

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП, ADC)

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, англ. Analog-to-digital converter, ADC) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Как правило, АЦП — электронное устройство, преобразующее напряжение в двоичный цифровой код.

Разрешение АЦП — минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП — связано с его разрядностью. В случае единичного измерения без учёта шумов разрешение напрямую определяется разрядностью АЦП.

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных АЦП измеряется в битах, в троичных АЦП измеряется в тритах. Например, двоичный АЦП, способный выдать 256 дискретных значений (0...255), имеет разрядность 8 бит.

Разрешение по напряжению равно разности напряжений, соответствующих максимальному и минимальному выходному коду, делённой на количество выходных дискретных значений.

Пример 1

- Диапазон входных значений = от 0 до 10 вольт
- Разрядность двоичного АЦП 12 бит: $2^{12} = 4096$ уровней квантования
- Разрешение двоичного АЦП по напряжению: $(10-0)/4096 = 0,00244$ вольт = 2,44 мВ.

Пример 2

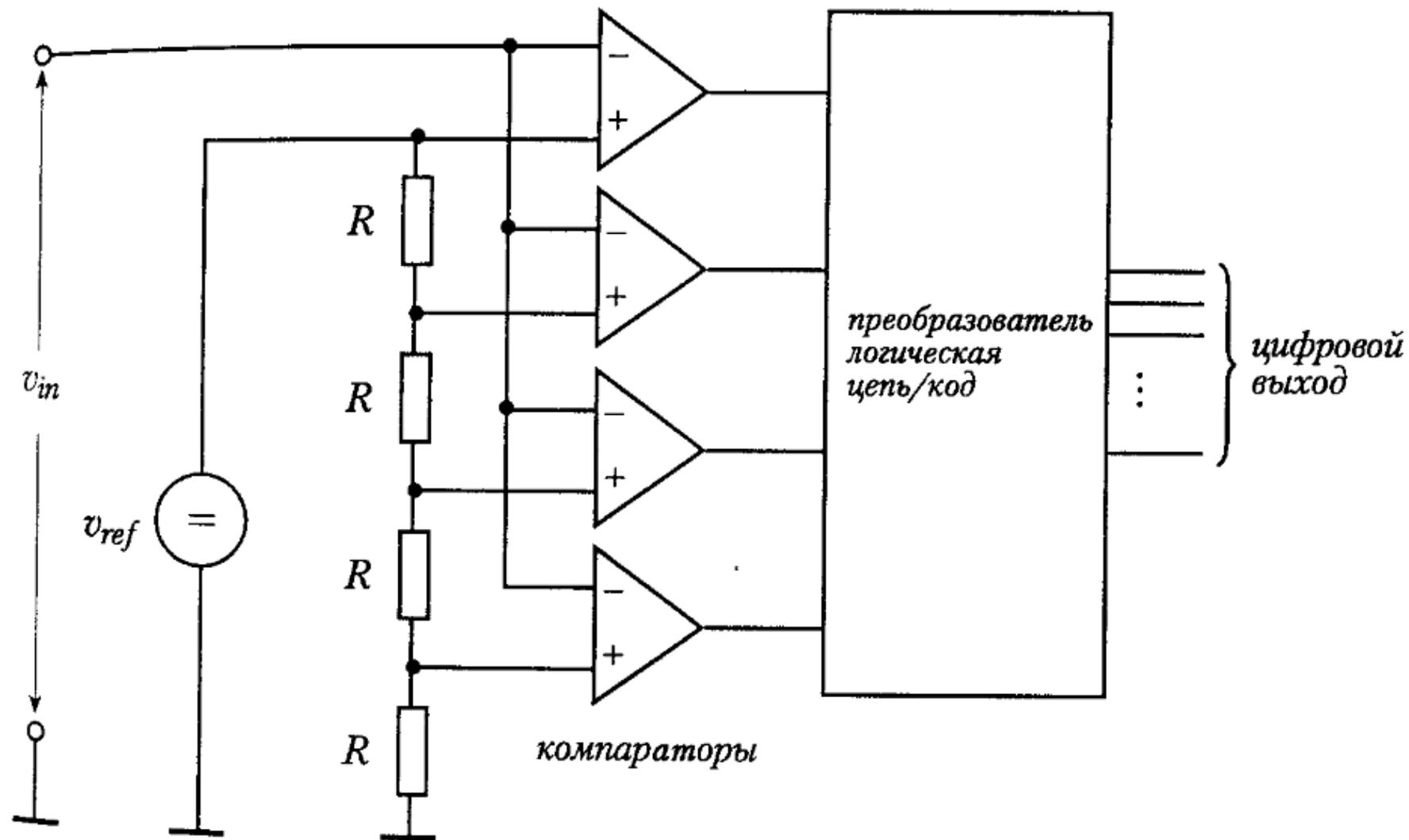
- Диапазон входных значений = от -10 до +10 вольт
- Разрядность двоичного АЦП 14 бит: $2^{14} = 16\,384$ уровней квантования
- Разрешение двоичного АЦП по напряжению: $(10-(-10))/16384 = 20/16384 = 0,00122$ вольт = 1,22 мВ.

На практике разрешение АЦП ограничено отношением сигнал/шум входного сигнала. При большой интенсивности шумов на входе АЦП различение соседних уровней входного сигнала становится невозможным, то есть ухудшается разрешение. При этом реально достижимое разрешение описывается эффективной разрядностью (effective number of bits — ENOB), которая меньше, чем реальная разрядность АЦП. При преобразовании сильно зашумлённого сигнала младшие разряды выходного кода практически бесполезны, так как содержат шум. Для достижения заявленной разрядности отношение С/Ш входного сигнала должно быть примерно 6 дБ на каждый бит разрядности.

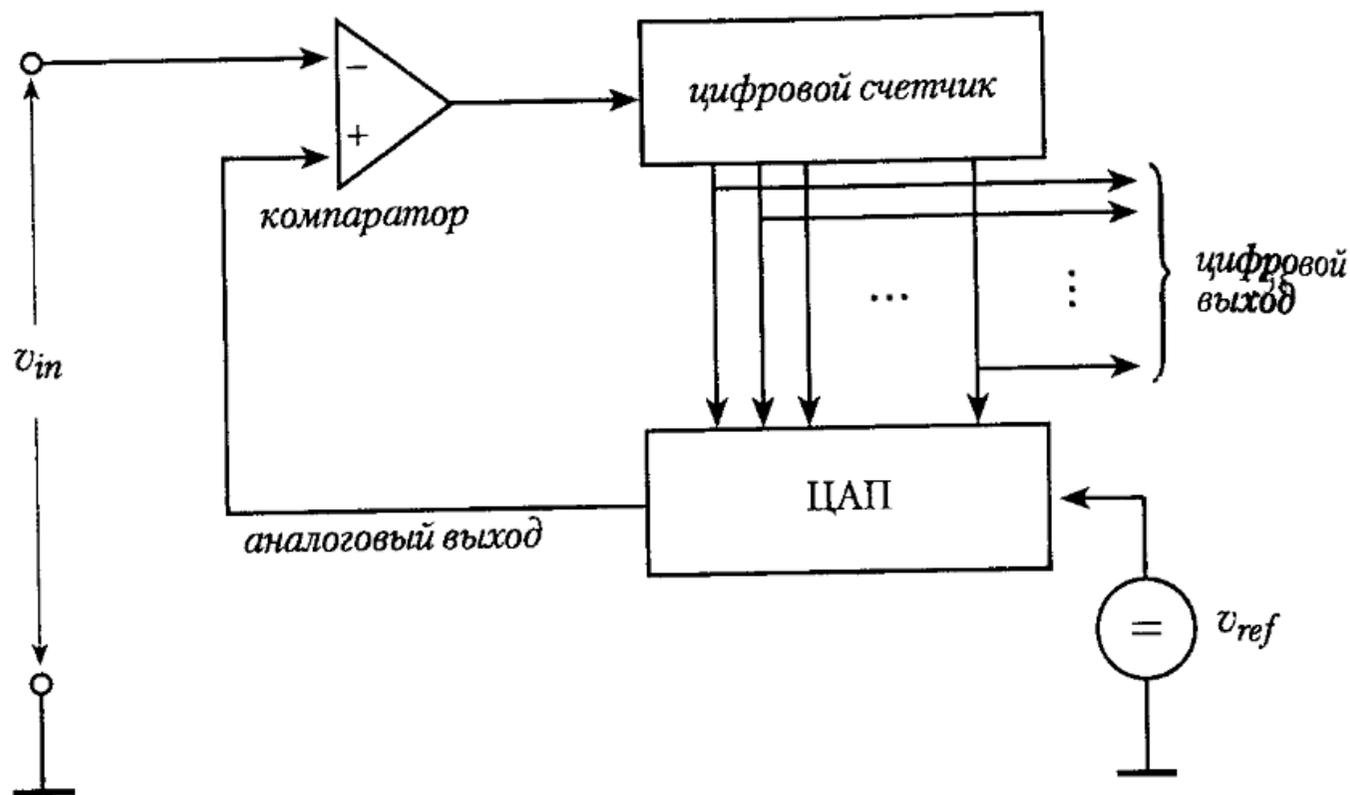
Типы АЦП

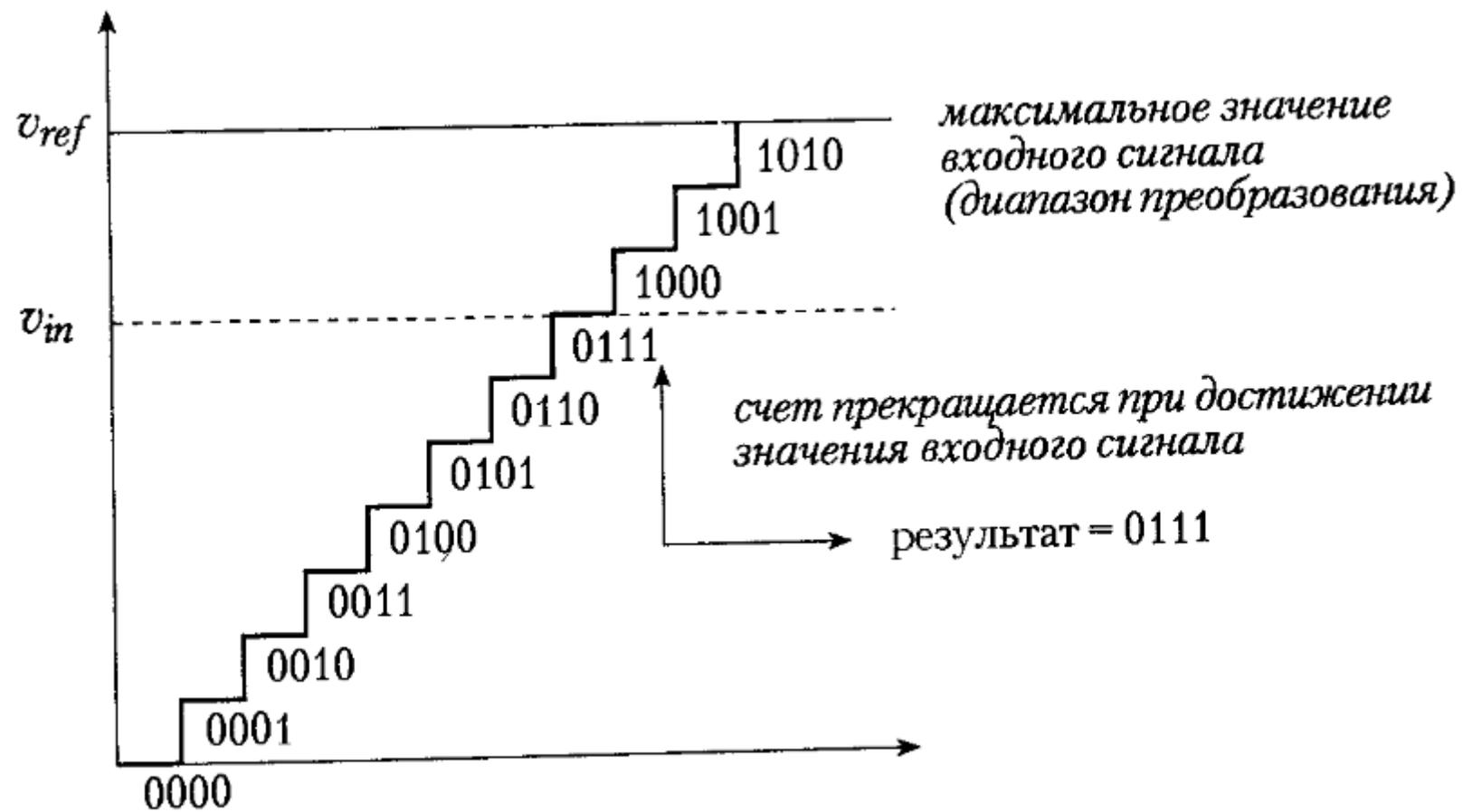
АЦП прямого преобразования или параллельный АЦП - содержит по одному компаратору на каждый дискретный уровень входного сигнала. В любой момент времени только компараторы, соответствующие уровням ниже уровня входного сигнала, выдадут на своём выходе сигнал превышения. Сигналы со всех компараторов поступают на шифратор, генерирующий бинарный цифровой код в зависимости от количества логических единиц, присутствующих на его входе. Данные с шифратора фиксируются в параллельном регистре.

Параллельные АЦП очень быстры, но обычно имеют разрешение не более 8 бит, так как влекут за собой большие аппаратные затраты. АЦП этого типа имеют очень большой размер кристалла микросхемы, высокую входную ёмкость, и могут выдавать кратковременные ошибки на выходе. Часто используются для видео или других высокочастотных сигналов, а также широко применяются в промышленности для отслеживания быстро изменяющихся процессов в реальном времени.



АЦП последовательного приближения (пошагового приближения) содержит компаратор, вспомогательный ЦАП и регистр последовательного приближения. АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой за N шагов, где N — разрядность АЦП. На каждом шаге определяется по одному биту искомого цифрового значения.





Последовательность действий по определению очередного бита заключается в следующем. На вспомогательном ЦАП выставляется аналоговое значение, образованное из битов, уже определённых на предыдущих шагах; бит, который должен быть определён на этом шаге, выставляется в 1, более младшие биты установлены в 0. Полученное на вспомогательном ЦАП значение сравнивается с входным аналоговым значением. Если значение входного сигнала больше значения на вспомогательном ЦАП, то определяемый бит получает значение 1, в противном случае 0. АЦП этого типа обладают одновременно высокой скоростью и хорошим разрешением. Однако при отсутствии устройства выборки хранения погрешность будет значительно больше (представьте, что после оцифровки самого большого разряда сигнал начал меняться).

Последовательно-параллельные АЦП сохраняя высокое быстродействие позволяет значительно уменьшить количество компараторов, требующееся для преобразования аналогового сигнала в цифровой. Содержат в своем составе два — три параллельных АЦП. Второй АЦП служит для уменьшения ошибки квантования первого АЦП путем оцифровки этой ошибки. Для увеличения скорости выходного оцифрованного потока данных в последовательно-параллельных АЦП применяется конвейерная работа параллельных АЦП.

АЦП сравнения с пилообразным сигналом (Интегрирующие АЦП) содержат генератор пилообразного напряжения, компаратор и счётчик времени. Пилообразный сигнал линейно нарастает до некоторого уровня, затем быстро спадает до нуля. В момент начала нарастания запускается счётчик времени. Когда пилообразный сигнал достигает уровня входного сигнала, компаратор срабатывает и останавливает счётчик; значение считывается со счётчика и подаётся на выход АЦП. Данный тип АЦП является наиболее простым по структуре и содержит минимальное число элементов. Вместе с тем простейшие АЦП этого типа обладают довольно низкой точностью и чувствительны к температуре и другим внешним параметрам.

Конвейерные АЦП используют два или более шага-поддиапазона. На первом шаге производится грубое преобразование (с низким разрешением). Далее определяется разница между входным сигналом и аналоговым сигналом, соответствующим результату грубого преобразования (со вспомогательного ЦАП, на который подаётся грубый код). На втором шаге найденная разница подвергается преобразованию, и полученный код объединяется с грубым кодом для получения полного выходного цифрового значения. АЦП этого типа быстры, имеют высокое разрешение и небольшой размер корпуса.

АЦП с промежуточным преобразованием в частоту следования импульсов. Сигнал с датчика проходит через преобразователь напряжение-частота. Таким образом на вход непосредственно логической схемы поступает сигнал, характеристикой которого является лишь частота импульсов. Логический счётчик принимает эти импульсы на вход в течение времени выборки, таким образом, выдавая к её окончанию кодовую комбинацию, численно равную количеству импульсов, пришедших на преобразователь за время выборки. Такие АЦП довольно медленны и не очень точны, но имеют низкую стоимость.