отсчетах в секунду (samples per second, SPS), разрядность – в битах. Современные АЦП могут иметь разрядность до 24 бит и скорость преобразования до единиц GSPS (конечно, не одновременно). Чем выше скорость и разрядность, тем труднее получить требуемые характеристики, тем дороже и сложнее преобразователь. Скорость преобразования и разрядность связаны друг с другом определенным образом, и мы можем повысить эффективную разрядность преобразования, пожертвовав скоростью.[2]

# РАЗДЕЛ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ АЦП ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ И СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП.

## 2.1 АЦП прямого преобразования.

АЦП имеет множество характеристик, из которых основными можно назвать частоту преобразования и разрядность. Частота преобразования обычно выражается в отсчетах в секунду (samples per second, SPS), разрядность – в битах. Современные АЦП могут иметь разрядность до 24 бит и скорость преобразования до единиц GSPS (конечно, не одновременно). Чем выше скорость и разрядность, тем труднее получить требуемые характеристики, тем дороже и сложнее преобразователь. Скорость преобразования и разрядность связаны друг с другом определенным образом, и мы можем повысить эффективную разрядность преобразования, пожертвовав скоростью.[2]

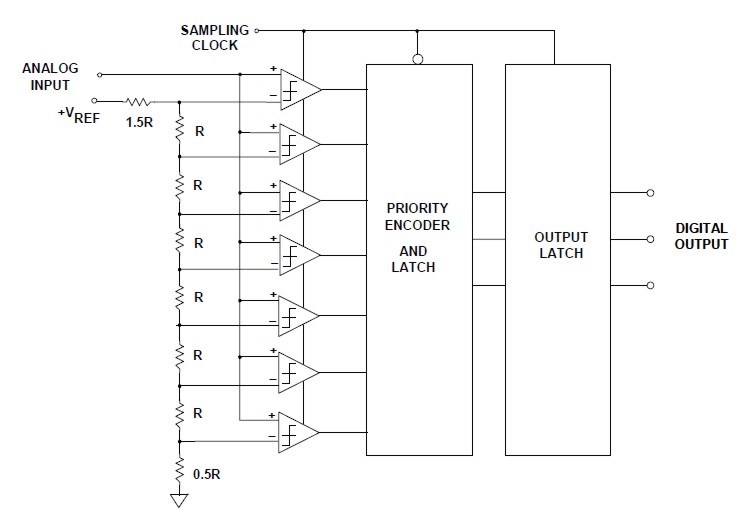
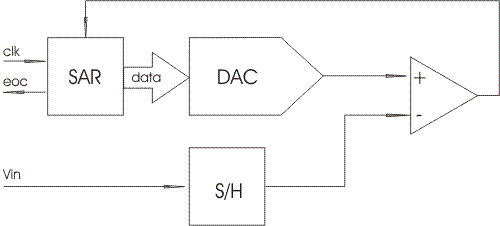


Рис.4 Структурная схема АЦП прямого преобразования

Принцип действия АЦП предельно прост: входной сигнал поступает одновременно на все «плюсовые» входы компараторов, а на «минусовые» подается ряд напряжений, получаемых из опорного путем деления резисторами R. Для схемы на рис. 1 этот ряд будет таким: (1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16) Uref, где Uref – опорное напряжение АЦП.  
  
Пусть на вход АЦП подается напряжение, равное 1/2 Uref. Тогда сработают первые 4 компаратора (если считать снизу), и на их выходах появятся логические единицы. Приоритетный шифратор (priority encoder) сформирует из «столбца» единиц двоичный код, который фиксируется выходным регистром.[4]  
  
Теперь становятся понятны достоинства и недостатки такого преобразователя. Все компараторы работают параллельно, время задержки схемы равно времени задержки в одном компараторе плюс время задержки в шифраторе. Компаратор и шифратор можно сделать очень быстрыми, в итоге вся схема имеет очень высокое быстродействие.  
  
Но для получения N разрядов нужно 2^N компараторов (и сложность шифратора тоже растет как 2^N). Схема на рис. 1. содержит 8 компараторов и имеет 3 разряда, для получения 8 разрядов нужно уже 256 компараторов, для 10 разрядов – 1024 компаратора, для 24-битного АЦП их понадобилось бы свыше 16 млн. Однако таких высот техника еще не достигла[2].

## 2.1. АЦП последовательного приближения

АЦП последовательного приближения реализует алгоритм «взвешивания», восходящий еще к Фибоначчи. В своей книге «Liber Abaci» (1202 г.) Фибоначчи рассмотрел «задачу о выборе наилучшей системы гирь», то есть о нахождении такого ряда весов гирь, который бы требовал для нахождения веса предмета минимального количества взвешиваний на рычажных весах. Решением этой задачи является «двоичный» набор гирь. Аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения (SAR, Successive Approximation Register) измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных «взвешиваний», то есть сравнений величины входного напряжения с рядом величин, генерируемых следующим образом:  
  
1. на первом шаге на выходе встроенного цифро-аналогового преобразователя устанавливается величина, равная 1/2Uref (здесь и далее мы предполагаем, что сигнал находится в интервале (0 – Uref).  
2. если сигнал больше этой величины, то он сравнивается с напряжением, лежащим посередине оставшегося интервала, т.е., в данном случае, 3/4Uref. Если сигнал меньше установленного уровня, то следующее сравнение будет производиться с меньшей половиной оставшегося интервала (т.е. с уровнем 1/4Uref).  
3. Шаг 2 повторяется N раз. Таким образом, N сравнений («взвешиваний») порождает N бит результата.[3]  
  
  
  
 Рис. 6. Структурная схема АЦП последовательного приближения.

Таким образом, АЦП последовательного приближения состоит из следующих узлов:  
  
1. Компаратор. Он сравнивает входную величину и текущее значение «весового» напряжения (на рис. 2. обозначен треугольником).  
2. Цифро-аналоговый преобразователь (Digital to Analog Converter, DAC). Он генерирует «весовое» значение напряжения на основе поступающего на вход цифрового кода.  
3. Регистр последовательного приближения (Successive Approximation Register, SAR). Он осуществляет алгоритм последовательного приближения, генерируя текущее значение кода, подающегося на вход ЦАП. По его названию названа вся данная архитектура АЦП.  
4. Схема выборки-хранения (Sample/Hold, S/H). Для работы данного АЦП принципиально важно, чтобы входное напряжение сохраняло неизменную величину в течение всего цикла преобразования. Однако «реальные» сигналы имеют свойство изменяться во времени. Схема выборки-хранения «запоминает» текущее значение аналогового сигнала, и сохраняет его неизменным на протяжении всего цикла работы устройства.[3]  
  
Достоинством устройства является относительно высокая скорость преобразования: время преобразования N-битного АЦП составляет N тактов. Точность преобразования ограничена точностью внутреннего ЦАП и может составлять 16-18 бит (сейчас стали появляться и 24-битные SAR ADC, например, AD7766 и AD7767).[3]

## 2.3 Сигма-дельта АЦП.

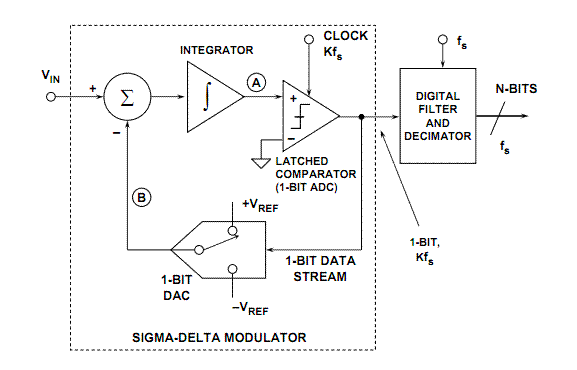
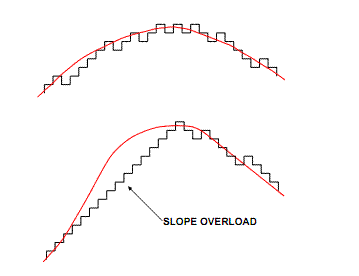
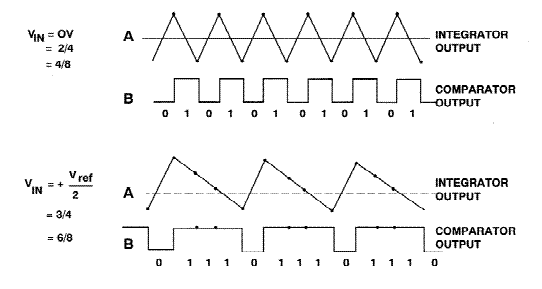
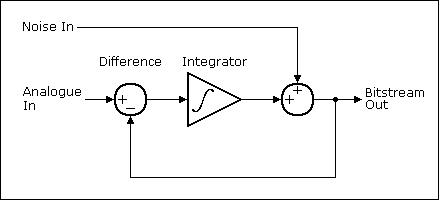
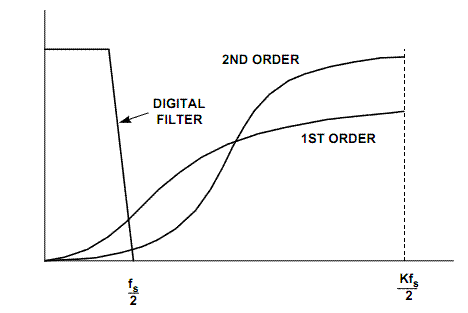
И, наконец, самый интересный тип АЦП – сигма-дельта АЦП, иногда называемый в литературе АЦП с балансировкой заряда. Структурная схема сигма-дельта АЦП приведена на рисунке 7.  
  


Рис.7. Структурная схема сигма-дельта АЦП.

Принцип действия данного АЦП несколько более сложен, чем у других типов АЦП. Его суть в том, что входное напряжение сравнивается со значением напряжения, накопленным интегратором. На вход интегратора подаются импульсы положительной или отрицательной полярности, в зависимости от результата сравнения. Таким образом, данный АЦП представляет собой простую следящую систему: напряжение на выходе интегратора «отслеживает» входное напряжение (рис. 4). Результатом работы данной схемы является поток нулей и единиц на выходе компаратора, который затем пропускается через цифровой ФНЧ, в результате получается N-битный результат. ФНЧ на рис. 8. Объединен с «дециматором», устройством, снижающим частоту следования отсчетов путем их «прореживания».[3]  
  
  
  
 Рис. 8. Сигма-дельта АЦП как следящая система  
  
Ради строгости изложения, нужно сказать, что на рис. 3 изображена структурная схема сигма-дельта АЦП первого порядка. Сигма-дельта АЦП второго порядка имеет два интегратора и две петли обратной связи.  
На рис. 9 показаны сигналы в АЦП при нулевом уровне на входе (сверху) и при уровне Vref/2 (снизу).[6]  
  
  
  
 Рис. 9. Сигналы в АЦП при разных уровнях сигнала на входе.  
  
Теперь, не углубляясь в сложный математический анализ, попробуем понять, почему сигма-дельта АЦП обладают очень низким уровнем собственных шумов.  
  
Рассмотрим структурную схему сигма-дельта модулятора, изображенную на рис. 7, и представим ее в таком виде (рис. 10):  
  
  
 Рис. 10. Структурная схема сигма-дельта модулятора  
Здесь компаратор представлен как сумматор, который суммирует непрерывный полезный сигнал и шум квантования.  
  
Пусть интегратор имеет передаточную функцию 1/s. Тогда, представив полезный сигнал как X(s), выход сигма-дельта модулятора как Y(s), а шум квантования как E(s), получаем передаточную функцию АЦП:  
  
Y(s) = X(s)/(s+1) + E(s)s/(s+1) [3]  
  
То есть, фактически сигма-дельта модулятор является фильтром низких частот (1/(s+1)) для полезного сигнала, и фильтром высоких частот (s/(s+1)) для шума, причем оба фильтра имеют одинаковую частоту среза. Шум, сосредоточенный в высокочастотной области спектра, легко удаляется цифровым ФНЧ, который стоит после модулятора.[3]  
  
  
  
 Рис. 12. Явление «вытеснения» шума в высокочастотную часть спектра  
Однако следует понимать, что это чрезвычайно упрощенное объяснение явления вытеснения шума (noise shaping) в сигма-дельта АЦП.  
  
Итак, основным достоинством сигма-дельта АЦП является высокая точность, обусловленная крайне низким уровнем собственного шума. Однако для достижения высокой точности нужно, чтобы частота среза цифрового фильтра была как можно ниже, во много раз меньше частоты работы сигма-дельта модулятора. Поэтому сигма-дельта АЦП имеют низкую скорость преобразования.  
  
Они могут использоваться в аудиотехнике, однако основное применение находят в промышленной автоматике для преобразования сигналов датчиков, в измерительных приборах, и в других приложениях, где требуется высокая точность. но не требуется высокой скорости.[5]

# РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.

## 3.1 Применение АЦП в звукозаписи.

АЦП встроены в большую часть современной звукозаписывающей аппаратуры, поскольку обработка звука делается, как правило, на компьютерах; даже при использовании аналоговой записи АЦП необходим для перевода сигнала в [PCM](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)-поток, который будет записан на информационный носитель.

Современные АЦП, используемые в звукозаписи, могут работать на частотах дискретизации до 192 [кГц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%93%D1%86), и даже до 384 [кГц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%93%D1%86) при 32 bit. Это оправдано, так как новейшие исследования показали что человек слышит до 60 кГц, а не до 20 кГц как считалось ранее,и чтобы записать без искажений сигналы до 60 кГц, нужна повышенная частота дискретизации. К тому же известно, что спектральный состав звука "трубы с сурдинкой" идет выше 20 кГц, уровень не падает ниже уровня шумов вплоть до 100 кГц, подобный результат получается и для инструментов из других музыкальных семейств, например, скрипка и гобой показывают наличие энергии выше 40 кГц, ударные генерируют самое большое количество ультразвука. [1] Удар в тарелки показал 40 % энергии выше 20 кГц, а треугольник, как оказалось, довольно сильно звучит на 100 кГц. Для [Hi-Fi](https://ru.wikipedia.org/wiki/Hi-Fi" \o "Hi-Fi)-аудиотехники в настоящее время используется частота дискретизации 44,1 кГц (стандартная для компакт-дисков) или 48 кГц (типична для представления звука в компьютерах). Однако широкая полоса упрощает и удешевляет реализацию антиалиасинговых фильтров, позволяя делать их с меньшим числом звеньев или с меньшей крутизной в полосе заграждения, что положительно сказывается на фазовой характеристике фильтра в полосе пропускания. Японские исследователи во главе с Т. Оохаши провели эксперименты с широкополосными записями с частотами до 60 кГц, причем супертвитер (ВЧ-излучатель с расширенным в сторону высоких диапазоном) можно было включать и отключать. Отслеживая активность деятельности мозга испытуемых и анализируя субъективные оценки при прослушивании вслепую, они пришли к выводу, что слушатели действительно реагировали на ультразвуковые составляющие музыки. В свободной продаже появились широкополосные акустические системы с верхней частотой до 80 кГц.[1]

Также избыточная полоса пропускания АЦП позволяет соответственно снизить амплитудные искажения, неизбежно возникающие из-за наличия схемы выборки и хранения. Такие искажения (нелинейность [АЧХ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%A7%D0%A5)) имеют вид sin(x)/x и относятся ко всей полосе пропускания, поэтому чем меньшая часть полосы пропускания (по частоте) используется (занята полезным сигналом), тем меньше данные искажения.

Аналого-цифровые преобразователи для звукозаписи имеют широкий диапазон цен — от 5 до 10 тыс. долл. и выше за двухканальный АЦП.

АЦП для звукозаписи, используемые в компьютерах, бывают внутренние и внешние. Также существует [свободный программный](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) комплекс [PulseAudio](https://ru.wikipedia.org/wiki/PulseAudio" \o "PulseAudio) для Linux, позволяющий использовать вспомогательные компьютеры как внешние ЦАП/АЦП для основного компьютера с гарантированным временем запаздывания.[1]

## 3.2 Применение АЦП в системах связи

Аналоговые телефонные системы связи достаточно просты в реализации и получили очень широкое распространение во всем мире. Однако передача речи в аналоговом виде обладает рядом недостатков, основными из которых является низкая помехоустойчивость и энергетическая эффективность. Эти факторы, а также рост потребности абонентов в новых дополнительных услугах, в том числе и передачи данных, дали толчок к появлению первых цифровых систем телефонии.[4]

Для передачи речевого сигнала по цифровому каналу связи необходима процедура аналого-цифрового преобразования (АЦП), которая состоит из 3 этапов: дискретизация, квантование и кодирование. Для речевого сигнала частота дискретизации должна быть 8 кГц. Далее значения сигнала округляются до ближайшего из заранее заданного набора, т.е. проводится процедура квантования. При этом, чем больше будет использоваться уровней, тем более точно можно будет восстановить сигнал к исходной форме на приемном конце. После этого значения сигнала кодируются двоичным кодом. Далее кодированные значения передаются по всем правилам передачи цифровых сигналов. При этом возможно применение различных методов шифрования, помехоустойчивого кодирования, сжатия и т.п. В конце цифрового тракта применяется обратная процедура – аналого-цифровое преобразование (ЦАП). Цель которой - получить аналоговый сигнал, максимально похожий на исходный.[3]

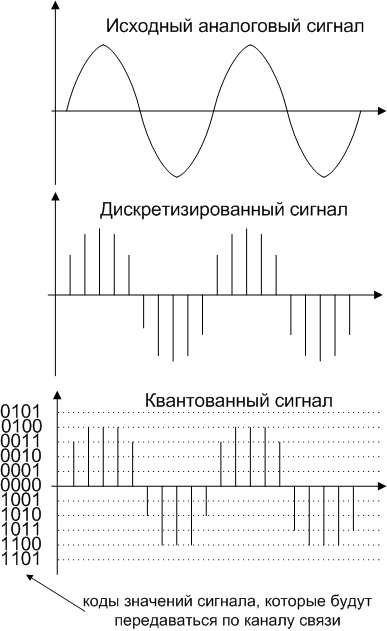


Рис.13.Этапы аналого-цифрового преобразования

Одной из первых систем цифровой телефонии является ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть интегрального обслуживания. Данный стандарт подразумевает для передачи одного речевого сигнала канал со скоростью 64 кбит/сек. Эта скорость выбрана исходя из частоты дискретизации 8 кГц (см. выше), а также 8 битного шифрования значений сигнала (256 возможных уровней). Такие параметры позволяют обеспечить достаточное восстановление сигнала в аналоговую форму, чтобы собеседники могли понимать 90% отдельных слов и 99% фраз.[2]

Начиная со [второго поколения](http://celnet.ru/2G.php) сотовой связи все стандарты предусматривают передачу информации только в цифровом виде, т.е. являются цифровыми системами. Это позволяет предоставлять широкий перечень высококачественных услуг, обеспечивать высокую энергетическую эффективность работы сети и безопасность.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогово-цифровой преобразователь - один из самых важных электронных компонентов в измерительном оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия. Даже при работе только с цифровыми сигналами, скорее всего Вы используете АЦП в составе осциллографа, чтобы узнать их аналоговые характеристики.

В данной курсовой работе были подробно рассмотрены характеристики, принцип работы и типы АЦП.

Были указаны некоторые области применения АЦП. Аналого-цифровые преобразователи широко применяются в измерительной технике, бытовой аппаратуре, компьютерной технике, радиолокационных устройствах, медицинской технике, телефонии и других областях.

Аналого-цифровой преобразователь является неотъемлемой частью любой системы. Принципиально не исключена возможность непосредственного преобразования различных физических величин в цифровую форму, однако эту задачу удается решить лишь в редких случаях из-за сложности таких преобразователей. Поэтому в настоящее время наиболее рациональным признается способ преобразования различных по физической природе величин сначала в функционально связанные с ними электрические, а затем уже с помощью преобразователей напряжение-код - в цифровые.

На основе проведенного мной анализа АЦП данную курсовую работу можно использовать как начальное пособие или ознакомление с аналого-цифровым преобразователем.

# БИБЛИОГРАФИЯ

1.Википедия. [Электронный ресурс]

URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9\_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C

дата обращения (26.12.2016).

2. Балакай В.Г Интегральные схемы аналого-цифровых преобразователей /Балакай В.Г,Крюк И.П.,Лукьянов Л.М.; Под ред.Лукьянова Л.М. .-М: Энергия, 2008 .-257с. .- Библиогрс.251-256.

3. Гельман М.М. Аналого-цифровые преобразователи для информационно-измерительных систем /Гельман М.М. .-М.: Изд-во стандартов, 2009 .-317с.

4. Бирюков С.А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах /Бирюков С.А. .-М.: Радио и связь, 2007 .-129с.: ил. .-(Массовая радиобиблиотека;Вып.1132).

5. Букреев И.Н. Микроэлектронные схемы цифровых устройств /Букреев И.Н. ,Горячев В.И.,Мансуров Б.М. .-3-е изд., перераб. и доп. .-М. : Радио и связь, 2009 .-416с.

6. Гольденберг Л.М. Цифровые устройства на интегральных схемах в технике связи /Гольденберг Л.М.,Бутильский Л.М.,Поляк М.Н. .-М: Связь, 2009 .-232с.

7. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник /Шило В.Л. .-М.: Металлургия, 2008 .-349с. .-(Массовая радиобиблиотека;Вып.1111).

8. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов /Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др.; Под ред.Иванова В.И. .-М.: Радио и связь, 2007 .-232с.: ил. .-Библиогр.:с.229-230 .-ISBN 5-256-01226-6.