

Аналого-цифровые преобразователи

Лекции по курсу
«Электроника систем регистрации элементарных частиц»

Жуланов Владимир Викторович
тел. 329-47-32
e-mail: zhulanov@inp.nsk.su

Назначение аналого-цифровых преобразователей

Сигналы с первичных детекторов имеют аналоговый вид. Однако, в конечном счете они преобразуются в цифровую форму, удобную для хранения информации о событиях для дальнейшей детальной обработки.

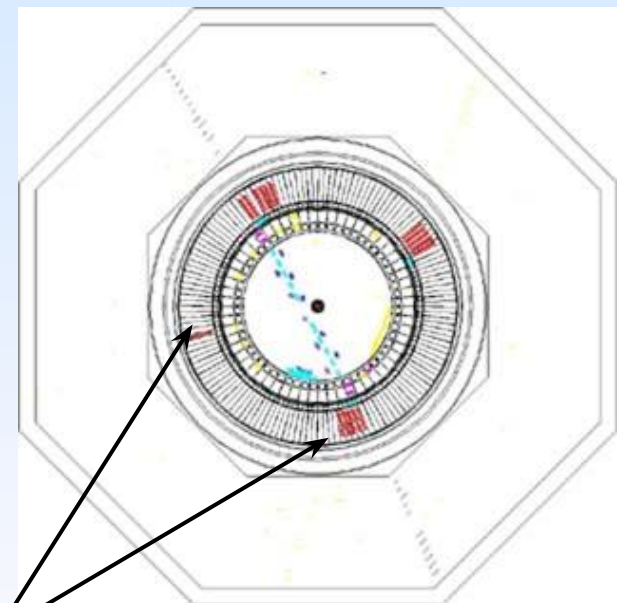
Такая информация может иметь логические значения, например, результат срабатывания или не срабатывания амплитудного дискриминатора по одному или множеству каналов – маска сработавших каналов.

Например, в калориметре (первичном детекторе, регистрирующем энергию пролетающих частиц) можно фиксировать факт выделения энергии выше заданной пороговой величины.

При обработке события полезней будет знать точное значение выделенной энергии, то есть необходимо преобразовать амплитуду (или площадь) сигнала с калориметра в число, пригодное для хранения.

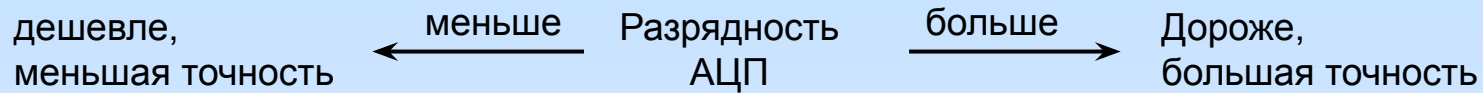
Обычно сохраняют значения в целом виде:

$E = e_{\delta} * N$, где e_{δ} – минимальный квант энергии, N – оцифрованное значение выделенной энергии



Сработавшие каналы

Разрядность АЦП



Необходимая разрядность АЦП определяется постановкой эксперимента.

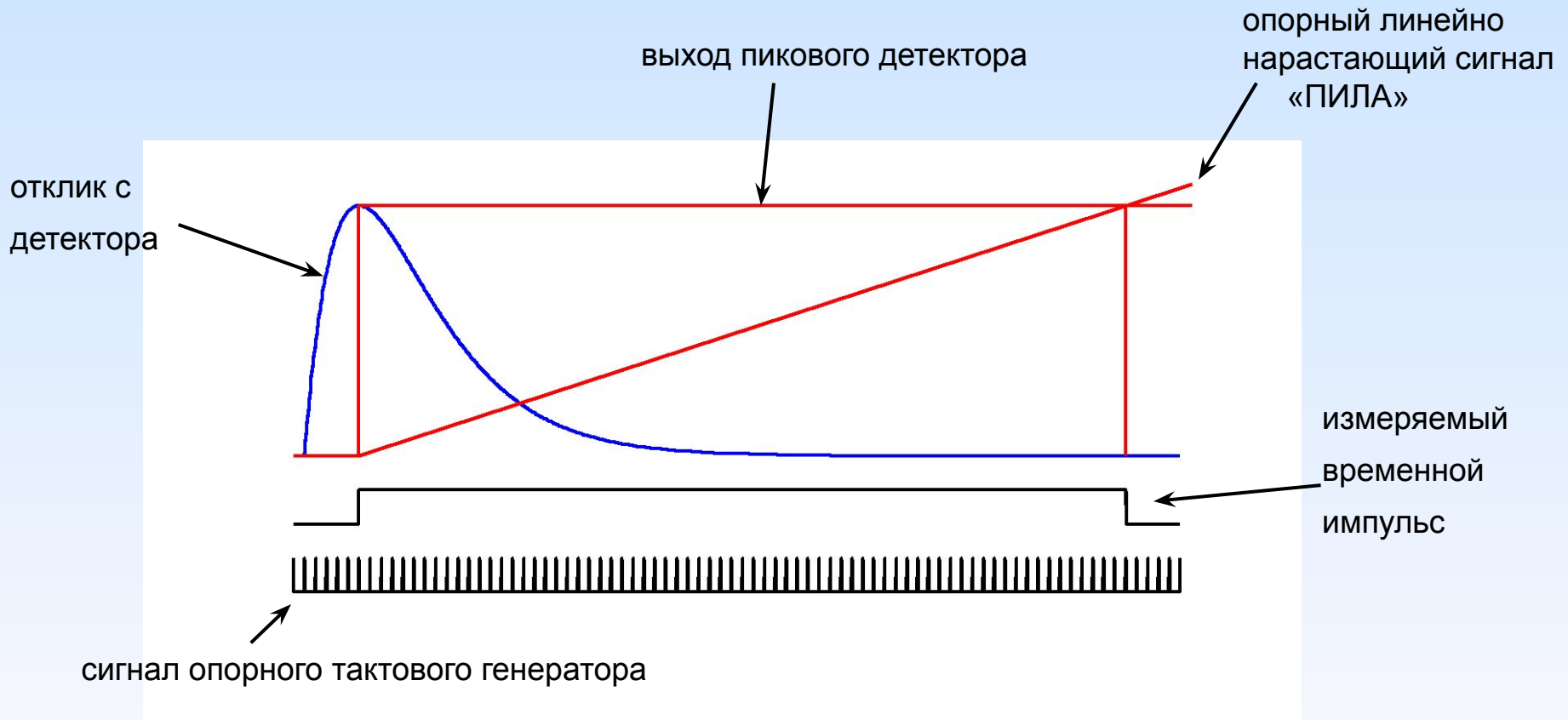
Например требуется регистрировать энергию частиц от 100 кэВ до 1 ГэВ с точностью 100 кэВ.

Тогда квант по амплитуде разумно выбрать $e_\delta = 100$ кэВ и максимальное значение $N_{max} = 1\text{ГэВ} / 100\text{кэВ} = 10000$. То есть 16 бит достаточно для хранения N от 0 до N_{max} , то есть закодировать любую амплитуду от 0 до 1 ГэВ с точностью 100 кэВ.

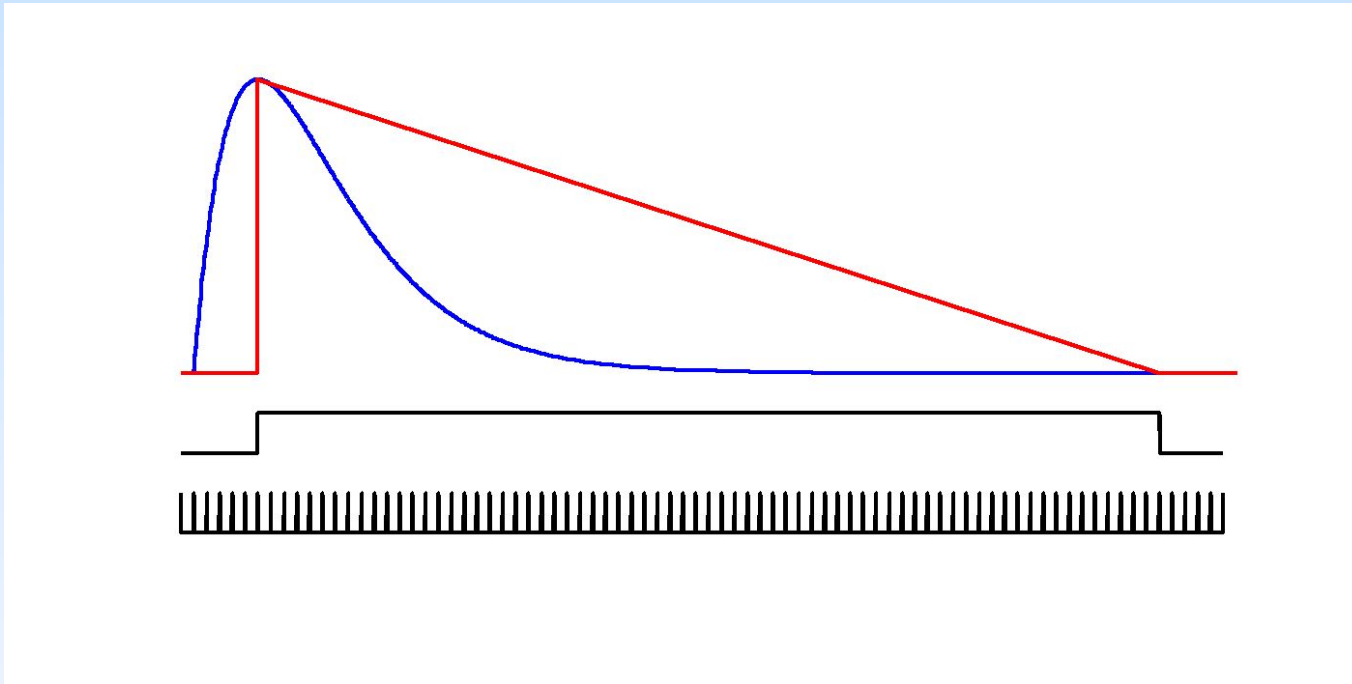
Повышением разрядности АЦП возможно добиться увеличения точности только до какого-то предела – шума аналогового тракта. Для приведенной выше задачи шум на входе АЦП должен соответствовать величине не большей 100 кэВ. При этом при увеличении разрядности АЦП (и соответствующим уменьшением кванта дискретизации) в младших разрядах будут наблюдаться случайные значения.

АЦП типа Аналог-время-цифра

Для построения многоканальной регистрирующей электроники требовались недорогие многоразрядные АЦП. До массового распространения интегральных АЦП в системах регистрации элементарных частиц традиционно использовались преобразователи типа Аналог-время-цифра.



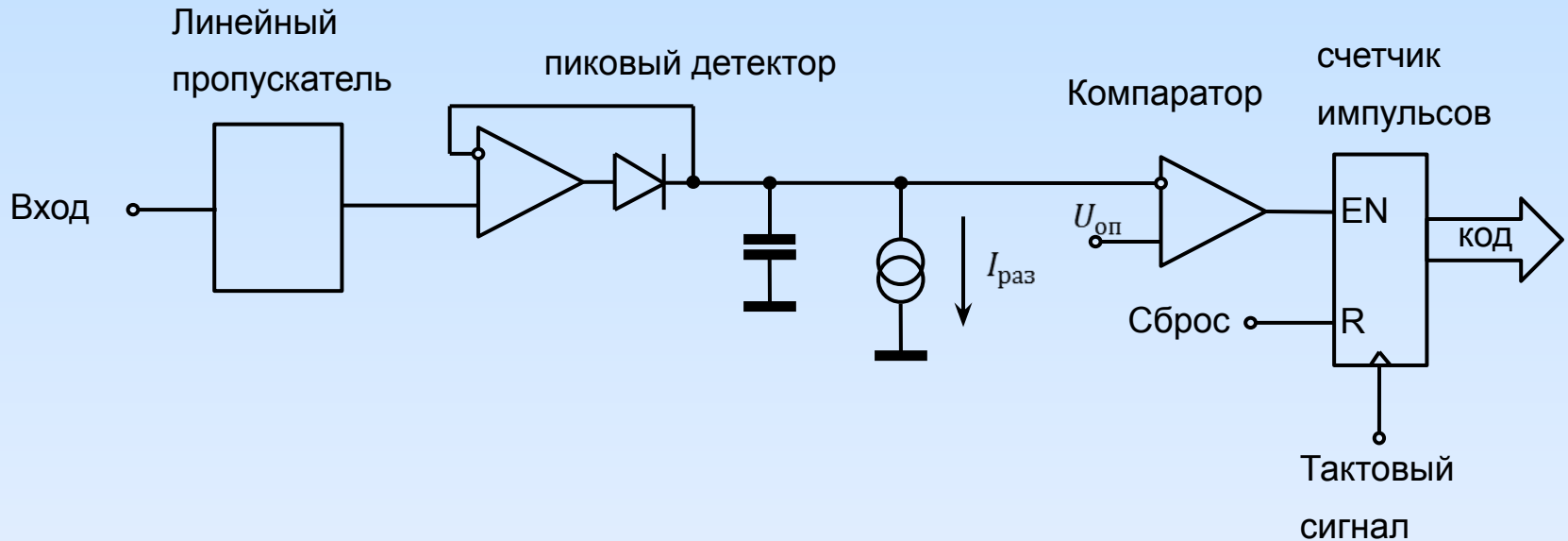
Более популярная схема с ниспадающей ПИЛОЙ



Точность преобразования определяется точностью фиксирования амплитуды и точностью формирователей опорных сигналов ПИЛЫ и тактовых импульсов

Разрядность преобразователя определяется наклоном пилы и частотой тактовых сигналов

Структурная схема АЦП типа А□Т□Ц



Линейный пропускатель выделяет полезный сигнал.

Пиковый детектор фиксирует на емкости максимальную амплитуду сигнала, заряд с которой стекает через источник тока с калиброванной величиной

Компаратор формирует логический сигнал, длительность которого пропорциональна амплитуде входного сигнала

Очевидно, что АЦП такого типа обладает мертвым временем □ не используется в современных быстродействующих Системах сбора данных

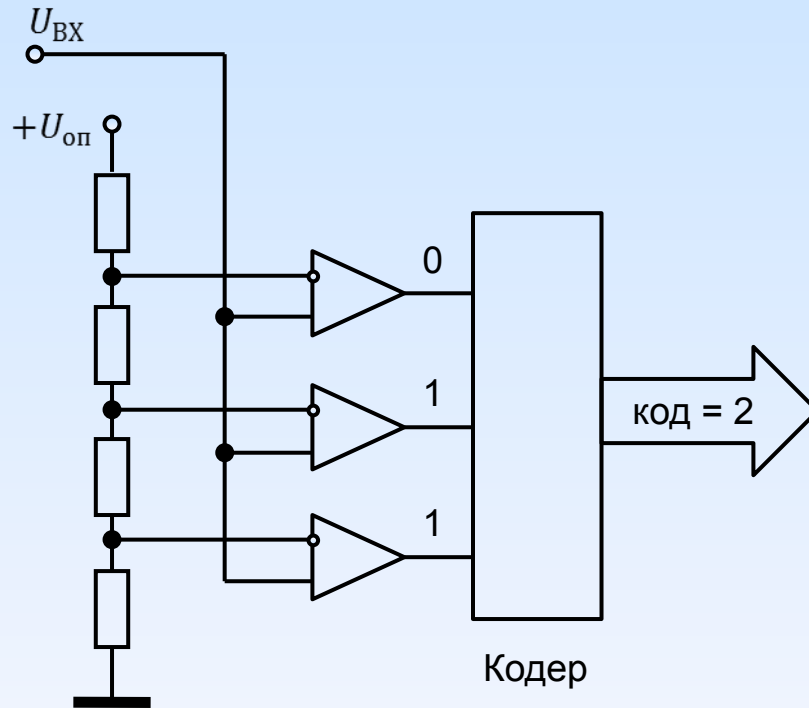
Интегральные АЦП

В настоящий момент на рынке доступен огромный ассортимент интегральных АЦП, отличающиеся по быстродействию (максимальная частота преобразования), разрядностью, энергопотреблению.

Наиболее популярные архитектуры АЦП:

- Прямого преобразования : разрядность до 12 бит, до 1 ГГц, большое энергопотребление
- Конвейерные АЦП: до 16 бит, до 100 МГц, умеренное энергопотребление
- Последовательного приближения: до 16 бит, до 10 МГц, умеренное энергопотребление
- Сигма-дельта АЦП: разрядность до 24, частота преобразования до 100 кГц – не используется в системах регистрации элементарных частиц

АЦП прямого преобразования

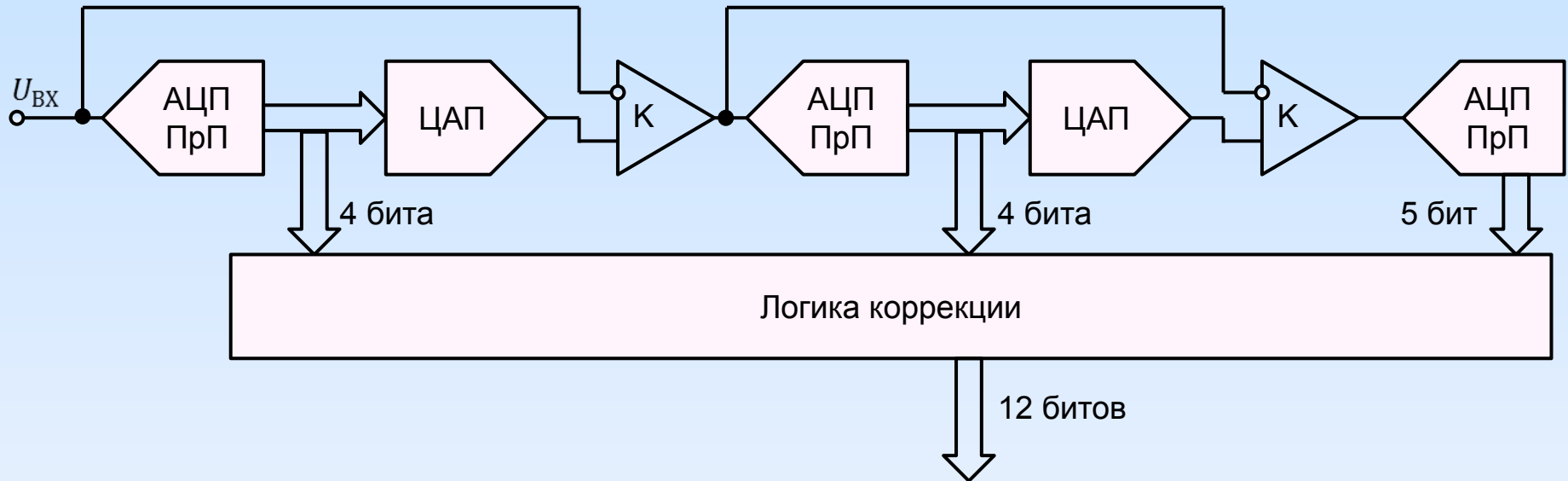


Наиболее быстрое преобразование

Требуется $2^N - 1$ компараторов → высокое энергопотребление

АЦП такого типа в чистом виде практически не строятся

АЦП конвейерного типа



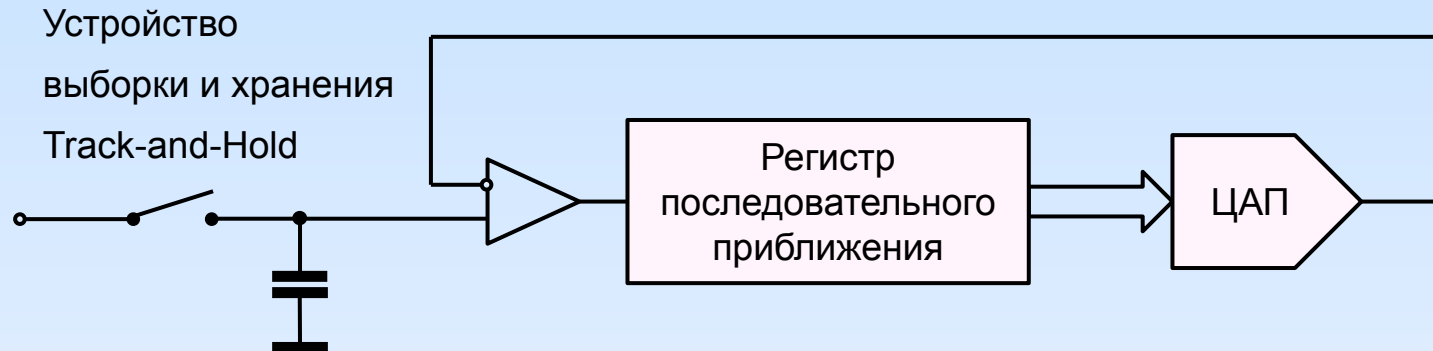
Преобразование производится за несколько этапов. На каждом этапе оцифровывается разница между входным сигналом предыдущего этапа и обратно преобразованным аналоговым сигналом предыдущего этапа.

Вместо одного большого АЦП прямого преобразования проектируется несколько с меньшей разрядностью □ меньшее энергопотребление.

Если входной сигнал на последующий этап передавать и хранить на промежуточной ёмкости, то частота преобразования будет равняться частоте одного этапа.

Популярная архитектура быстрых АЦП

АЦП последовательного приближения

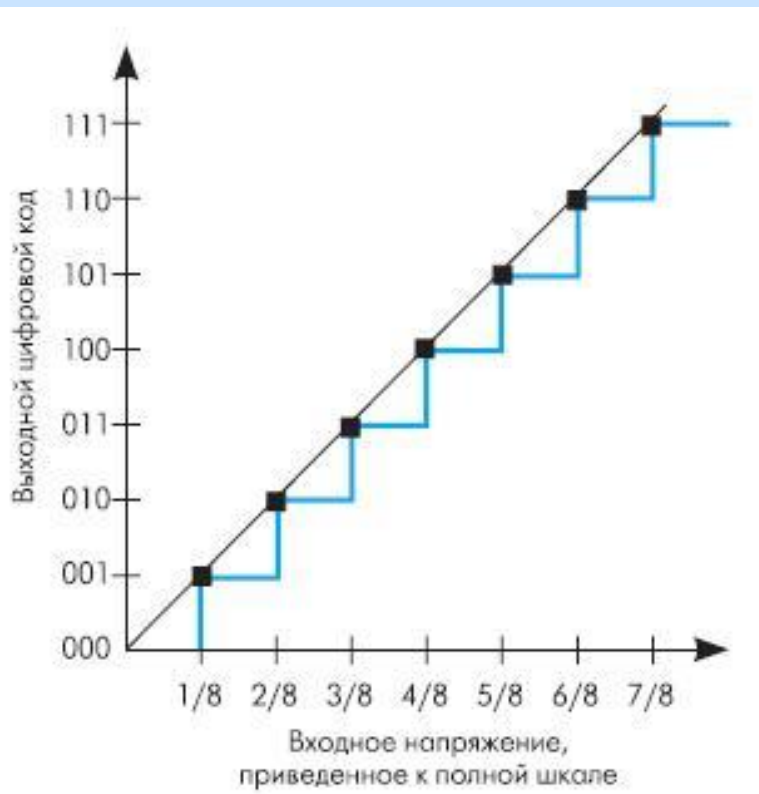


Содержимое Регистра последовательного приближения «подбирается», начиная со старшего разряда к младшему за количество шагов равному разрядности АЦП.

На каждом шаге сравнивается потенциал на ёмкости Устройства выборки и хранения и потенциал с ЦАП для текущего значения в Регистре последовательного приближения и выбирается значение более младшего разряда.

Устройство выборки и хранения необходимо для отслеживания входного потенциала во время фазы выборки и хранения этого потенциала в течении всего времени преобразования.

Передаточная характеристика АЦП



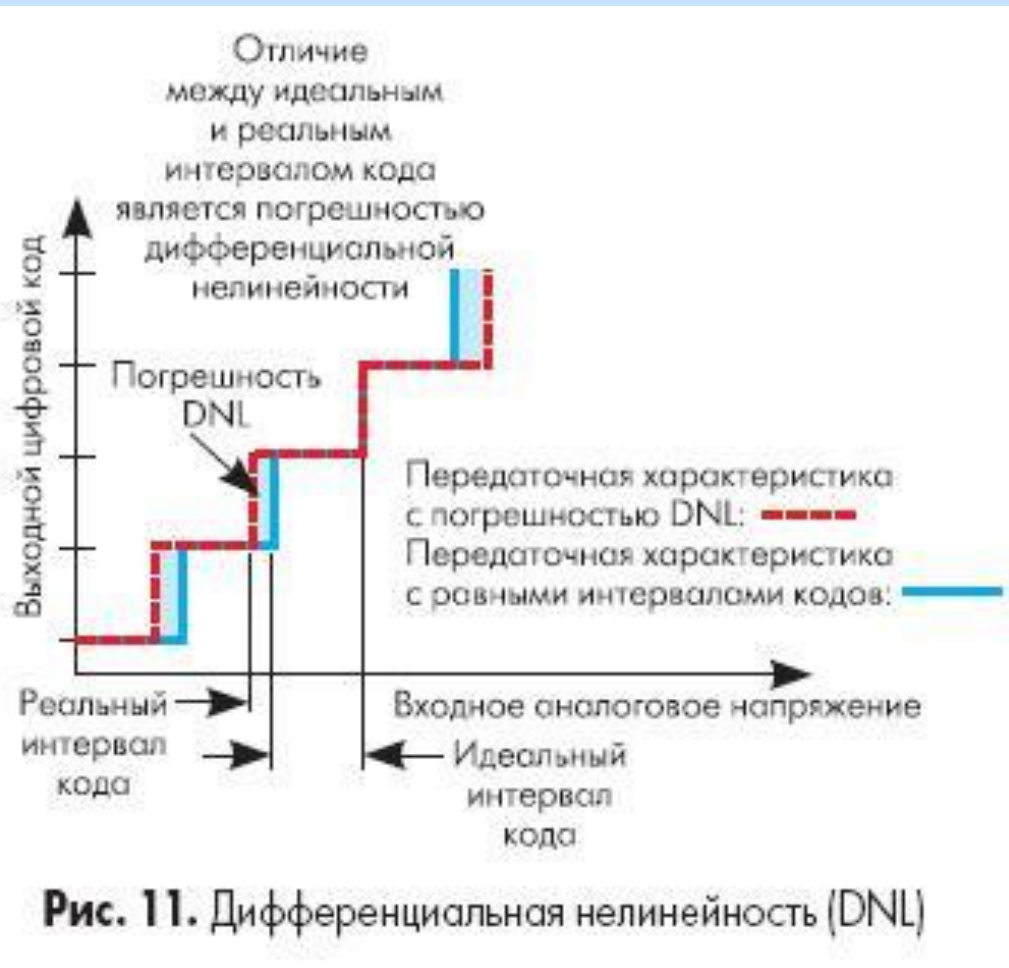
В АЦП происходит принципиальная потеря информации:

для диапазона сигналов сопоставляется один код АЦП

В идеальном АЦП границы переходов между каналами АЦП строго определены в долях от полной шкалы

В реальных АЦП из-за наличия шумов эти границы имеют размытый характер. Кроме того могут иметься дифференциальная и интегральная нелинейность.

Дифференциальная нелинейность

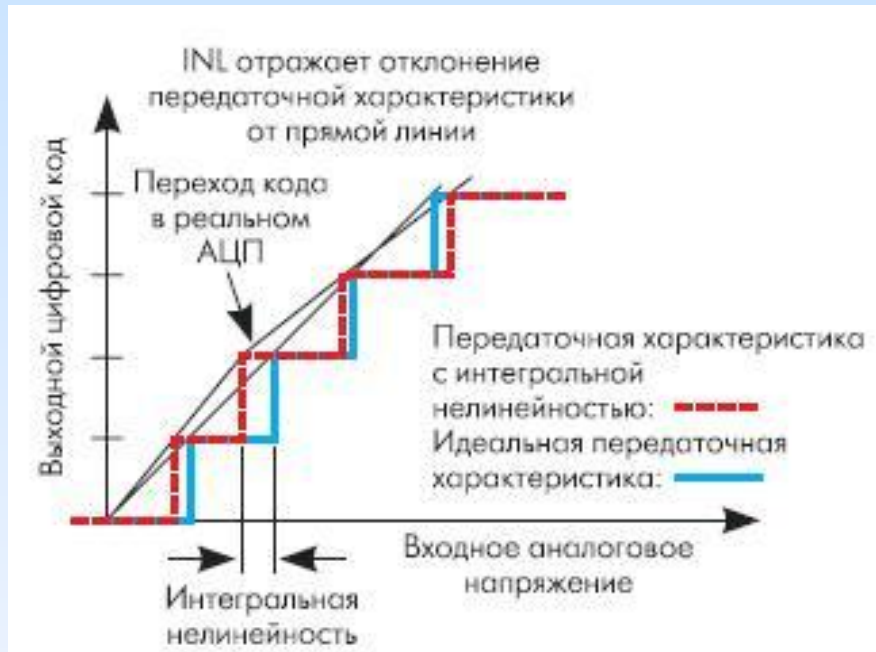


В отличие от идеального у реального АЦП ширина ступенек может отличаться от номинального значения.

Дифференциальной нелинейностью называется величина $DNL = 1 - \frac{\Delta U_{max}}{U_{LSB}}$,

где ΔU_{max} - максимальная ширина ступеньки АЦП, U_{LSB} - номинальная ширина ступеньки

Интегральная нелинейность



Интегральная нелинейность показывает на сколько передаточная характеристика реального АЦП отличается от передаточной характеристики идеального

$$\text{АЦП: } INL = \frac{\Delta U_{tr}}{U_{LSB}}$$

Эффективное кол-во бит

Signal-to-(Noise + Distortion) (SINAD)

$$ENOB = (SINAD_{dB} - 1.76) / 6.02$$

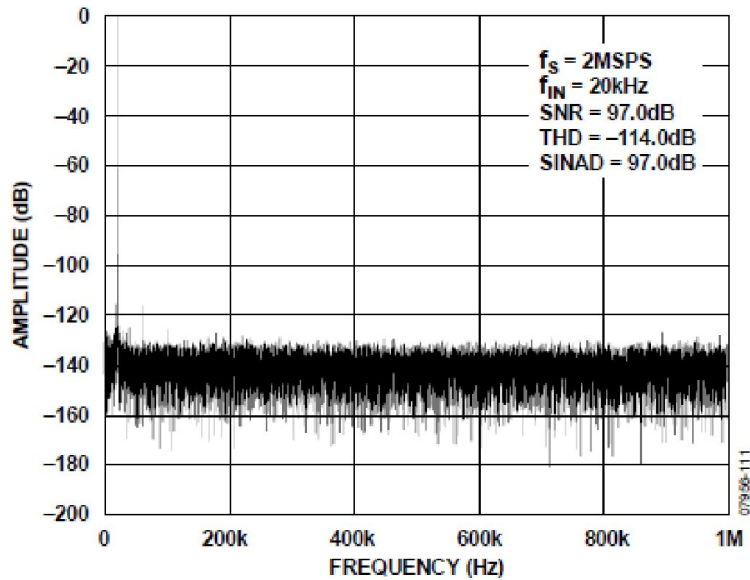


Figure 11. FFT Plot (External Reference)

Резюме

- Задачи аналого-цифровых преобразователей
- Типы и устройство аналого-цифровых преобразователей
- Передаточная характеристика АЦП