

621.3.087

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Каюков И.Ю.¹

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, e-mail:

Igoryn.Kayukov@yandex.ru

Аннотация. 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. 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. Аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговые сигналы в соответствующие им цифровые сигналы. Аналоговый сигнал может представляться определенным количеством амплитудных значений. Амплитуда измеряется через определенный промежуток времени. Соответствующие цифровые значения по очереди сохраняются и все вместе образуют цифровой сигнал. Иными словами, цифровой сигнал изменяющейся во времени величины представляет собой последовательность чисел. Эти числа могут быть представлены в любой системе счисления или коде. Чаще всего АЦП выдает результат в двоичной системе счисления или в двоично-десятичном коде. В данной работе рассматриваются принципы работы АЦП и его структурная схема.

Ключевые слова: Аналого-цифровой преобразователь, цифровой сигнал, АЦП, двоичный код, измерение сигнала.

621.3.087

ANALOG TO DIGITAL CONVERSION

Kayukov I.Yu.¹

¹Samara State Technical University, Samara, e-mail: Igoryn.Kayukov@yandex.ru

Annotation. Analog-to-digital conversion is the process of converting an input physical quantity into its numerical representation. An analog-to-digital converter is a device that performs such a conversion. Formally, the input value of the ADC can be any physical quantity - voltage, current, resistance, capacitance, pulse repetition rate, shaft rotation angle, etc. However, for definiteness, in the future, by ADC we will understand only voltage-to-code converters. The concept of analog-to-digital conversion is closely related to the concept of measurement. Measurement is understood as the process of comparing the measured value with some standard, with analog-to-digital conversion, the input value is compared with some reference value (usually, with a reference voltage). Thus, analog-to-digital conversion can be considered as a measurement of the value of the input signal, and all the concepts of metrology, such as measurement errors, apply to it. An analog-to-digital

converter converts analog signals into their corresponding digital signals. An analog signal can be represented by a certain number of amplitude values. The amplitude is measured after a certain period of time. The corresponding digital values are stored in turn and collectively form a digital signal. In other words, a time-varying digital signal is a sequence of numbers. These numbers can be represented in any number system or code. Most often, the ADC outputs the result in binary or BCD. This paper discusses the principles of ADC operation and its block diagram.

Keywords: Analog-to-digital converter, digital signal, ADC, binary code, signal measurement.

Аналого-цифровое преобразование – это процесс преобразования входной физической величины в ее числовое представление. [1]

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – устройство, преобразующее значение непрерывной аналоговой величины в эквивалентный ей цифровой код.

Формально, входной величиной АЦП может быть любая физическая величина – напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т.п. [1]

Измерение - процесс сравнения измеряемой величины с некоторым эталоном, при аналого-цифровом преобразовании происходит сравнение входной величины с некоторой опорной величиной.

Аналого-цифровое преобразование играет важную роль в современной электронной индустрии. АЦП позволяет получить цифровой код из непрерывного входного аналогового сигнала. [1]

Область применения аналого-цифрового преобразования:

- 1) Цифровые измерительные приборы
- 2) Системы радиосвязи
- 3) Автоматизированные системы контроля и управления
- 4) Системы преобразования и отображения данных
- 5) Программируемые источники сигналов
- 6) Звукозаписывающая аппаратура
- 7) Аудио и видео аппаратура
- 8) Антенные системы базовых станций

Потребность в аналого-цифровых преобразователях стимулирует их разработку и изготовление с новыми, более совершенными характеристиками, что в свою очередь приводит к возникновению новых областей применения. [1]

АЦП, как правило, устанавливаются в цепях обратных связей цифровых систем управления для преобразования аналоговых сигналов обратных связей в коды,

воспринимаемые цифровой частью системы. Т.е. АЦП выполняют несколько функций, таких как: временная дискретизация, квантование по уровню, кодирование.

Обобщенная структурная схема АЦП представлена См. Рисунок 1. [1]

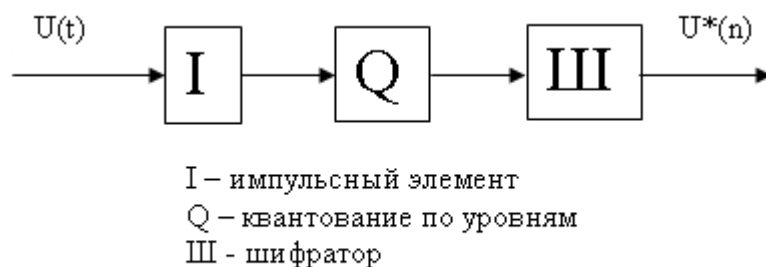


Рис. 3.1

Рисунок 1 - Обобщенная структурная схема АЦП

Аналого-цифровое преобразование включает в себя:

1. Дискретизацию исходных аналоговых данных по времени, то есть происходит выборка значений входного аналогового сигнала в определенные дискретные моменты времени.
2. Квантование полученных значений по уровню (амплитуде), то есть округление значений непрерывной функции до известных величин.
3. Оцифровка квантованных данных, то есть замена полученных данных цифровым кодом. [2]

Основным и наиболее важным электронным компонентом измерительных и тестовых систем являются аналого-цифровые преобразователи, их точность определяет прецизионность тестового оборудования.

Функция АЦП заключается в преобразовании входного аналогового сигнала в цифровой (дискретный) код, который в последствие поступает на различные цифровые блоки схемы, выполняющие необходимые операции с полученными данными.

Из этого следует, что преобразование есть не что иное, как изменение значения входной величины.

Разрешающая способность и скорость преобразования являются определяющими параметры АЦП. В зависимости от данных параметров определяется тип архитектуры АЦП, который будет в последствие изготовлен для той или иной системе.

Для того, что бы получить наиболее точное преобразования входного сигнала, на практике обычно использует максимально возможную частоту преобразования АЦП. Во время преобразования спектр входного сигнала состоит не только из «полезных» данных, но

в сигнале возможно наличие различных искажений, которые могут быть вызваны высокочастотными шумами.

Для того что бы исключить помехи из «полезного» сигнала используют различные фильтры. [2]

Основные параметры АЦП представлены См. Таблицу 1.

Таблица 1 - Основные параметры АЦП

Статические	Динамические
Разрешающая способность	Максимальная частота дискретизации
Погрешность полной шкалы	Время преобразования
Погрешность смещения нуля	Время выборки
Погрешность линейности	
Нелинейность	
Дифференциальная нелинейность	
Монотонность характеристики преобразования	
Температурная нестабильность	

Процедура преобразования

Фактически это сложный процесс, который состоит из двух основных этапов:

1. Дискретизация сигнала.
2. Квантование по уровню.

Дискретизация сигнала - это определения промежутков времени, на которых измеряется сигнал, преобразование непрерывной функции в дискретную. Чем короче эти промежутки – тем точнее измерение. Периодом дискретизации (T) называется отрезок времени от начала считывания данных до его конца. Частота дискретизации (f) – это обратная величина:

После считывания сигнала происходит его обработка и сохранение в память. [3]

За время, которое считываются и обрабатываются показания сигнала, он может измениться, таким образом, происходит искажение измеряемой величины.

По теореме Котельникова: Частота дискретизации должны быть как минимум в 2 раза больше чем частота дискретизируемого сигнала. [3]

График дискретизации непрерывной функции представлен См. Рисунок 2.

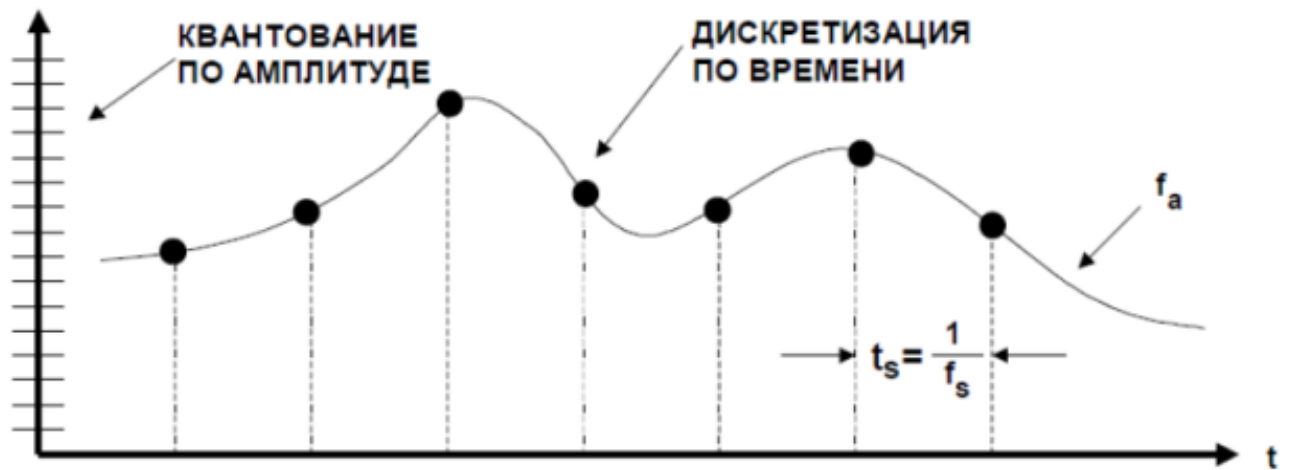


Рисунок 2 - График дискретизации непрерывной функции

Задача дискретизации заключается в том, что непрерывность во времени аналогового сигнала преобразуется в последовательность цифровых импульсов, уровни которых определяются благодаря весовым функциям (квантование).

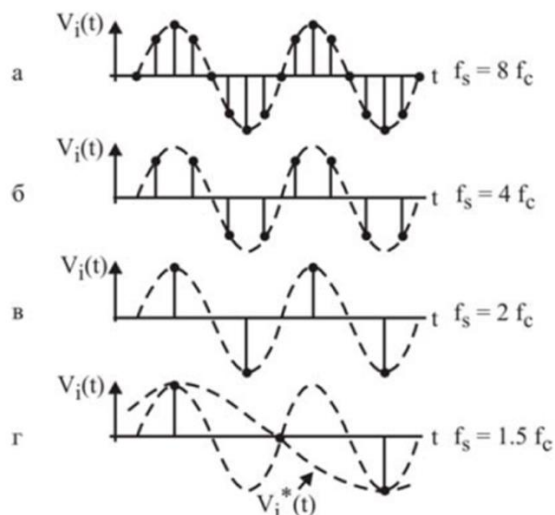


Рисунок 3 – Примеры разбиения на интервалы непрерывной функции

Точность преобразования аналогового сигнала прямо пропорциональна интервалам разбиения непрерывной функции. Значения дискретного входного сигнала определяются дискретными значениями интервалов времени.

Теорема Найквиста: Непрерывная функция может быть полностью восстановлена без потери данных по своим дискретным отсчетам только в том случае, если частота дискретизации больше чем в 2 раза максимальной частоты спектра входного сигнала. [3]

Для определения численного значения необходимо квантование по уровню.

Квант – это определенный промежуток измеряемых значений, усреднено приведенный к определенному числу.

$$X_1 \dots X_2 = X_y$$

Т.е. сигналы величиной от X_1 до X_2 , условно приравниваются к определенному значению X_y .

Получается, чем больше квантов, тем более точные измерения и тем больше знаков после запятой они могут содержать. [3]

Число знаков после запятой определяется *разрядностью АЦП*.

Количество уровней квантования определяется по формуле:

$$N = 2^n, \text{ где } n \text{ — количество разрядов, } N \text{ — уровень квантования.}$$

Типы АЦП

Рассмотрим основные виды АЦП следующих типов:

1. АЦП параллельного преобразования (прямого преобразования, flash ADC)
2. АЦП последовательного приближения (SAR ADC)
3. дельта-сигма АЦП (АЦП с балансировкой заряда)

АЦП прямого преобразования

Они часто используются в составе «конвейерных» АЦП, и имеют разрядность 6-8 бит.

[4]

Архитектура АЦП прямого преобразования изображена на рисунке 4.

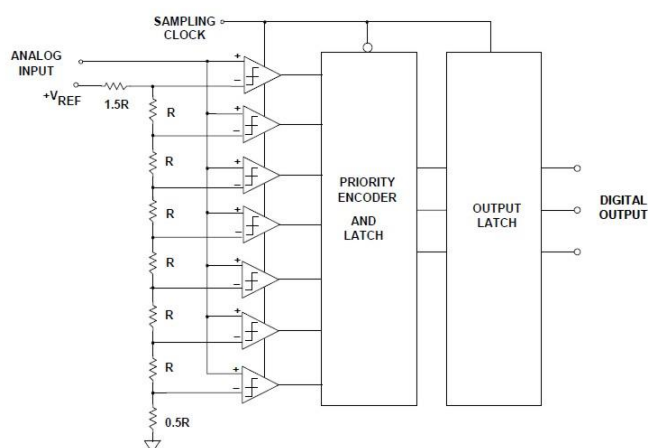


Рисунок 4 - Архитектура АЦП прямого преобразования

Принцип действия АЦП: входной сигнал поступает одновременно на все «плюсовые» входы компараторов, а на «минусовые» подается ряд напряжений, получаемых из опорного путем деления резисторами R.

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. [4]

АЦП последовательного приближения

Аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных «взвешиваний», то есть сравнений величины входного напряжения с рядом величин.

Архитектура АЦП последовательного приближения представлена См. Рисунок 5.

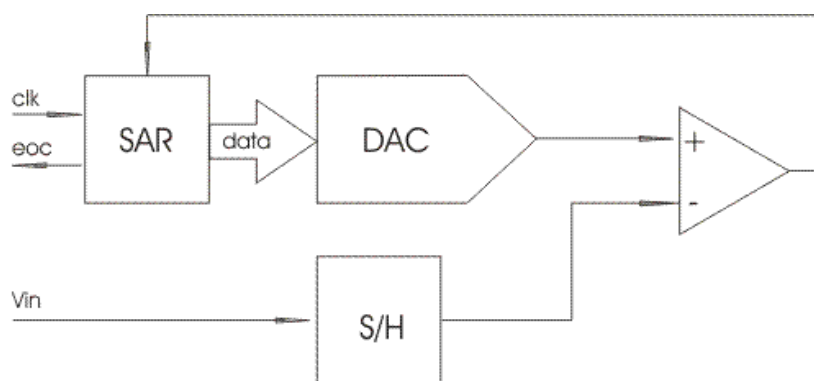


Рисунок 5 - Архитектура АЦП последовательного приближения

Таким образом, АЦП последовательного приближения состоит из следующих узлов:

- 1) Компаратор
- 2) Цифро-аналоговый преобразователь
- 3) Регистр последовательного приближения
- 4) Схема выборки-хранения

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. [5]

Дельта-сигма АЦП

Принцип действия: 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, представлен на рисунке 6, представляет собой простую следящую систему: напряжение на выходе интегратора «отслеживает» входное напряжение.

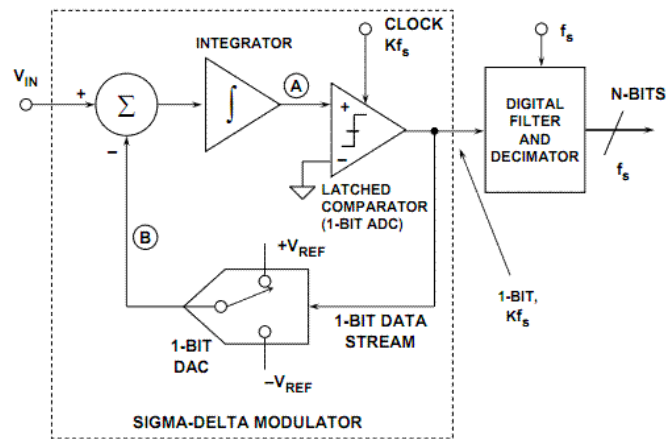


Рисунок 6 - Архитектура дельта – сигма АЦП

Основным достоинством является высокая точность, обусловленная крайне низким уровнем собственного шума, но сигма-дельта АЦП имеют низкую скорость преобразования. [5]

АЦП является одним из основных компонентов электроники, которые главным образом применяются для совместного сопряжения цифровых блоков и систем с внешними аналоговыми сигналами.

С помощью АЦП выполняются операции преобразования аналоговых данных в цифровую форму. В данный момент АЦП может быть изготовлено в интегральной микросхеме.

Список используемых источников

1. Умняшкин С. В. — Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов, ТЕХНОСФЕРА, Москва 2012 (дата обращения: 26.10.2022)
2. Миндеева А. А. — Элементная база аналоговых схем, учебное пособие, 2012 (дата обращения: 26.10.2022)
3. Магеррамов, Р. В. Аналого-цифровое преобразование / Р. В. Магеррамов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 2 (136). — С. 152-155. — URL: <https://moluch.ru/archive/136/38098/> (дата обращения: 26.10.2022).
4. Алексеенко А. Г. — Основы микросхемотехники. 3-е издание, Лаборатория Базовых знаний: Физматлит Юнимедиастал, 2002 (дата обращения: 26.10.2022)
5. Опадчий Ю. Ф., Гуров А. И. — Аналоговая и цифровая электроника, 2005 (дата обращения: 26.10.2022)