

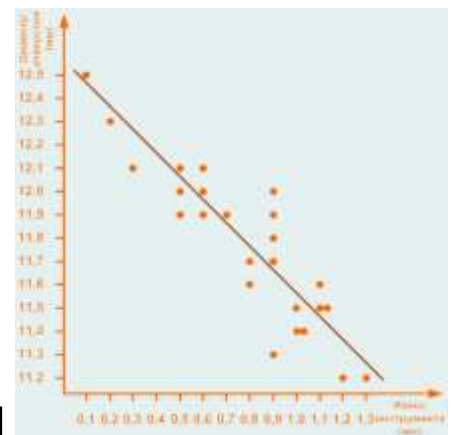
«Метрология. Основные термины и определения»

- **Прямое** измерение — измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.
- **Косвенное** измерение — определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.
- **Совместные** измерения — проводимые одновременно измерения двух или нескольких величин для определения зависимости между ними.

- меры,
- преобразователи,
- измерительные приборы,
- системы измерения



- **Погрешность** измерения является характеристикой точности измерения.
- Оценивает отклонение измеренного значения величины от её истинного значения.
- **единицы измерения**
- Индикаторные приборы



• Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

- среднее арифметическое

Показатель разброса значений случайной величины относительно её математического ожидания.

При нормальном распределении случайной величины ее значения

То есть дисперсия - это математическое ожидание отклонений от математического ожидания.

На практике при анализе выборок математическое ожидание, как правило, не известно. Поэтому вместо него используют оценку – среднее арифметическое

где

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n} \quad D(X) = \sigma^2 = M[X - M(X)]^2$$

s^2 – выборочная дисперсия, рассчитанная по данным наблюдений,

X – отдельные значения,

\bar{X} – среднее арифметическое по выборке.

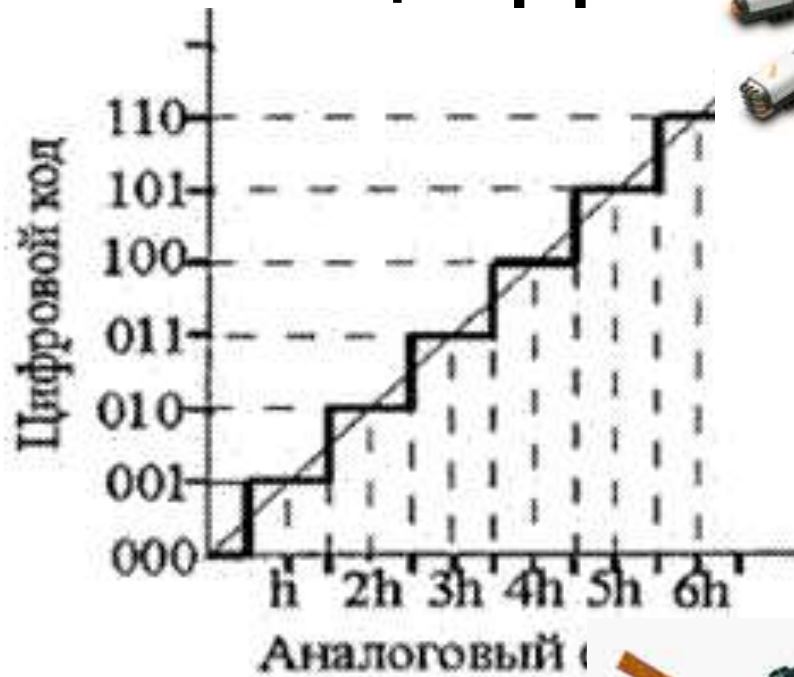
УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

системы сбора данных

- Внедрение, исследование и анализ новых алгоритмов управления в цифровой системе осуществляется значительно проще.
- Возможность изменения структуры и параметров системы управления, которое значительно проще осуществлять программным путем, чем изменениями механических или электрических параметров.
- Стабильность и повторяемость характеристик цифровых систем управления в течение неограниченного времени.
- Возможность совмещения функций управления с функциями получения (измерения) и обработки информации. Физические величины, используемые цифровой системой для управления в ряде приложений являются одновременно и информативными величинами, определяющими действующие в контролируемой системе процессы.
- Внедрение прогрессивных и эффективных алгоритмов управления, особенно - адаптивных.

- **ЦАП и АЦП характеризуются:** Разрешающей способностью, Погрешностью преобразования (нелинейность интегр. , дифер.), Быстродействием (Максимальная частота дискретизации/ Время преобразования), Временем выборки, динамическим диапазоном.
- Погрешность состоит из методической и инструментальной составляющих. Методическая погрешность определяется абсолютной погрешностью квантования аналоговой величины д.. Инструментальная погрешность определяется нестабильностью параметров элементов схемы преобразователя и неточностью его настройки (мульти. аддитив.), С/Ш
- Быстродействие определяется временем преобразования: для ЦАП - интервалом между моментами поступления входного кода и установления выходного сигнала (с заданной точностью), для АЦП - интервалом от момента пуска преобразователя до момента получения кода на выходе.
- Динамический диапазон - допустимый диапазон изменения входного напряжения для АЦП и выходного напряжения для ЦАП.
- Смещение, усиление, разрядность

Аналог или цифра



Датчики



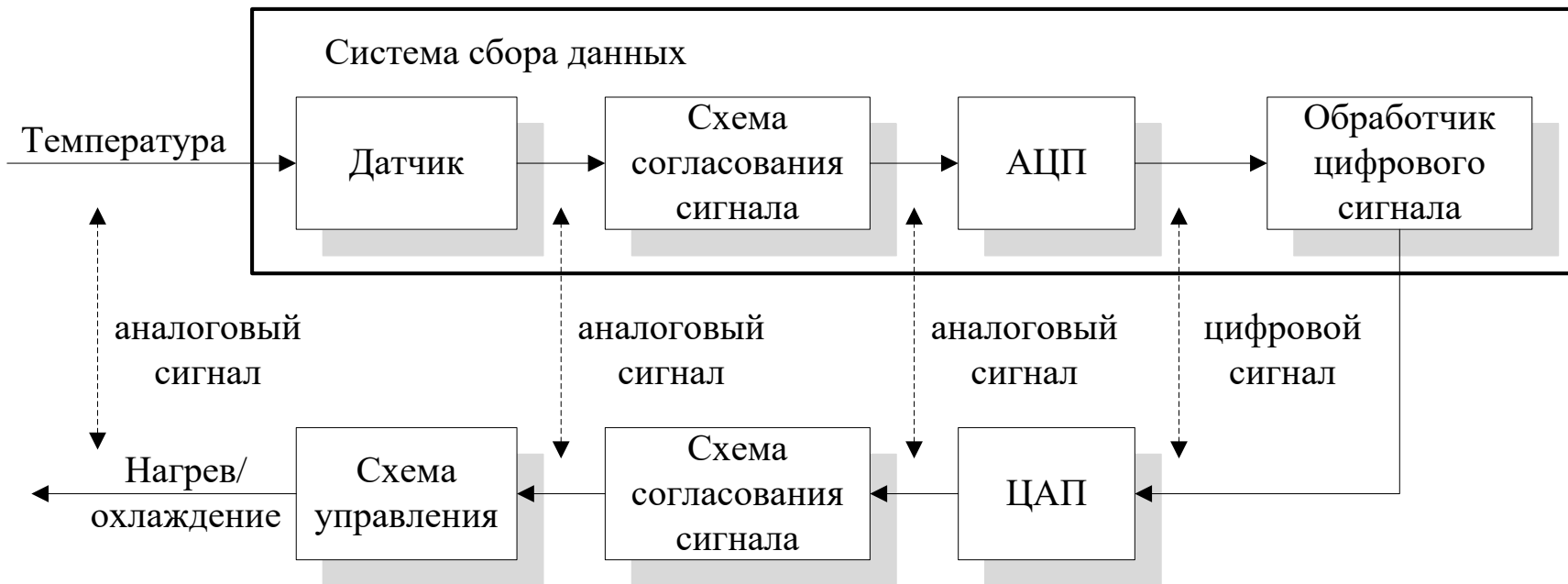
Обобщенная функциональная схема цифровой системы управления, включающая объект управления или контролируемый процесс и цифровой регулятор. Контролируемые физические величины или параметры процесса (световой поток, температура, давление, электрическое или магнитное поле и т.д.) измеряются системой датчиков, преобразующих физические величины в электрические сигналы.

Датчики: фотоэлектрические и пьезоэлектрические, термопары, индуктивные, емкостные, резистивные сенсоры и т.д.

Электрические сигналы, снимаемые с выхода датчика, несут в себе информацию о характеристиках регистрируемого физического воздействия, причем эта информация может заключаться в различных параметрах сигналов: величине непрерывно изменяющегося электрического напряжения или тока, амплитуде импульсов....

Для того чтобы цифровой регулятор мог воспринимать эту информацию, ее надо преобразовать в цифровой код. Поэтому неизменным элементом цифровой системы управления являются **(АЦП и ЦАП)**.

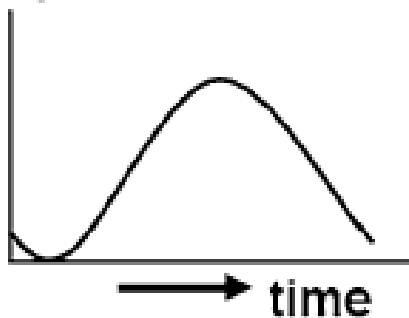
Система сбора данных



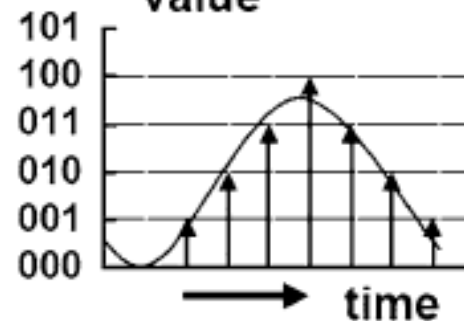
Аналоговый сигнал

Цифровой сигнал

amplitude



Digital value

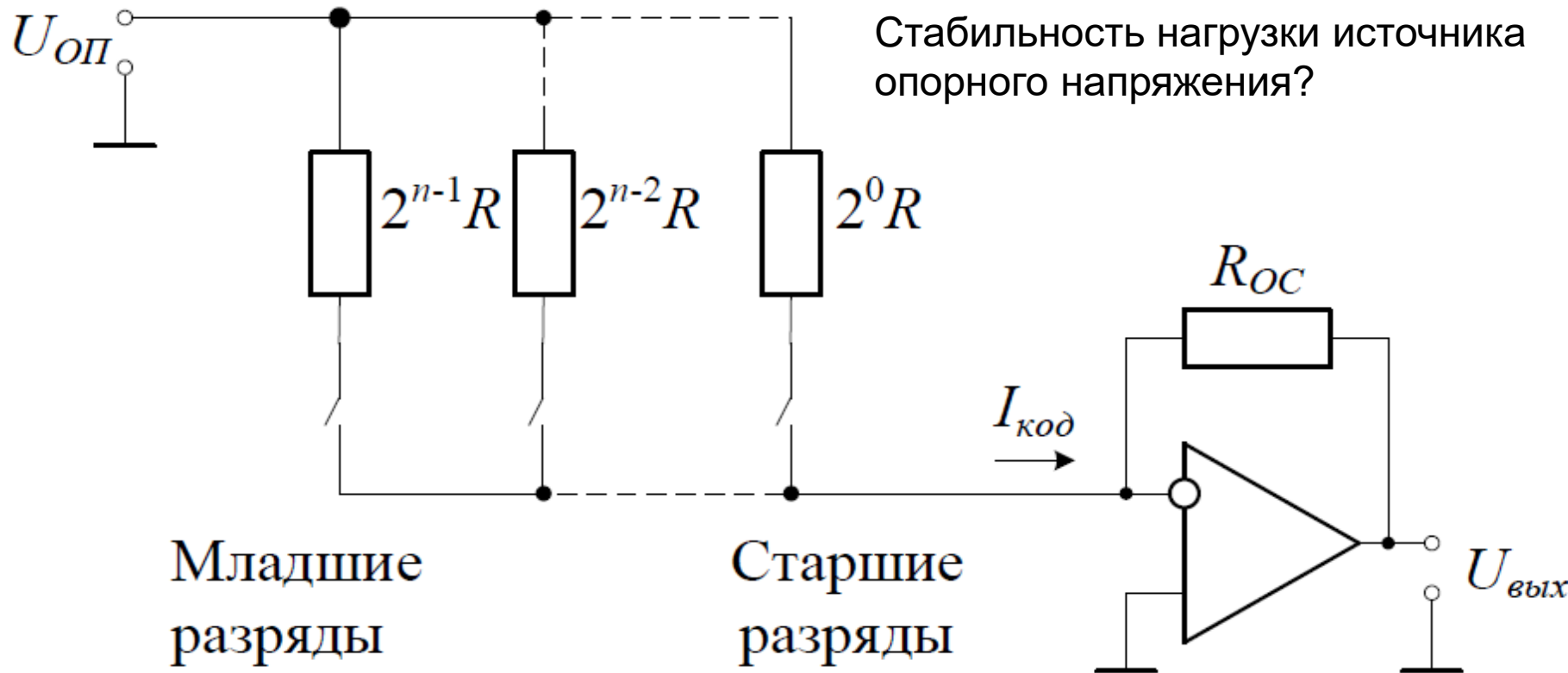


ЦАП

- Широтно-импульсный модулятор
- *ЦАП взвешивающего типа*
- *ЦАП лестничного типа*
- **Дельта-сигма-ЦАП** (превышение частоты Котельникова в раз – 2^n $f=2f_{\text{дискретизации}}$ имеет конечный (ограниченный по ширине) спектр, то он может быть восстановлен) -> сигнал/шум

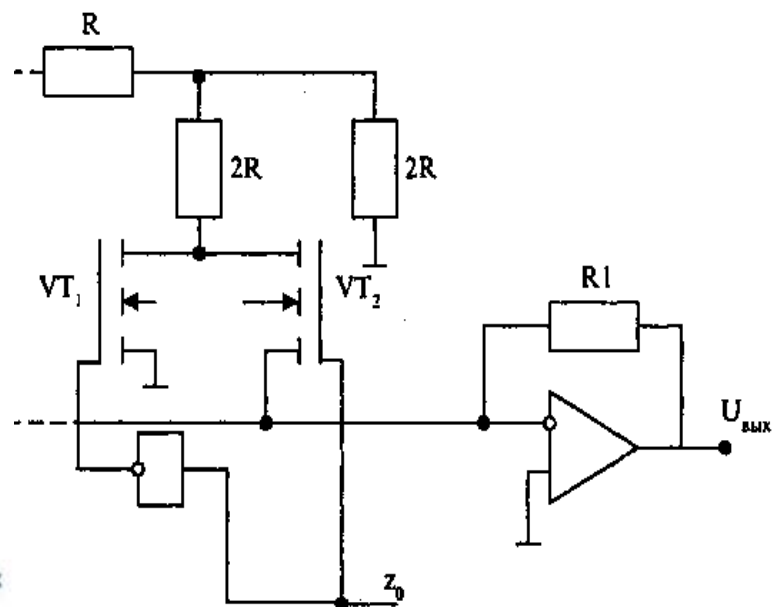
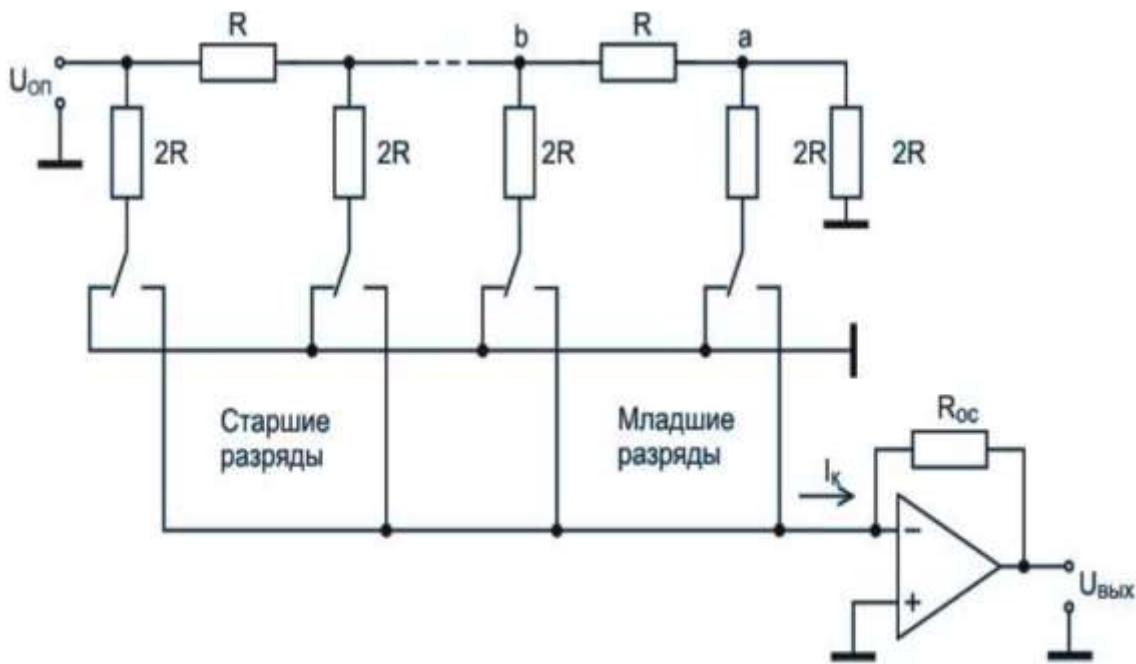
ЦАП взвешивающего типа

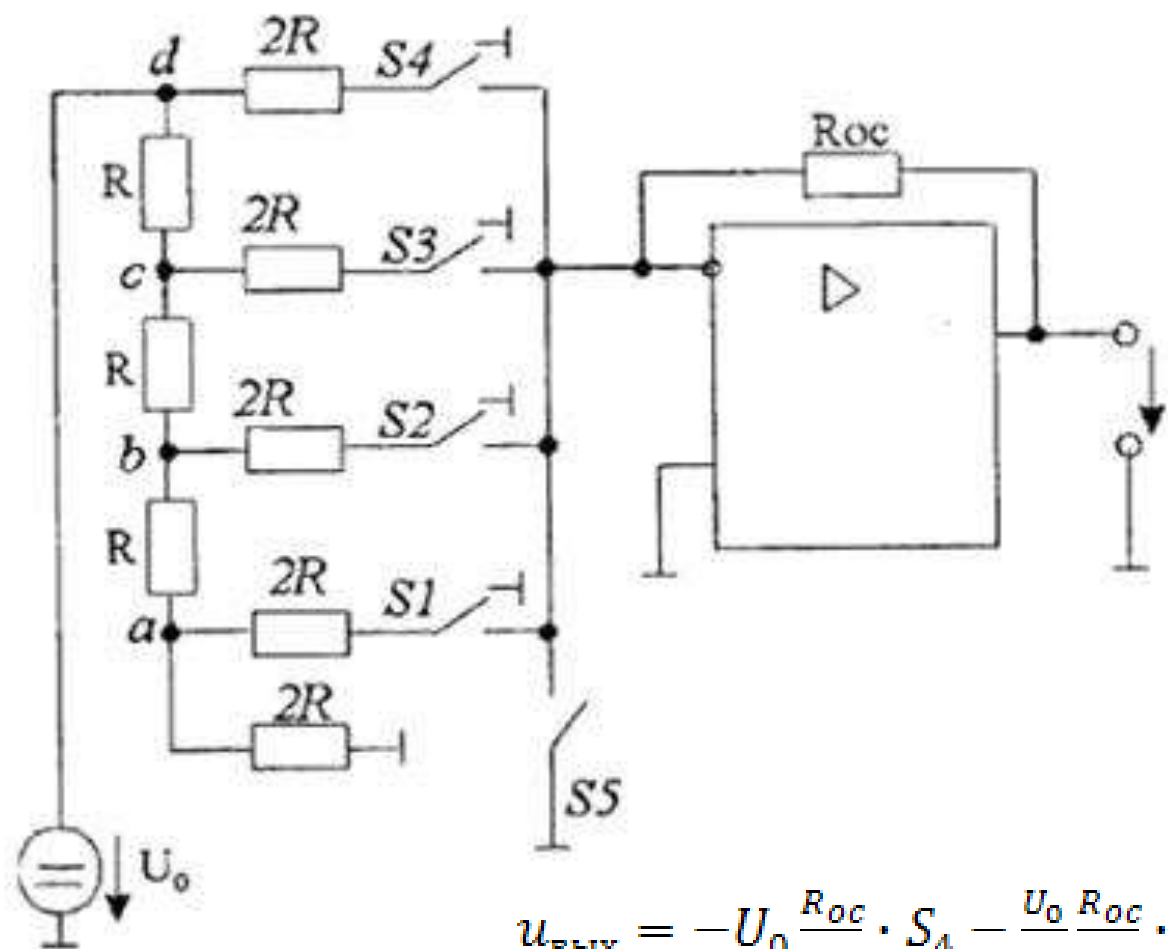
Каждому биту преобразуемого двоичного кода соответствует резистор или источник тока, подключенный на общую точку суммирования. Сила тока источника (проводимость резистора) пропорциональна весу бита, которому он соответствует. Таким образом, все ненулевые биты кода суммируются с весом.



Лестничного типа R-2R-ЦАП

Лестничного типа В R-2R-ЦАП значения создаются в специальной схеме, состоящей из резисторов с сопротивлениями R и $2R$, называемой матрицей постоянного импеданса, которая имеет два вида включения: прямое — матрица токов и инверсное — матрица напряжений. Применение одинаковых резисторов позволяет существенно улучшить точность по сравнению с обычным взвешивающим ЦАП, так как сравнительно просто изготовить набор прецизионных элементов с одинаковыми параметрами.



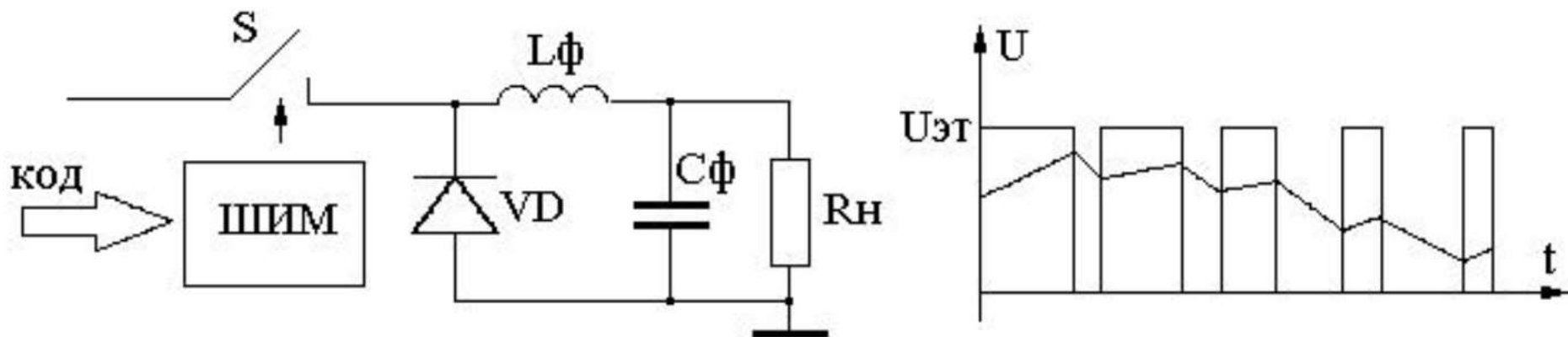


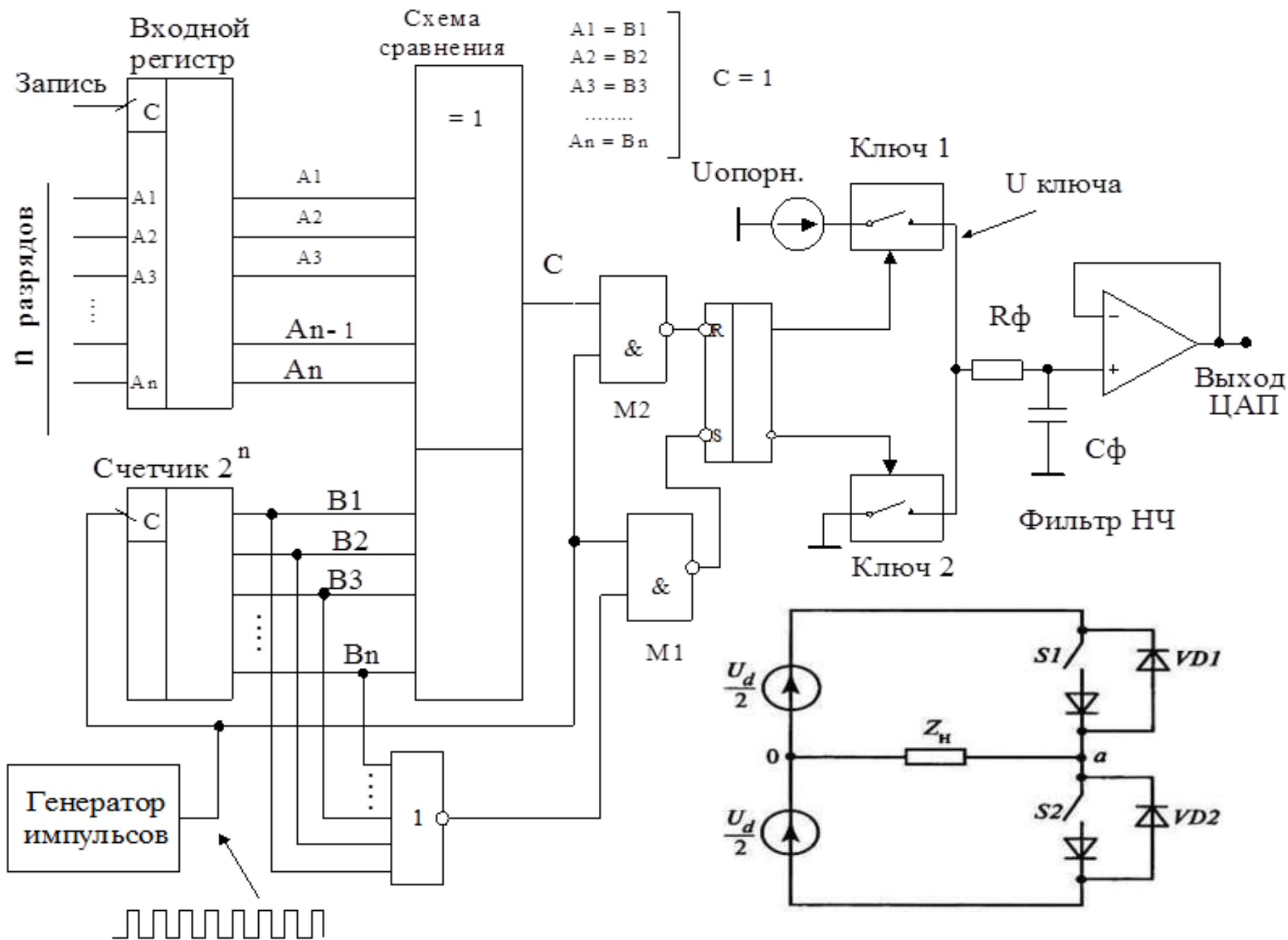
$$u_{\text{ВЫХ}} = -U_0 \frac{R_{oc}}{2R} \cdot S_4 - \frac{U_0 R_{oc}}{2 \cdot 2R} \cdot S_3 - \frac{U_0 R_{oc}}{4 \cdot 2R} \cdot S_2 - \frac{U_0 R_{oc}}{8 \cdot 2R} \cdot S_1$$

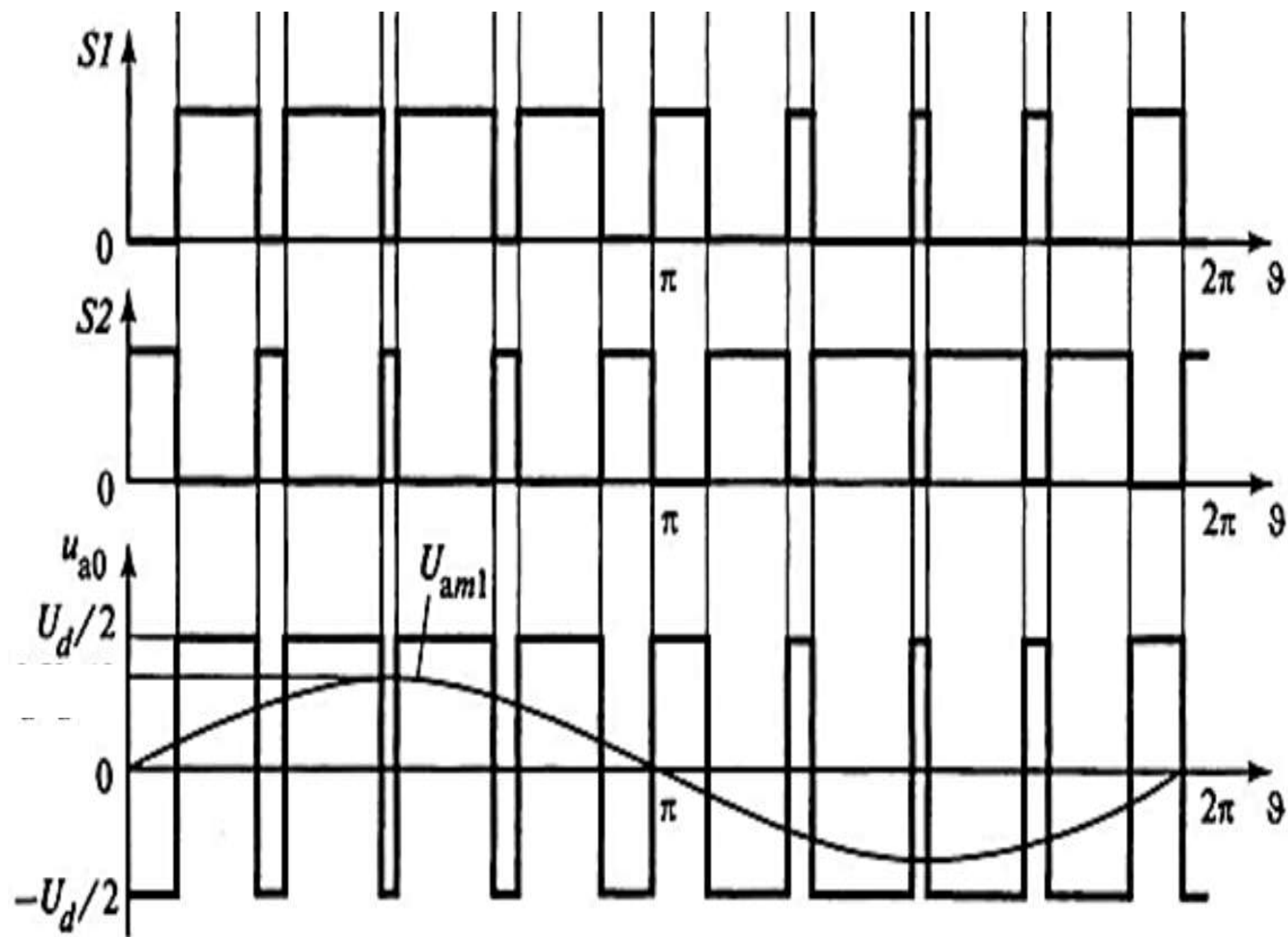
$$u_{\text{ВЫХ}} = -U_0 \frac{R_{oc}}{16R} \cdot (8S_4 + 4S_3 + 2S_2 + S_1).$$

ЦАП на основе ШИМ

Данный ЦАП относится к устройствам с промежуточным преобразованием исходного кода. Сначала код с использованием широтно-импульсного модулятора, преобразуется в последовательность импульсов переменной длины, постоянной амплитуды. Затем из этой последовательности, при помощи фильтра нижних частот выделяется значение среднего напряжения, величина которого пропорциональна исходному коду.

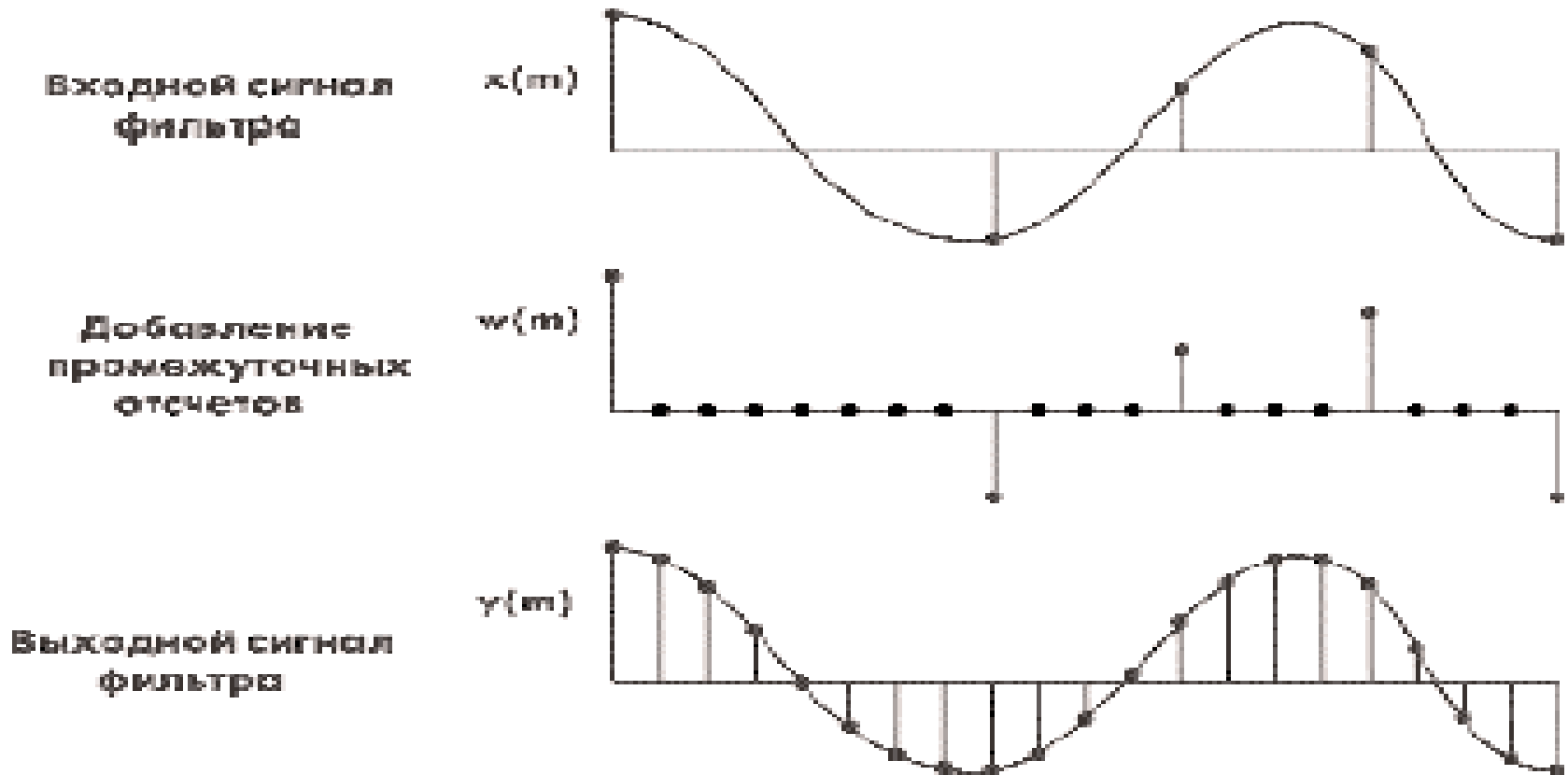






ЦАП

- **Передискретизация**, или дельта-сигма-ЦАП, основаны на изменяемой плотности импульсов. П. позволяет использовать ЦАП с меньшей разрядностью для достижения большей разрядности итогового преобразования; часто дельта-сигма ЦАП строится на основе простейшего однобитного ЦАП, который является практически линейным. На ЦАП малой разрядности поступает импульсный сигнал с *модулированной плотностью импульсов* (с постоянной длительностью импульса, но с изменяемой скважностью), создаваемый с

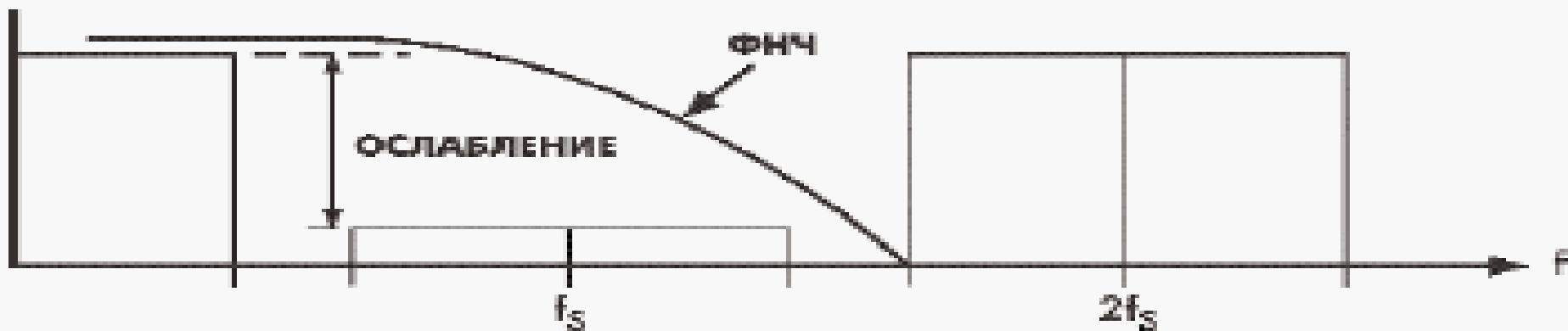




поток N-бит 22500Гц: опорная частота = $(22500 * 2) * 64 = 2.88\text{MHz}$.

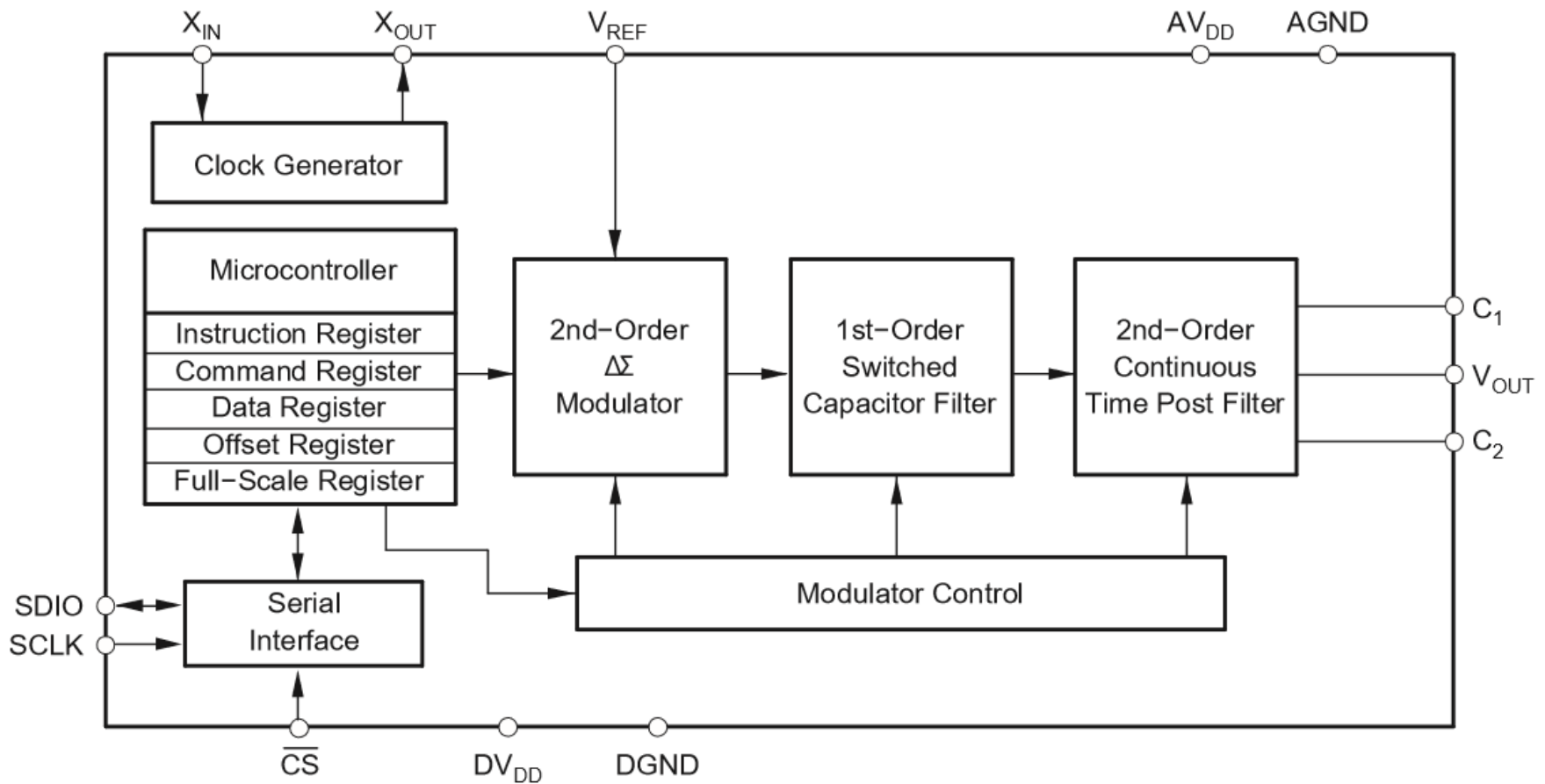
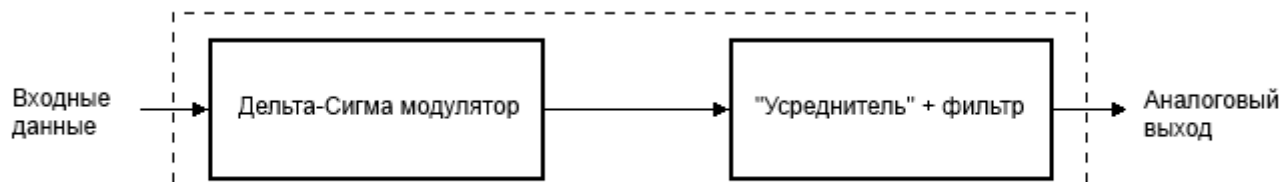
Цифровой
входной сигнал

Аналоговый
выходной сигнал



Сигма-дельта модулятор преобразует спектр шума квантования, перенося основную часть энергии шума в высокочастотную область, где он может быть легко подавлен аналоговым фильтром относительно низкого порядка.

20 p ЦАП



АЦП

По принципу действия все существующие типы АЦП можно разделить на две группы:

- **АЦП** со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений (последовательного счета, следящие, параллельные пороговые, приближения);
- интегрирующие **АЦП** (преобразователи напряжения в частоту), одноктактные интегрирующие АЦП и двухтактные интегрирующие АЦП).

Алгоритмы АЦП:

Последовательные прямого перебора.

Последовательного приближения.

Последовательные с сигма-дельта-модуляцией.

Параллельные одноступенчатые.

Параллельные двух- и более ступенчатые (конвейерные).

Передаточная характеристика АЦП — зависимость числового эквивалента выходного двоичного кода от величины входного аналогового сигнала.

Линейные и нелинейные АЦП. Деление условно.

Обе передаточные характеристики — ступенчатые.

линейные АЦП - можно провести такую прямую линию,

чтобы все точки передаточной характеристики,

соответствующие входным значениям $D \cdot 2^k$ (где D — шаг

дискретизации, k лежит в диапазоне $0..N$, где N —

разрядность АЦП) были от неё равноудалены.

- **Ошибки квантования**
- **Нелинейность**
- **Апертурная погрешность (джиттер)**
- **Частота дискретизации**
- **Наложение спектров (алиасинг)**
- **Передискретизация**

Как правило, сигналы оцифровываются с минимально необходимой частотой дискретизации из соображений экономии, при этом шум квантования является белым, то есть его спектральная плотность мощности равномерно распределена во всей полосе. Если же оцифровать сигнал с частотой дискретизации, гораздо большей, чем по теореме Котельникова — Шеннона, а затем подвергнуть цифровой фильтрации для подавления спектра вне частотной полосы исходного сигнала, то отношение сигнал/шум, будет лучше, чем при использовании всей полосы. Таким образом можно достичь большего эффективного разрешения.

АЦП прямого преобразования:

Параллельные АЦП прямого преобразования, содержат один компаратор на уровень входного сигнала. В любой момент времени только компараторы, соответствующие уровням ниже уровня входного сигнала, выдают на своём выходе сигнал превышения. Сигналы поступают в параллельный регистр (обр. программно), либо на аппаратный шифратор. Частота дискретизации параллельных АЦП ->> частоте выборки.

Параллельные АЦП прямого преобразования — самые быстрые, но обычно имеют разрешение не более 8 бит).

Параллельно-последовательные АЦП прямого преобразования, сохраняя высокое быстродействие позволяют значительно уменьшить количество компараторов (до $\frac{n}{k}$, где n — число битов выходного кода, а k — число параллельных АЦП прямого преобразования), требующееся для преобразования аналогового сигнала в цифровой (при 8-ми битах и 2-х АЦП требуется 30 компараторов). Используют два или более (k) шага-поддиапазона. Содержат в своем составе k параллельных АЦП прямого преобразования. Второй, третий и т. д. АЦП служат для уменьшения ошибки квантования первого АЦП путем оцифровки этой ошибки. 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 медленнее параллельных АЦП прямого преобразования, имеют высокое разрешение и небольшой размер корпуса. Для увеличения скорости выходного оцифрованного потока данных в параллельно-последовательных АЦП прямого преобразования применяется конвейерная работа параллельных АЦП.

Конвейерные, применяются в параллельно-последовательных АЦП прямого преобразования, в отличие от обычного режима работы параллельно-последовательных АЦП прямого преобразования, в котором данные передаются после полного преобразования, при конвейерной работе данные частичных преобразований передаются по мере готовности до окончания полного преобразования.

Последовательные прямого преобразования, полностью последовательные АЦП ($k=n$), медленнее параллельных АЦП прямого преобразования и немного медленнее параллельно-последовательных АЦП прямого преобразования, но ещё больше (до $\frac{n}{k}$, где n — число битов выходного кода, а k — число параллельных АЦП прямого преобразования) уменьшают количество компараторов (при 8-ми битах требуется 8 компараторов).

Последовательного 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, начиная от СЗР и заканчивая МЗР. (устройства выборки хранения).

Следящие содержат реверсивный счётчик, код с которого поступает на вспомогательный ЦАП. Входной сигнал и сигнал со вспомогательного ЦАП сравниваются на компараторе. Код на счётчике постоянно меняется так, чтобы сигнал со вспомогательного ЦАП как можно меньше отличался от входного сигнала. В худшем случае время преобразования равно $T_{max}=(2^q)/f_c$, где q — разрядность АЦП, f_c — частота тактового генератора счётчика. Являются хорошим выбором для оцифровки сигналов, так как большинство сигналов в физических системах не склонны к скачкообразным изменениям.

Интегрирующие АЦП содержат генератор пилообразного напряжения, компаратор и счётчик времени. Пилообразный сигнал линейно нарастает от нижнего до верхнего уровня, затем быстро спадает до нижнего уровня. 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.

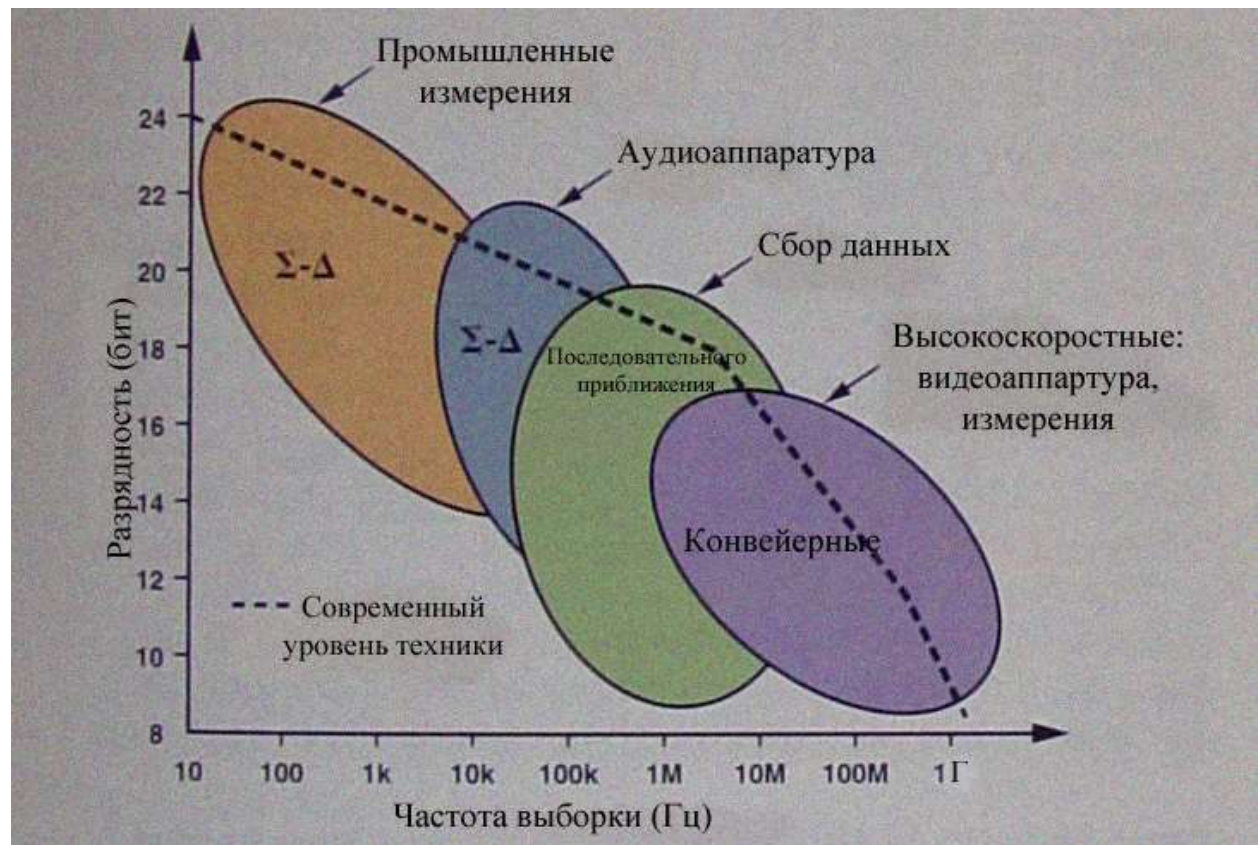
АЦП с уравниванием заряда (к ним относятся АЦП с двухстадийным интегрированием, АЦП с многостадийным интегрированием и некоторые другие) содержат генератор стабильного тока, компаратор, интегратор тока, тактовый генератор и счётчик импульсов. Преобразование происходит в два этапа (*двухстадийное интегрирование*). На первом этапе значение входного напряжения преобразуется в ток (пропорциональный входному напряжению), который подаётся на интегратор тока, заряд которого изначально равен нулю. Этот процесс длится в течение времени TN , где T — период тактового генератора, N — константа (большое целое число, определяет время накопления заряда). По прошествии этого времени вход интегратора отключается от входа АЦП и подключается к генератору стабильного тока. Полярность генератора такова, что он уменьшает заряд, накопленный в интеграторе. Процесс разряда длится до тех пор, пока заряд в интеграторе не уменьшится до нуля. Время разряда измеряется путём счёта тактовых импульсов от момента начала разряда до достижения нулевого заряда на интеграторе. Посчитанное количество тактовых импульсов и будет выходным кодом АЦП. Можно показать, что количество импульсов n , посчитанное за время разряда, равно: $n = U_{\text{вх}} N (RI_0)^{-1}$, где $U_{\text{вх}}$ — входное напряжение АЦП, N — число импульсов этапа накопления (определено выше), R — сопротивление резистора, преобразующего входное напряжение в ток, I_0 — значение тока от генератора стабильного тока, разряжающего интегратор на втором этапе. Таким образом, потенциально нестабильные параметры системы (прежде всего, ёмкость конденсатора интегратора) не входят в итоговое выражение. Фактически, принцип двухстадийного интегрирования позволяет напрямую преобразовывать отношение двух аналоговых величин (входного и образцового тока) в отношение числовых кодов (n и N в терминах, определённых выше) практически без внесения дополнительных ошибок. Типичная разрядность АЦП этого типа составляет от 10 до 18 двоичных разрядов.

Дополнительным достоинством является возможность построения преобразователей, нечувствительных к периодическим помехам (например, помеха от сетевого питания) благодаря точному интегрированию входного сигнала за фиксированный временной интервал. Недостатком данного типа АЦП является низкая скорость преобразования. АЦП с уравниванием заряда используются в измерительных приборах высокой точности.

АЦП с промежуточным преобразованием в частоту следования импульсов. Сигнал с датчика проходит через преобразователь уровня, а затем 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 тем не менее очень просты в исполнении и поэтому имеют низкую стоимость.

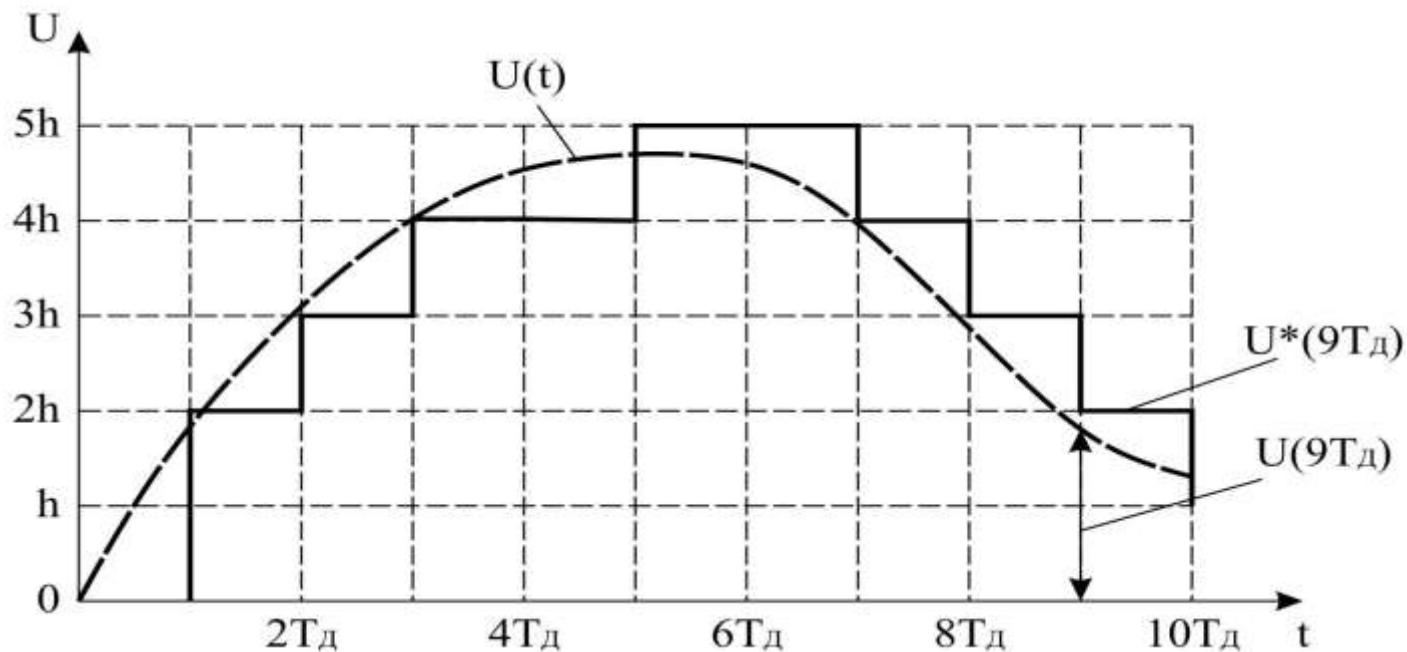
Сигма-дельта производит аналого-цифровое преобразование с частотой дискретизации, во много раз превышающей требуемую и путём фильтрации оставляет в сигнале только нужную спектральную полосу.

АЦП



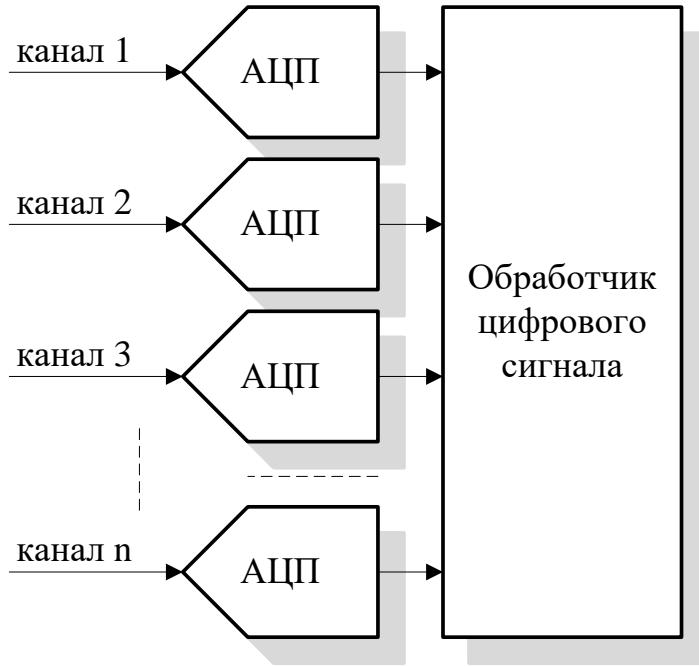
- Большинство применений АЦП в настоящее время относятся к четырем сегментам:
- точные промышленные измерения;
- Видео-аудиоаппаратура;
- сбор данных;
- Научные исследования «высокоскоростные» АЦП ($\gg 10$ МГц)

Алгоритм аналого-цифрового преобразования

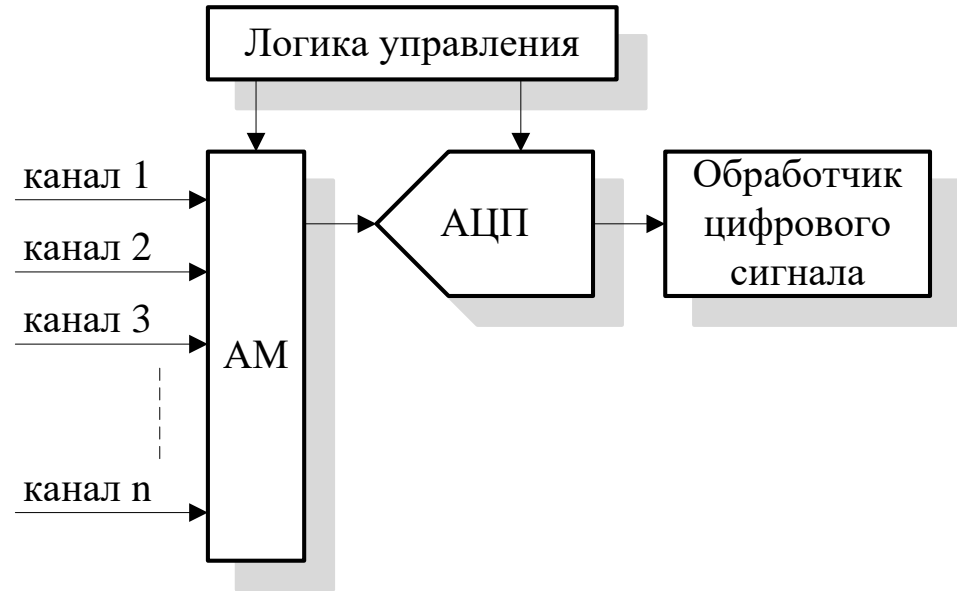


1. Дискретизация по времени (выборка)
2. Квантование по уровню
3. Кодирование сигнала

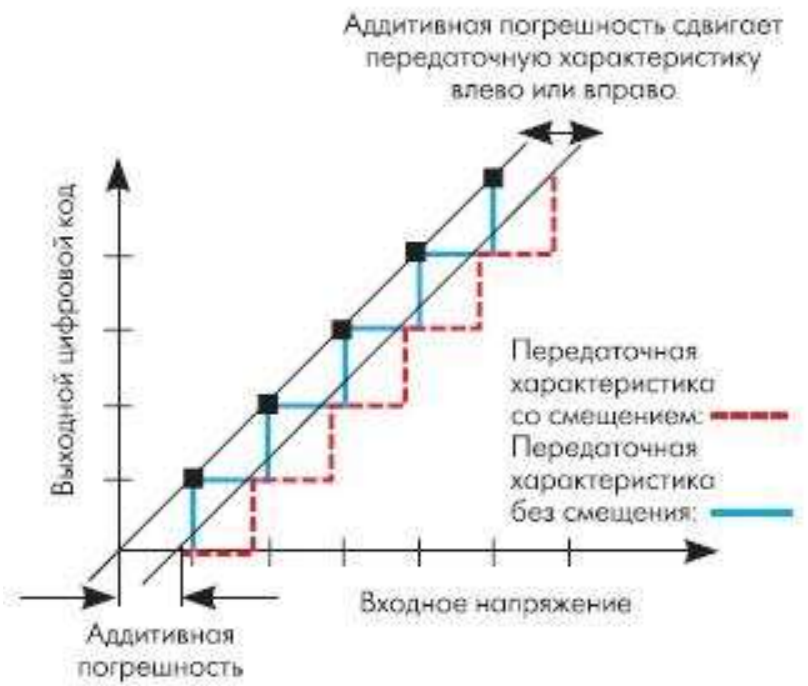
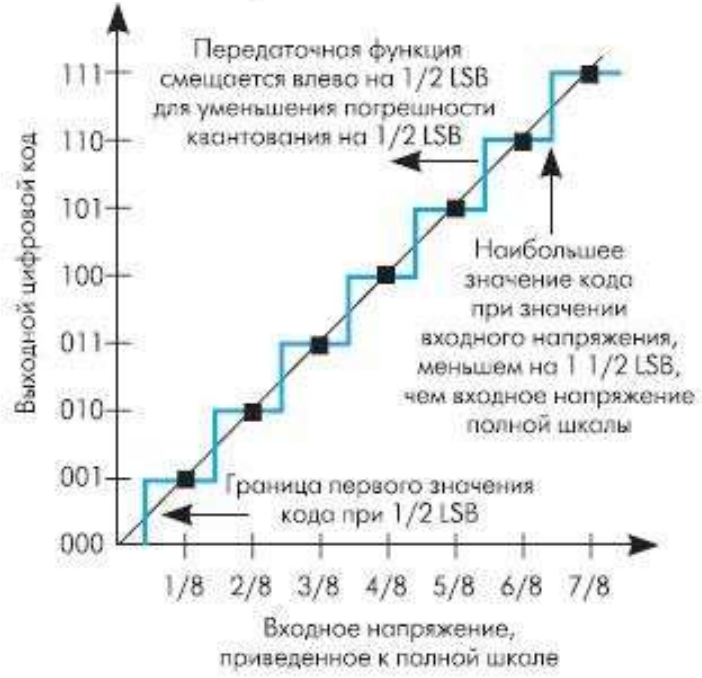
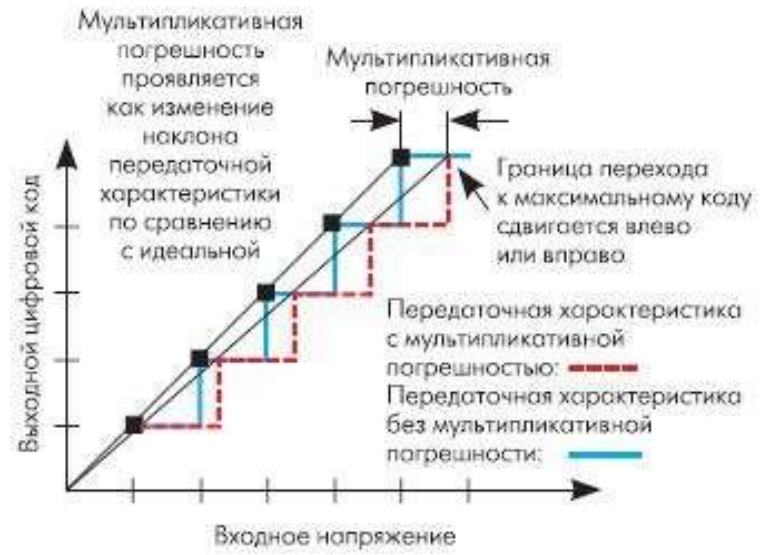
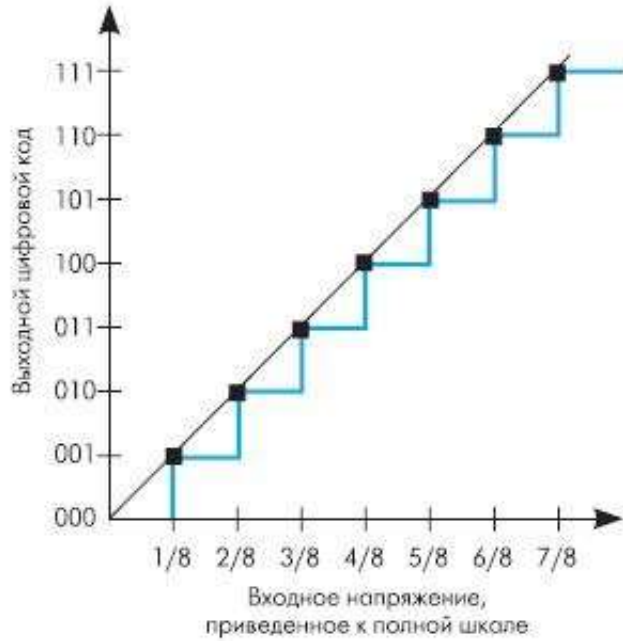
Многоканальные АЦП

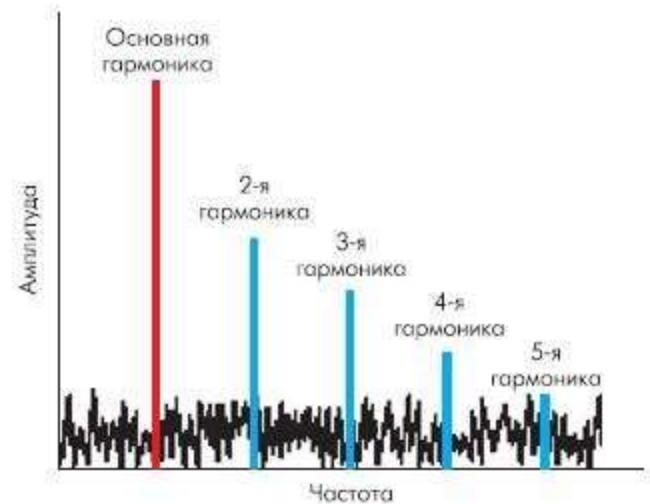
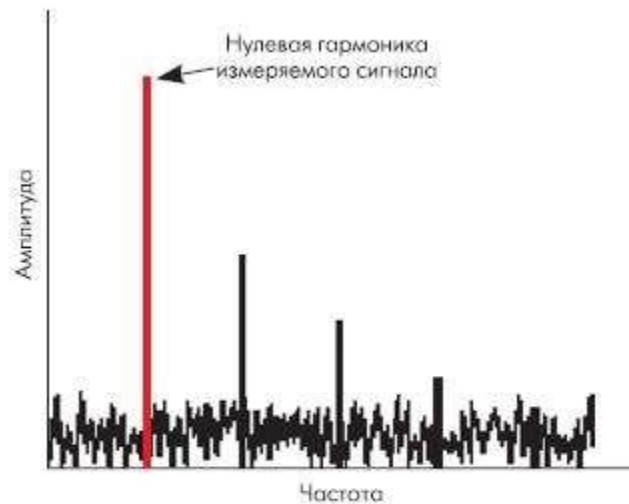
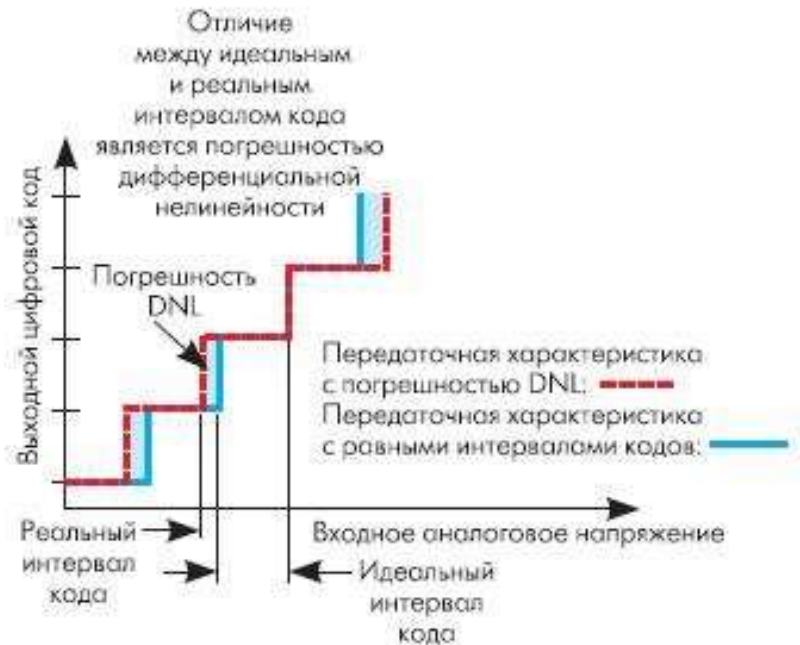
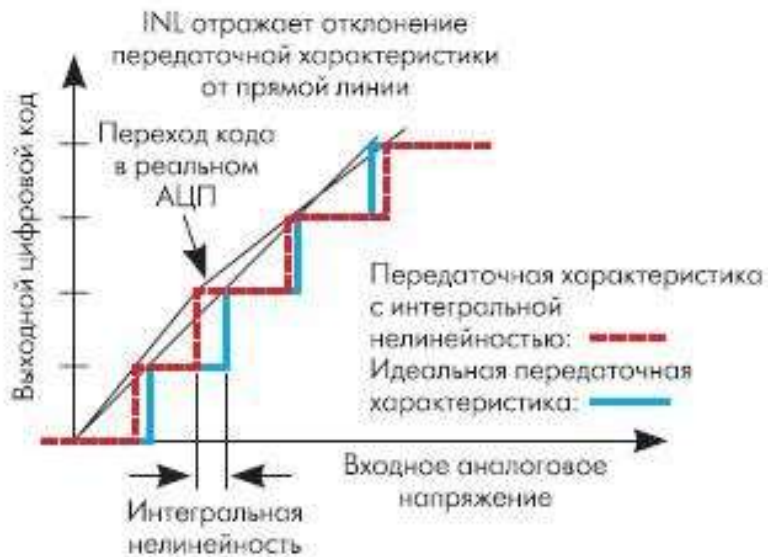


Использование нескольких АЦП

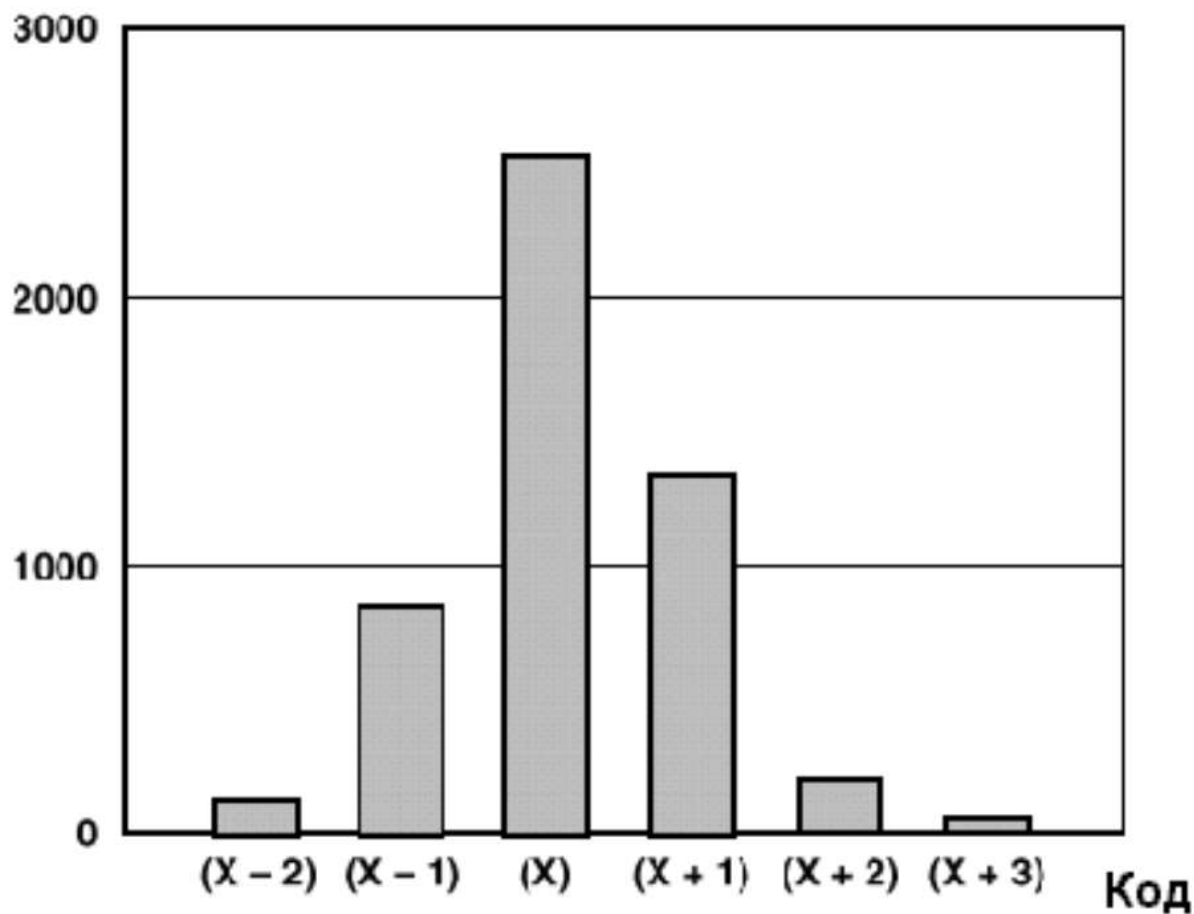


Использование аналогового мультиплексора

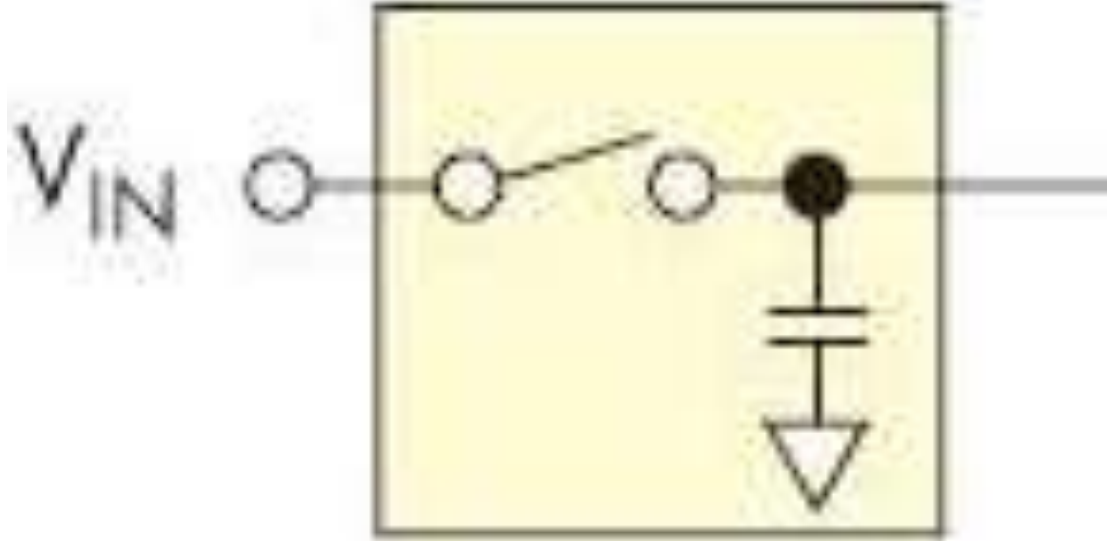




В идеале, повторяющиеся преобразования фиксированного постоянного входного сигнала должны давать один и тот же выходной код. Однако, вследствие неизбежного шума в схемах АЦП, существует некоторый диапазон выходных кодов для заданного входного напряжения. Если подать на вход АЦП постоянный сигнал и записать большое число преобразований, то в результате получится некоторое распределение кодов.

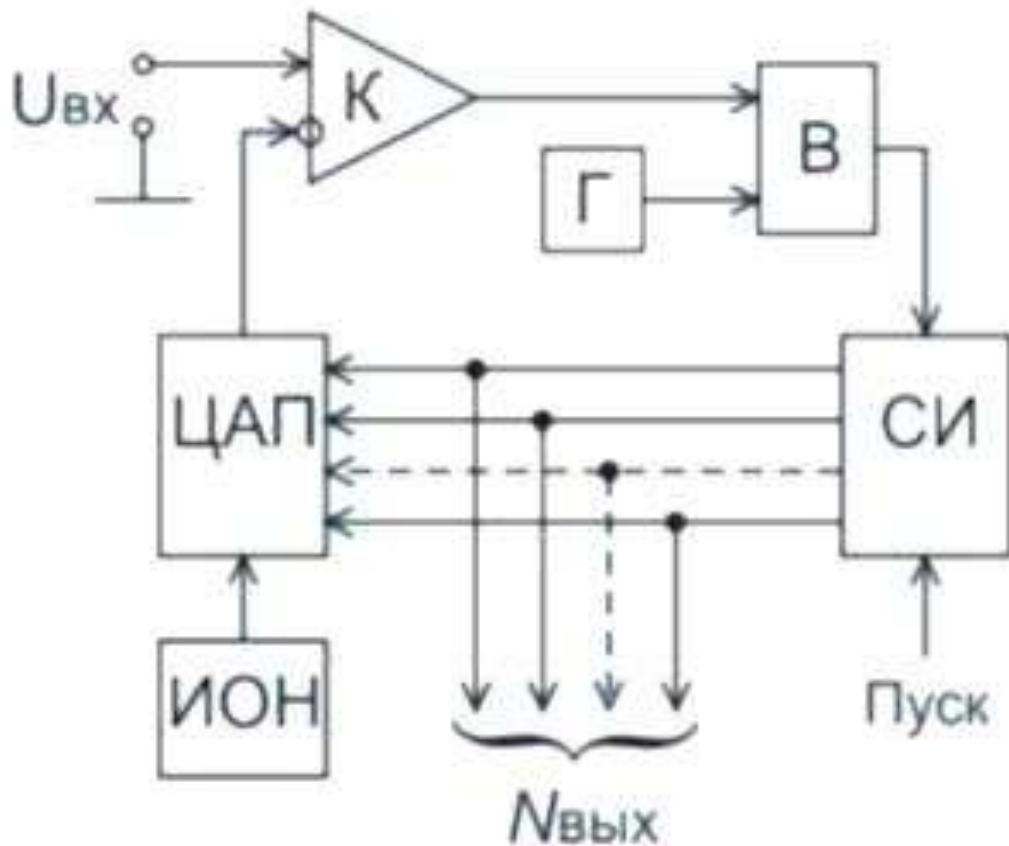
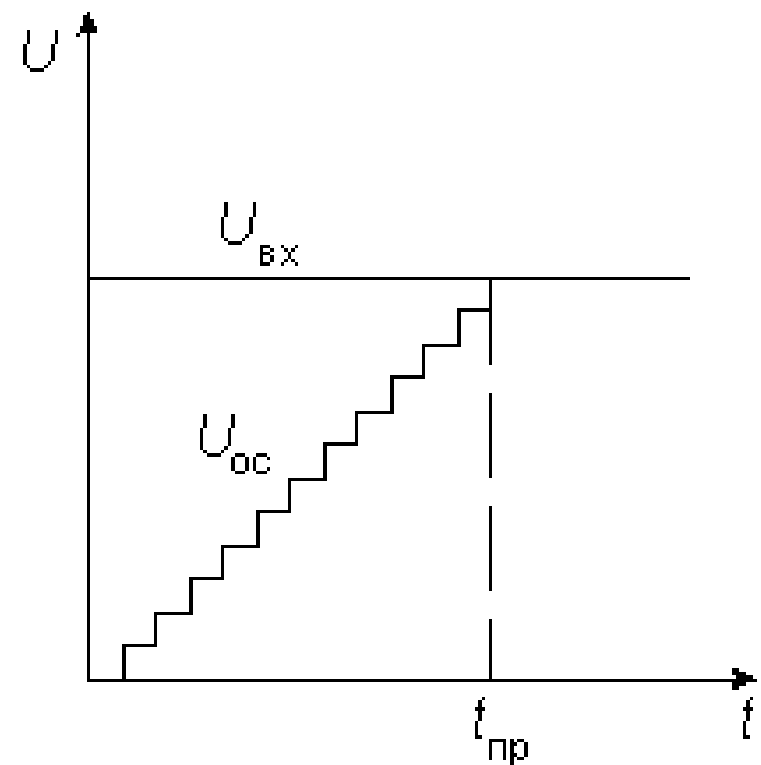


Устройство выборки хранения



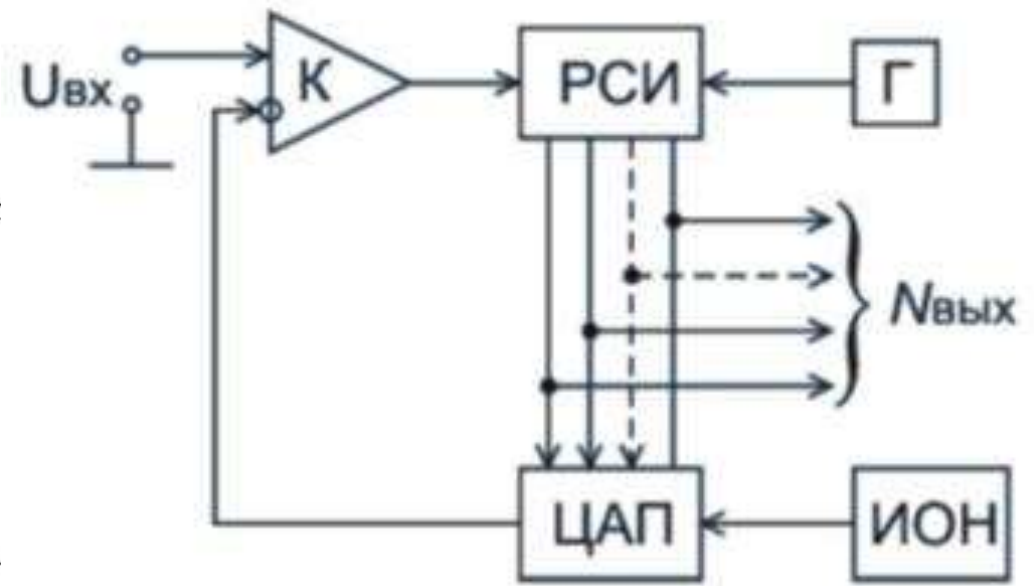
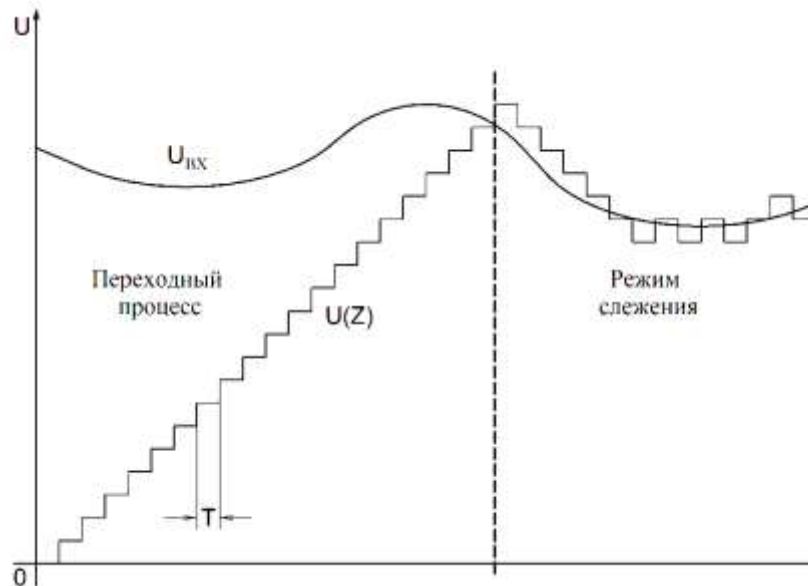
АЦП последовательного счета

АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений АЦП последовательного счета. Структурная схема АЦП последовательного счета.



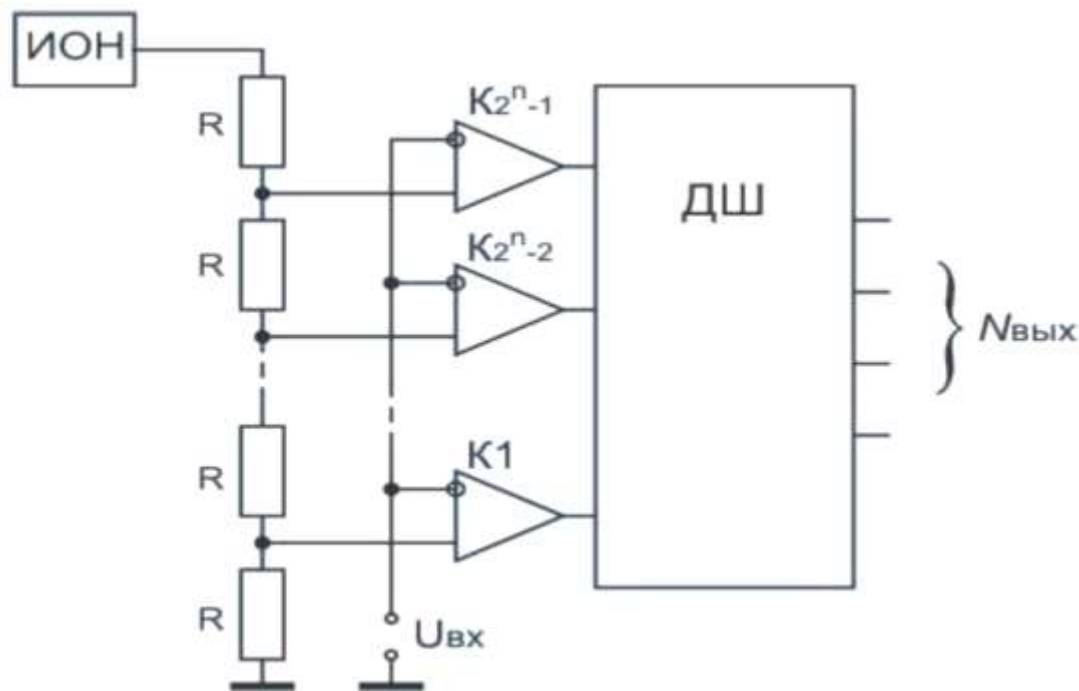
Следящей АЦП

В схеме используется реверсивный счетчик импульсов (РСИ). Выходной сигнал компаратора K определяет направление счета. Первый цикл преобразования следящего АЦП аналогичен АЦП последовательного счета, т.е. РСИ заполняется тактовыми импульсами и на цифровых входах ЦАП формируется параллельный двоичный код.

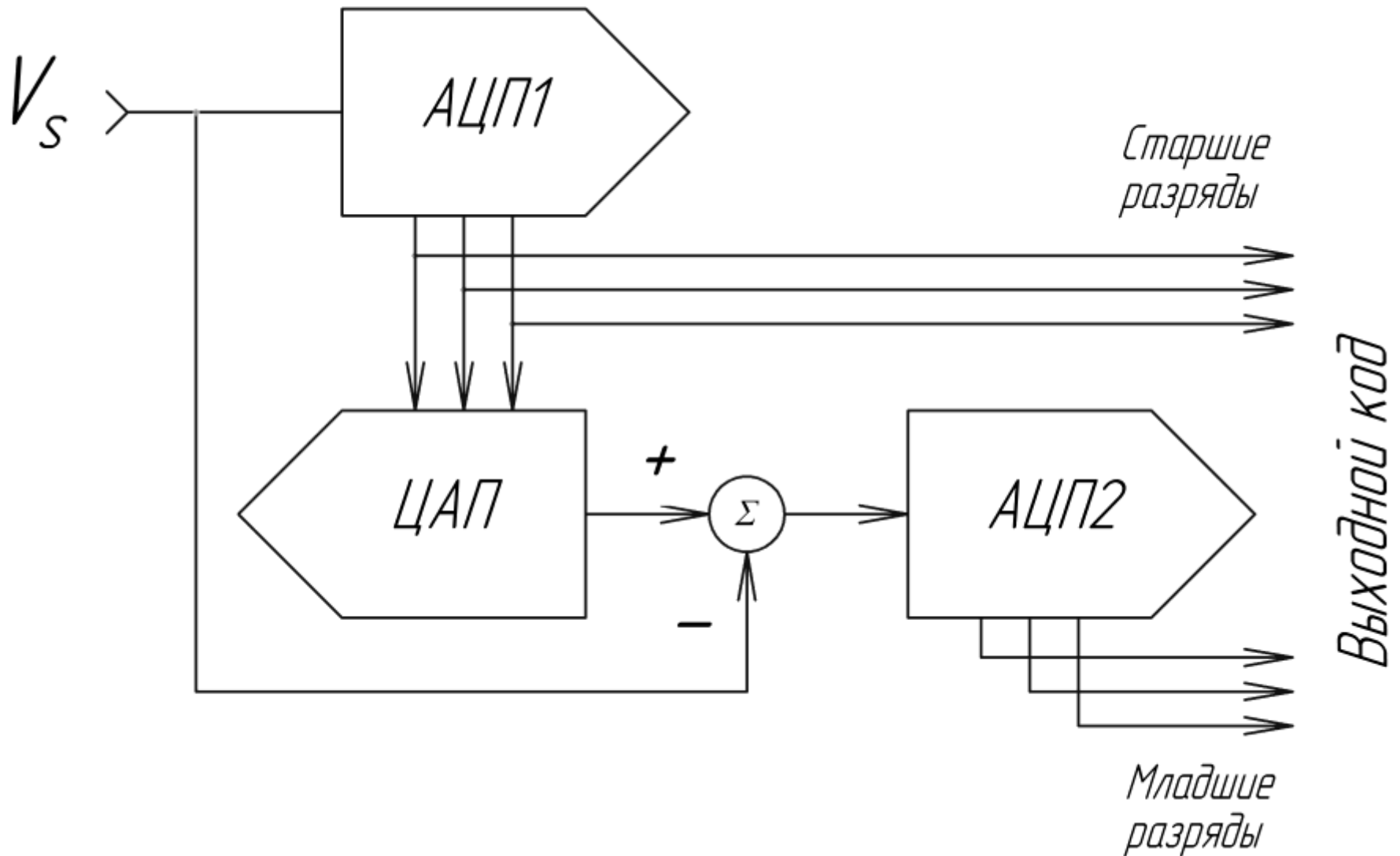


Параллельный АЦП

Данный тип АЦП является на сегодняшний день самым быстродействующим. В этой схеме с помощью прецизионного делителя напряжения задается сетка напряжений с шагом, соответствующим преобразуемому напряжению в младший разряд. Затем, с помощью компараторов, эта сетка сравнивается с входным напряжением, и на выходе компаратора формируется код Джонсона, который с помощью дешифратора преобразуется в двоичный код.

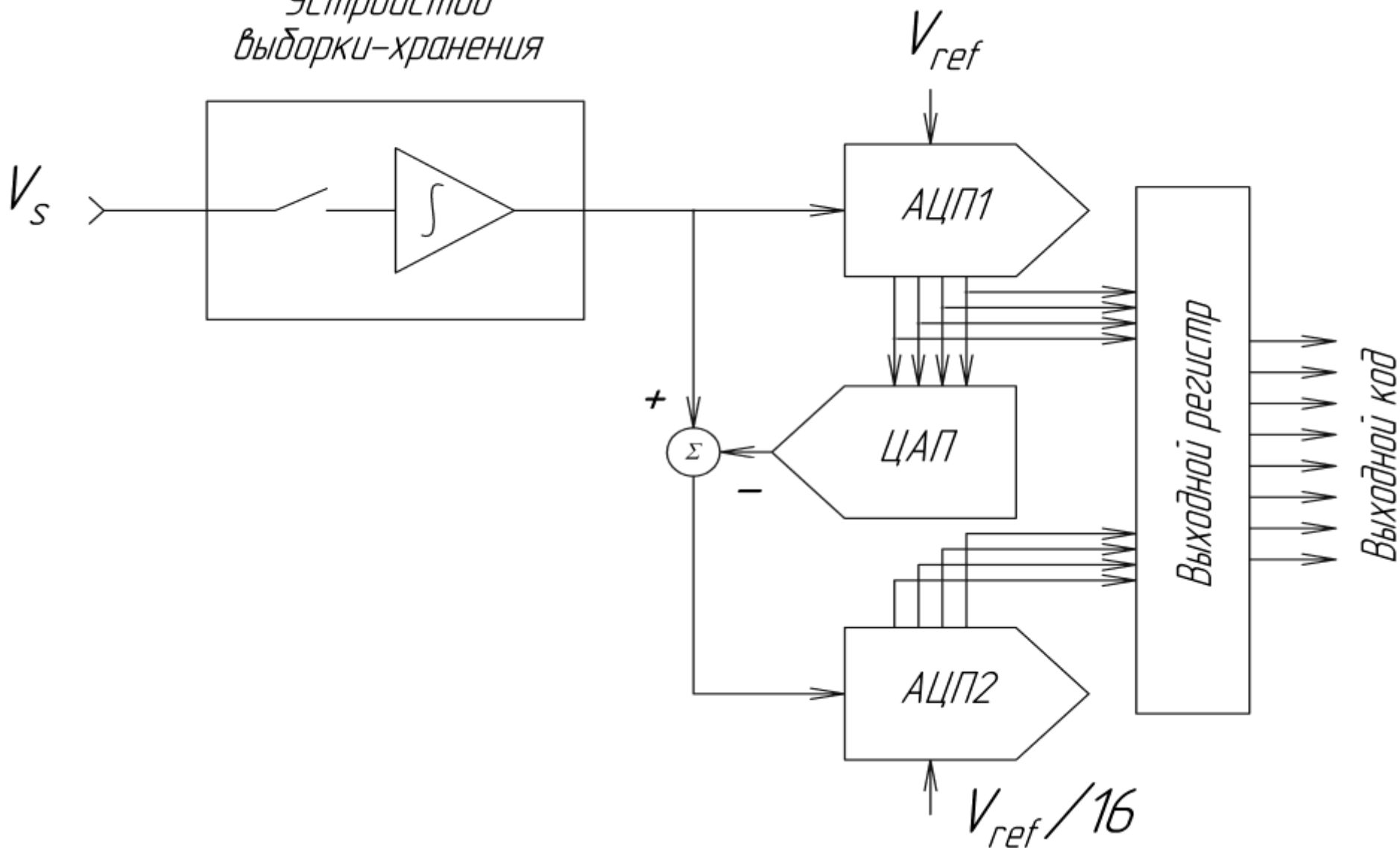


Последовательно-параллельный АЦП



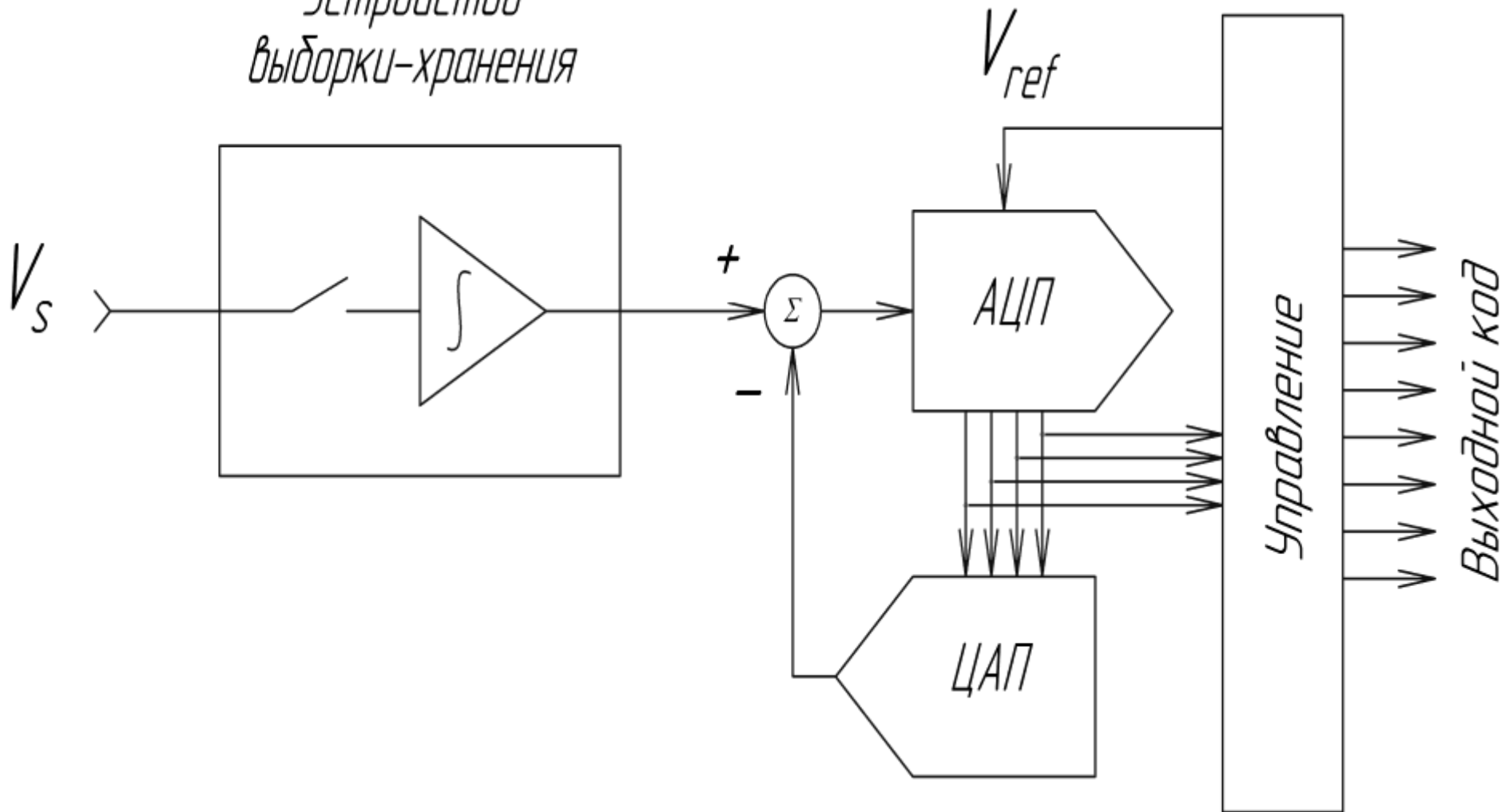
Двухступенчатый АЦП

*Устройство
выборки-хранения*



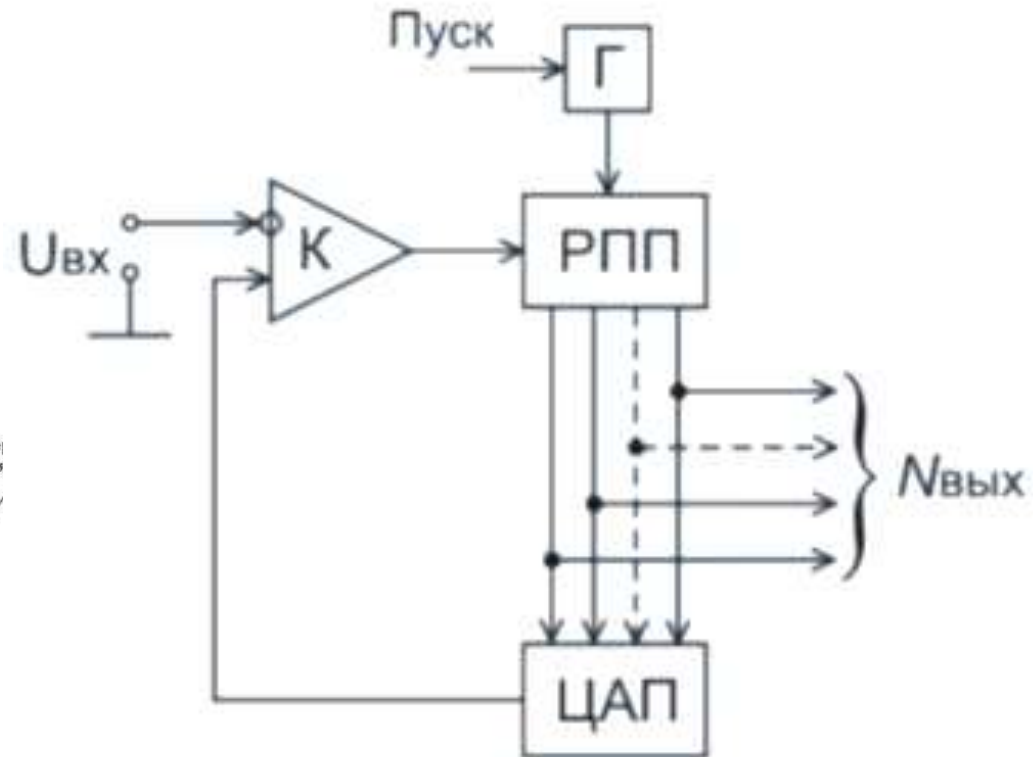
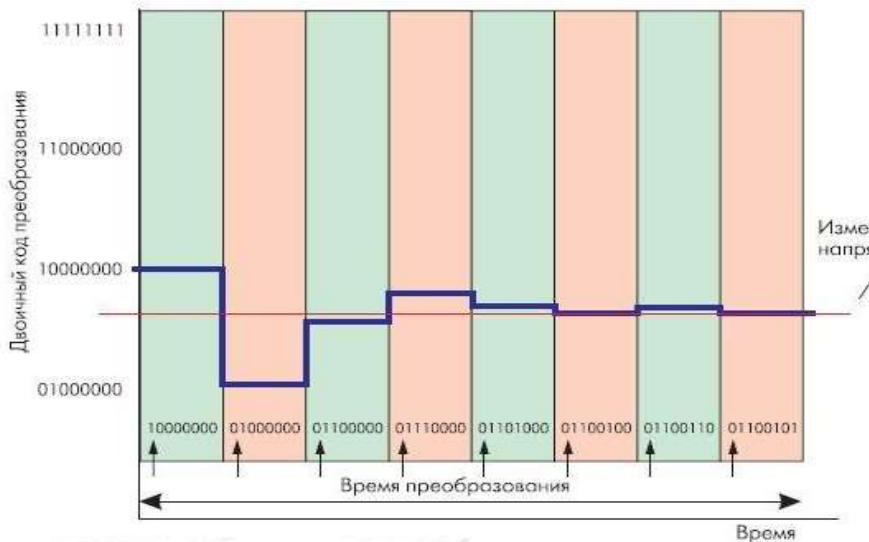
Много-тактный АЦП

*Устройство
выборки-хранения*

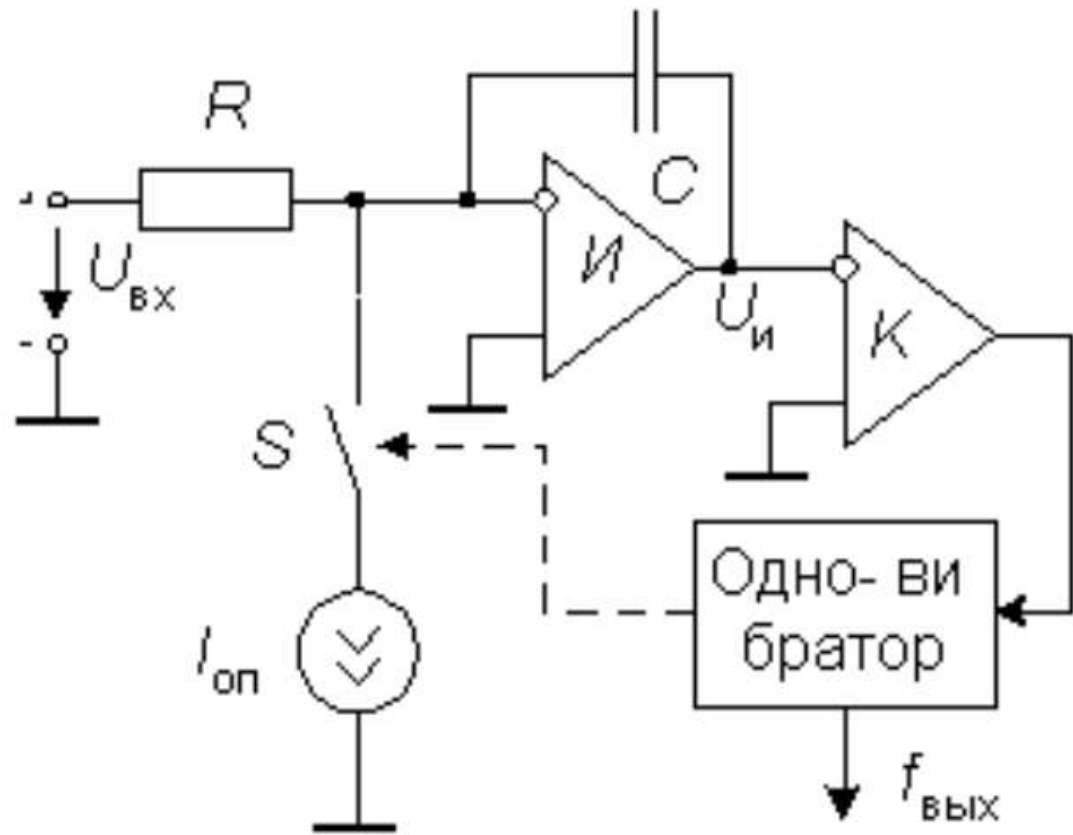
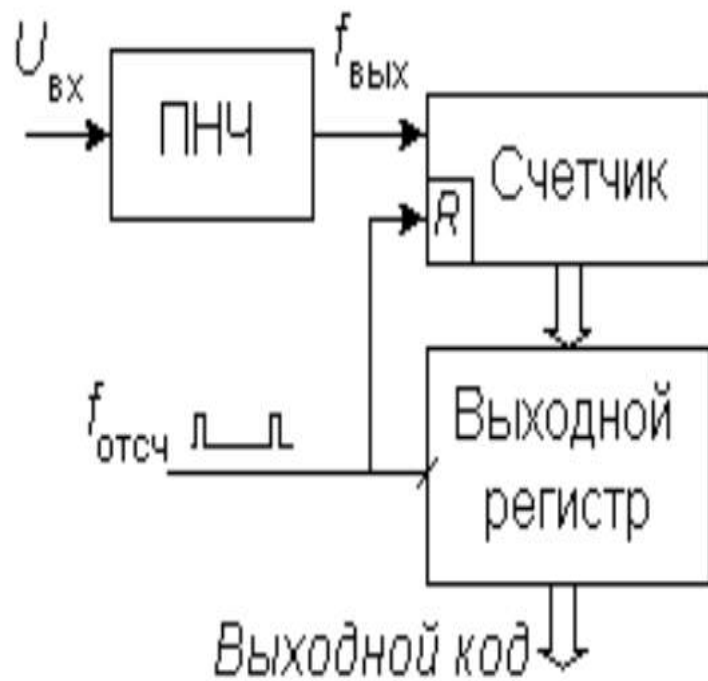


АЦП последовательного приближения

Код в регистре (РПП – регистр последовательных приближений) меняется так, чтобы обеспечить наиболее близкое значение входного напряжения с выходным напряжением ЦАП. Уравновешивание начинается со старшего разряда. В этом разряде в начале устанавливается 1 и оценивается знак разности сигналов (входного и с выхода ЦАП). Если знак “+” (входное напряжение больше напряжения на выходе ЦАП), то 1 в старшем разряде сохраняется, а добавляется единица в следующий разряд. Если же знак “-”, то в старший разряд записывается 0, а в более младший – единица. Процесс уравновешивания продолжается до тех пор, пока не осуществится уравновешивание самого младшего разряда.

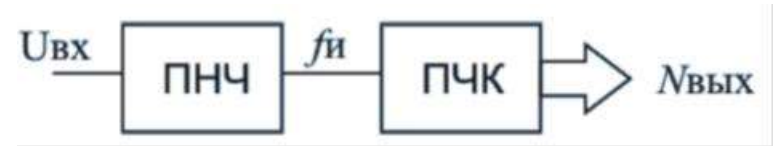


Преобразователи напряжение-частота



АЦП с зарядом конденсатора (интегрирующие АЦП)

• Принцип работы АЦП с зарядом конденсатора основан на преобразовании в код отрезка времени, необходимого для заряда конденсатора до некоторого опорного уровня напряжения или до уровня входного напряжения.

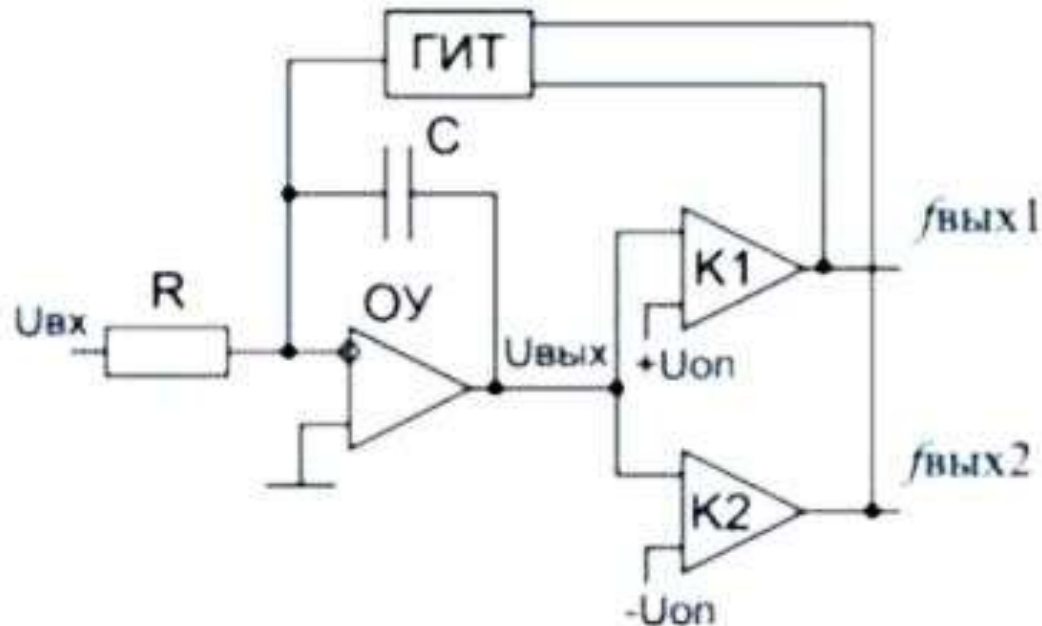


АЦП с преобразованием напряжения в частоту.

- ПНЧ – преобразователь напряжение – частота; ПЧК – преобразователь частота – код
- ПНЧ строятся на основе интегратора и компараторов напряжения

В этом преобразователе выходное напряжение интегратора $U_{\text{вых}}(t) = U_{\text{вх}}/T_{\text{инт}}$,

где $T_{\text{инт}} = RC$ – постоянная времени интегратора. Оно линейно меняется во времени до момента срабатывания одного из компараторов при превышении выходным напряжением интегратора значения порога срабатывания $+U_{\text{оп}}$ или $-U_{\text{оп}}$.

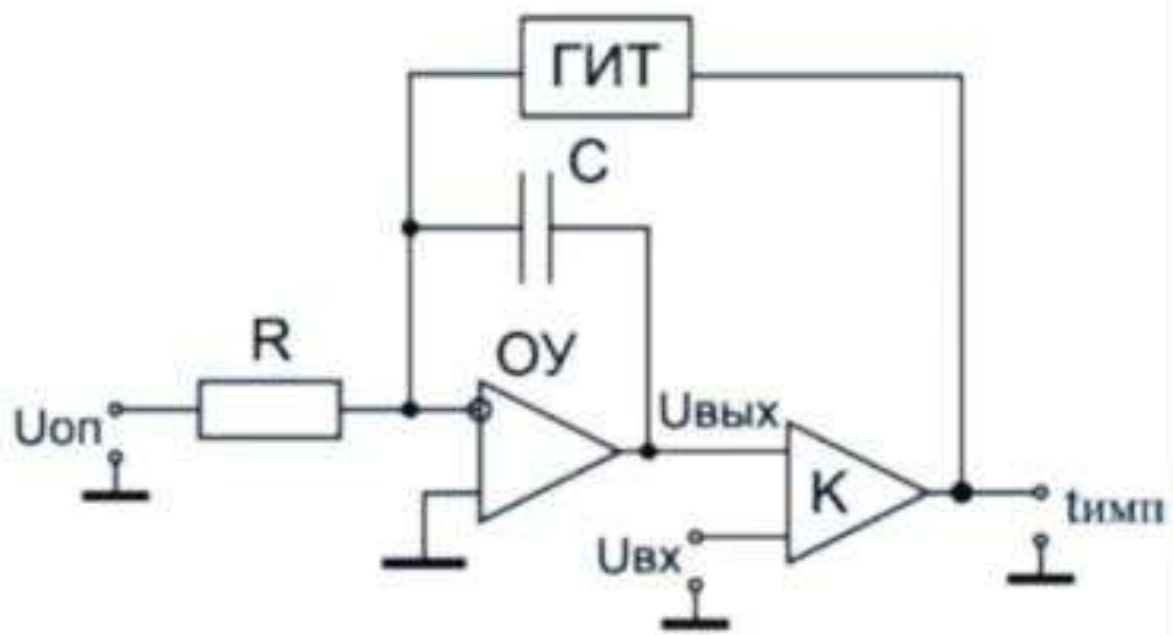


- **АЦП с модуляцией длительности импульса**

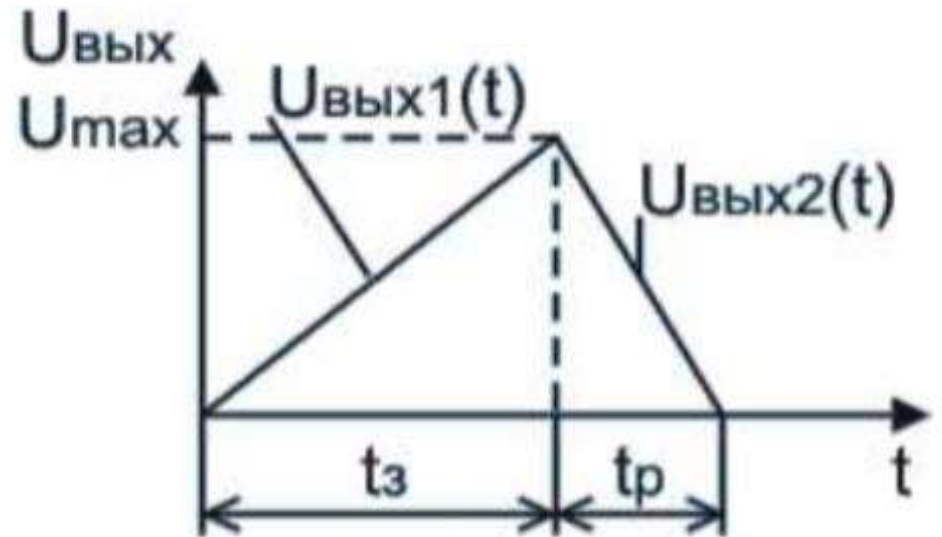
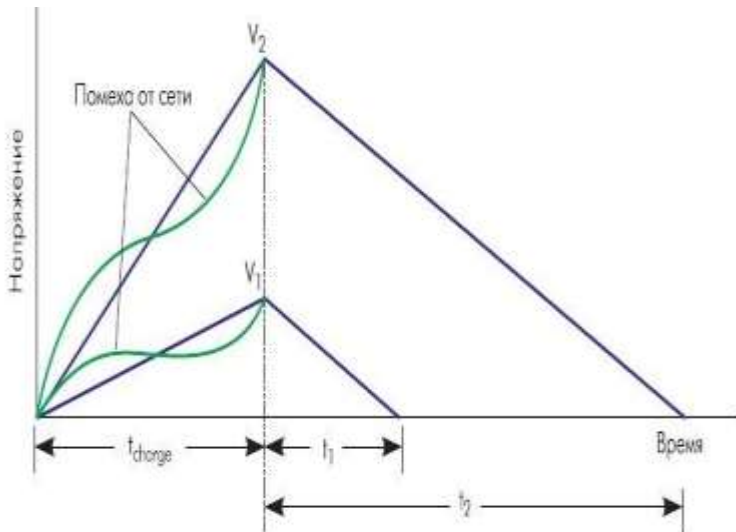
- ПНВ – преобразователь напряжение – время;

- ПВК – преобразователь время – код

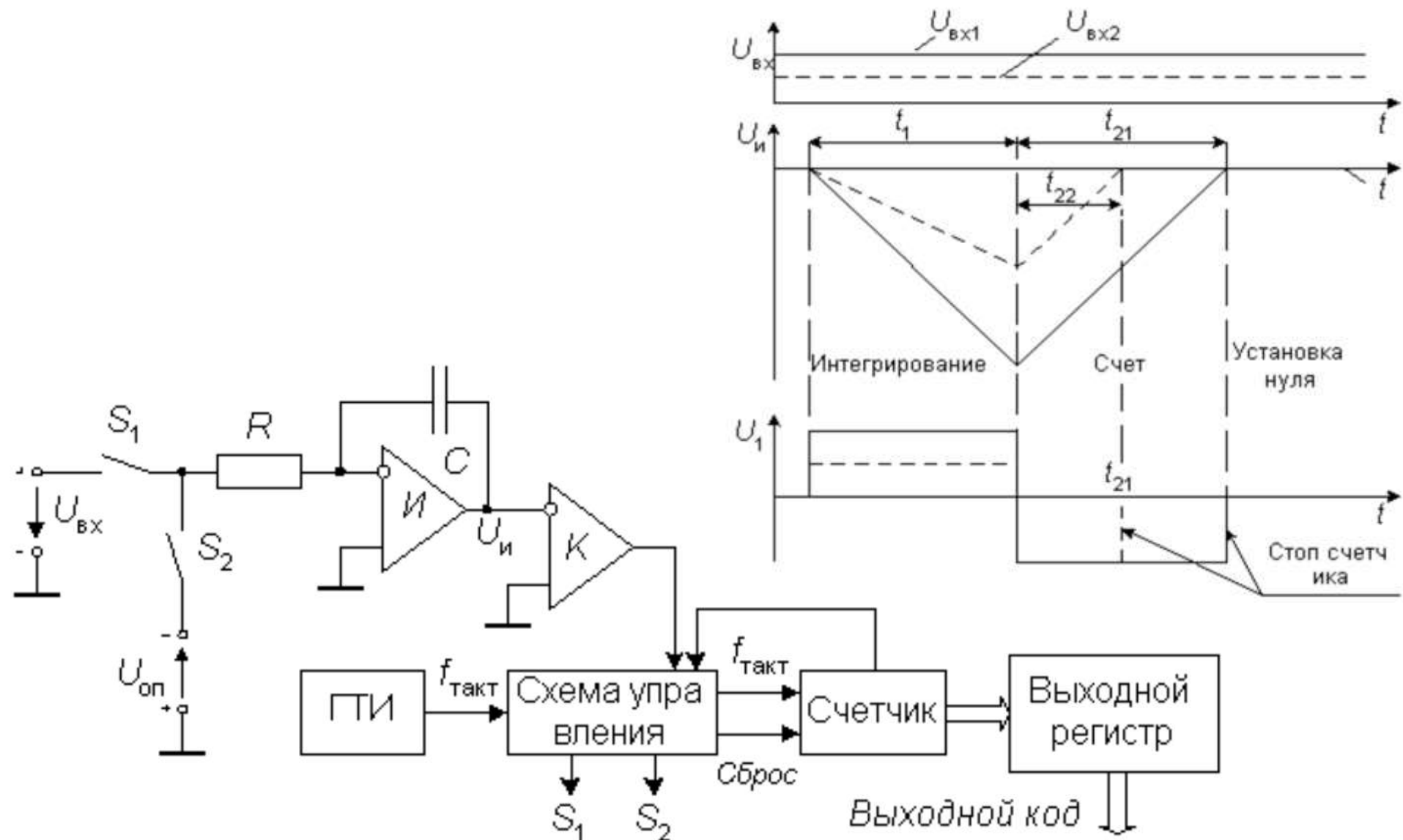
- Они характеризуются тем, что уровень входного аналогового сигнала $U_{вх}$ преобразуется в импульс, длительность которого $t_{имп}$ является функцией значения входного сигнала и преобразуется в цифровую форму с помощью подсчета числа периодов опорной частоты, которые укладываются между началом и концом импульса. Выходное напряжение $U_{вых}(t)$ интегратора под действием подключенного к его входу $U_{оп}$ меняется от нулевого уровня со скоростью $v_{вых} = U_{оп}/T_{имп}$.

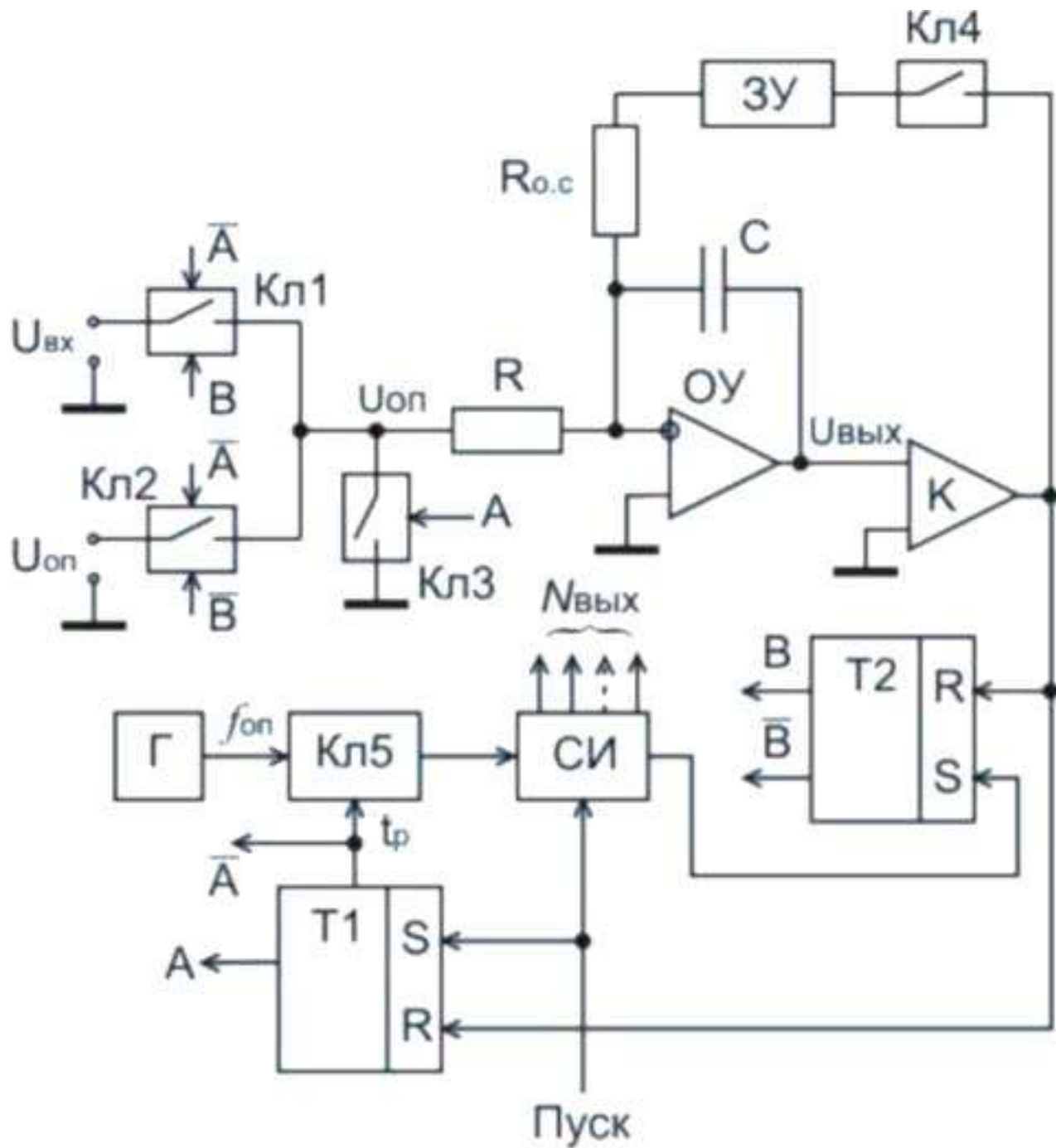


Двухтактный интегрирующий АЦП (АЦП с двойным интегрированием) обладает более высокими метрологическими характеристиками. Во время первого такта работы такого АЦП происходит заряд интегрирующего конденсатора C интегратора входным напряжением $U_{вх}$ и выходное напряжение интегратора меняется по закону $U_{вых1}(t) = U_{вх}t/t_{инт}$. Во время второго такта происходит разряд конденсатора C опорным напряжением $U_{оп}$ от достигнутого уровня U_{max} до значения U_0 , с которого был начат процесс зарядки, т.е. во втором такте выходное напряжение интегратора меняется по закону $U_{вых2}(t) = U_{max} - U_{оп}t/t_{инт}$. Время заряда интегрирующего конденсатора t_3 строго фиксировано, а амплитуда напряжения U_{max} , до которого успевает зарядиться конденсатор C , определяется уровнем входного напряжения $U_{вх}$. В свою очередь, время разряда t_p непостоянно и зависит от преобразуемого напряжения.

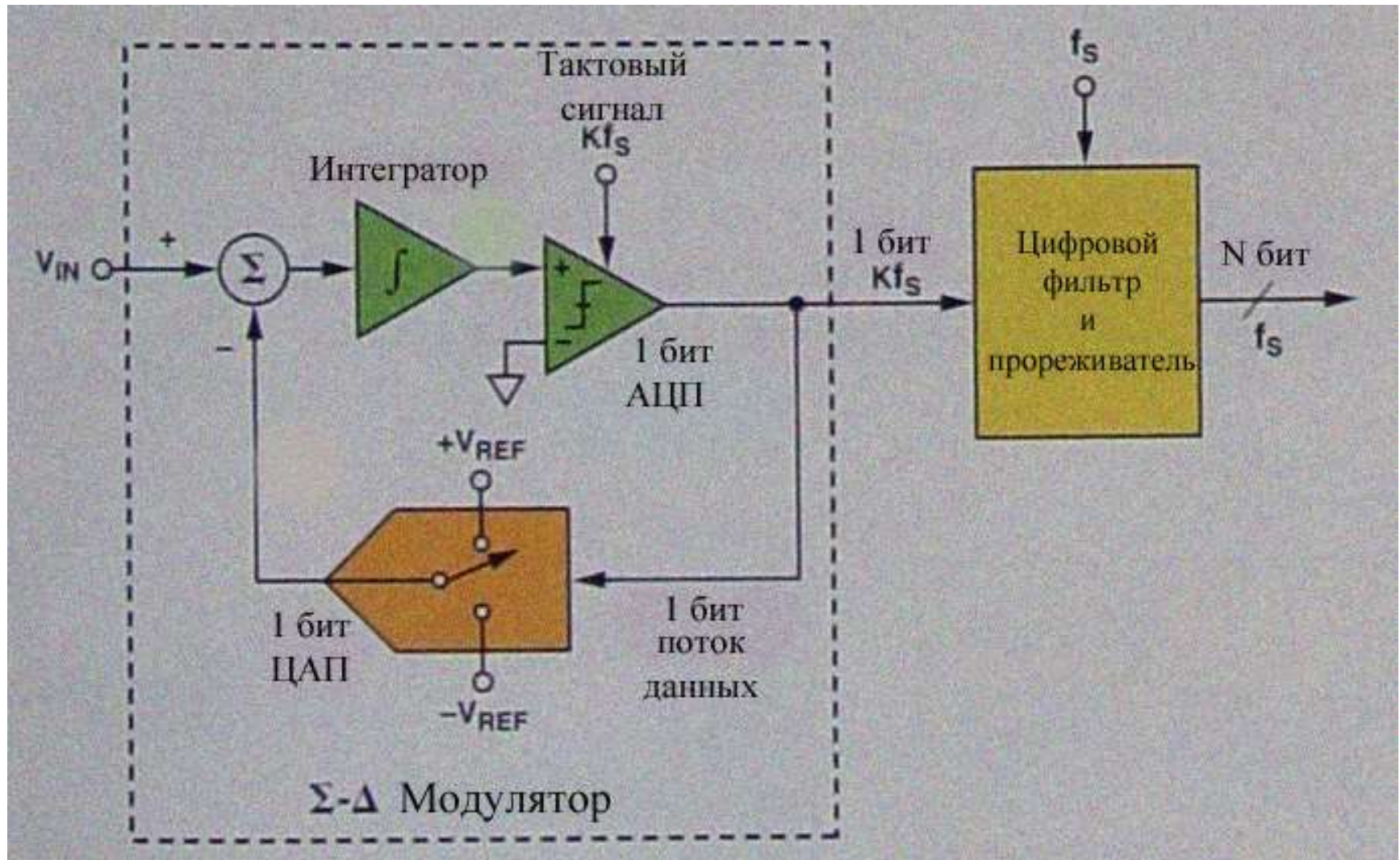


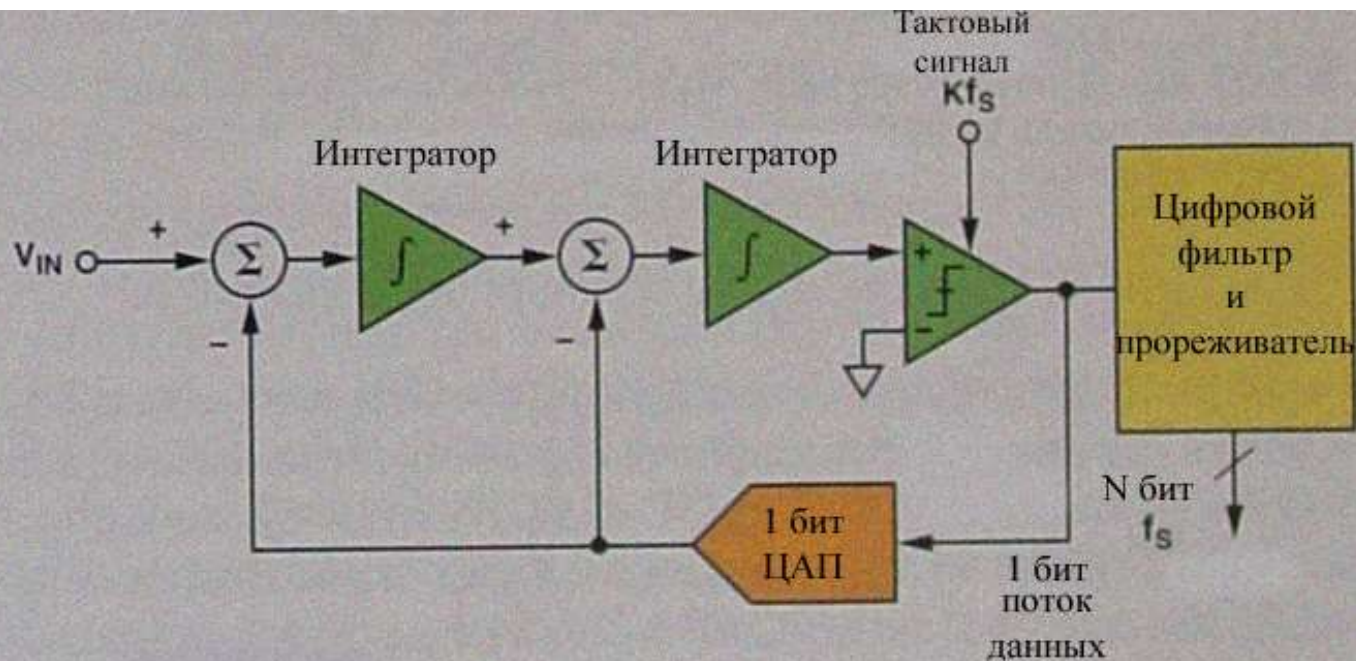
АЦП двухтактного интегрирования



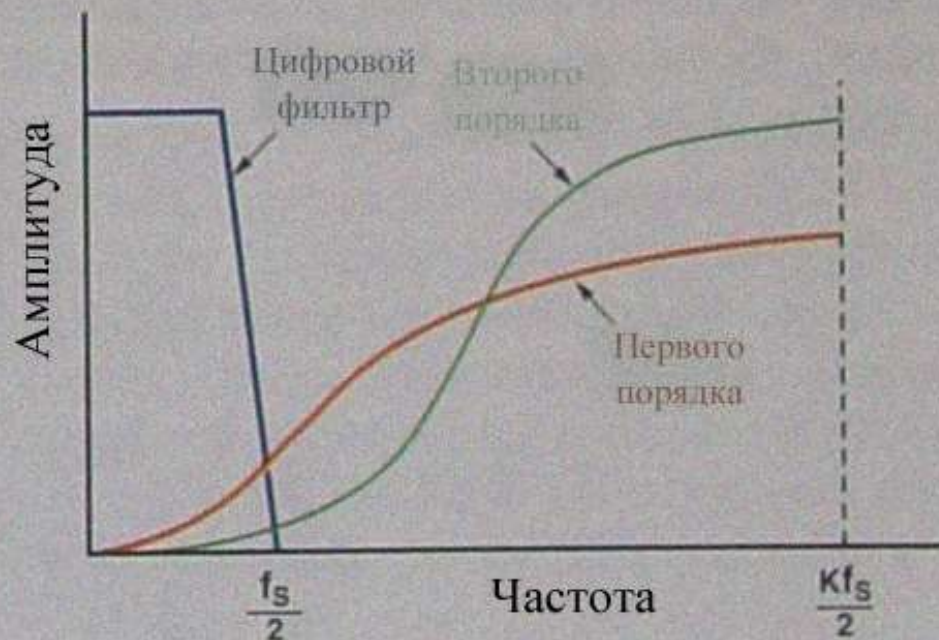


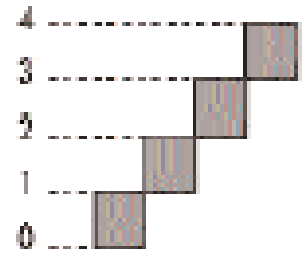
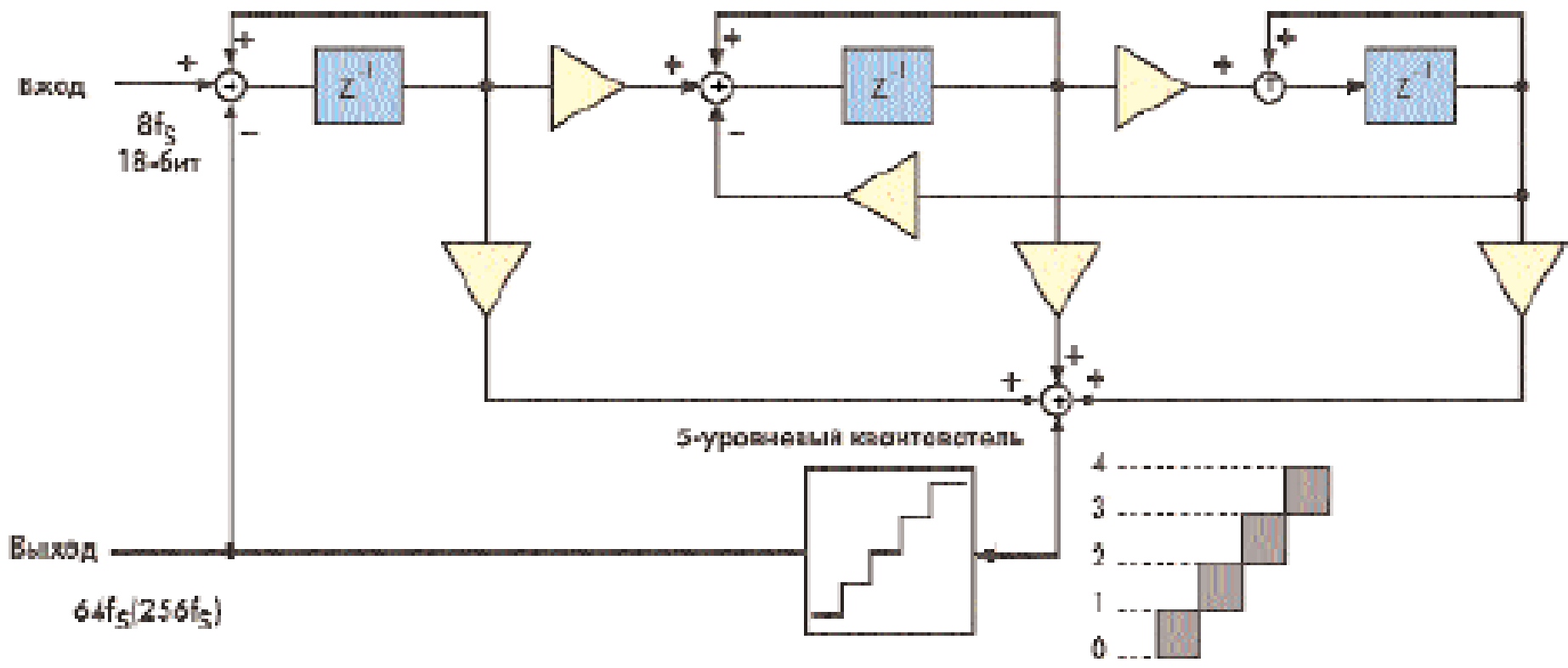
АЦП типа сигма-дельта первого порядка





Характеристики
 ограничения шума
 модуляторов 1-го
 и 2-го порядков

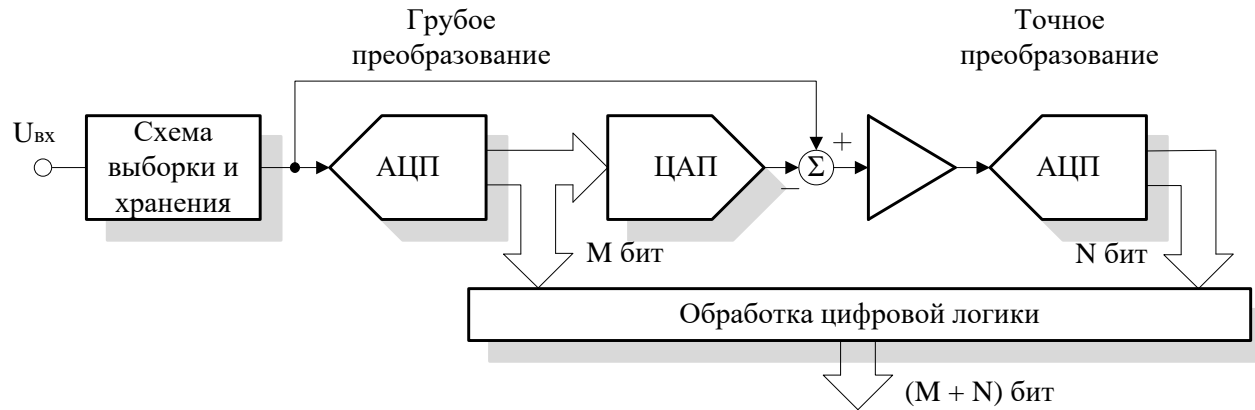




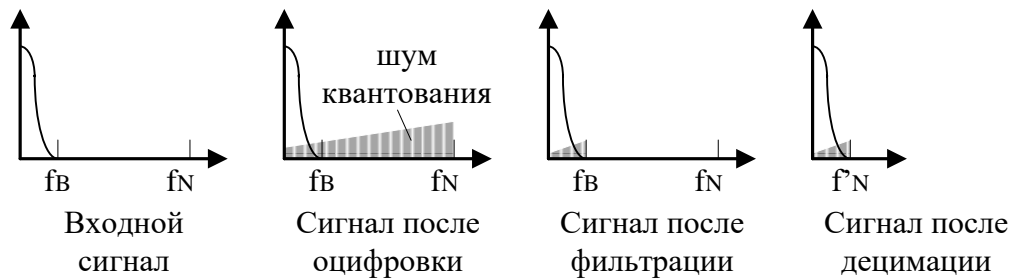
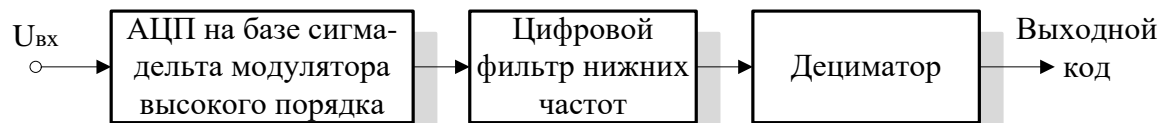
Конвейерные АЦП

- Для частоты выборки >10 МГц, обычно используют конвейерные АЦП, в отличие от 1980-х гг., когда для этого использовались параллельные АЦП (8 бит, 15 – 100 МГц) или дорогие модульные решения высокого разрешения. Хотя параллельные АЦП являются основой конвейерных АЦП, сами по себе они используются редко: только для частот выборки >1 ГГц при разрешении 6 – 8 бит. Высокоскоростные АЦП требуются для измерительных приборов (цифровые осциллографы, анализаторы спектра), радаров, радиосвязи, видеоаппаратуры (цифровые камеры, дисплеи, DVD, телевидение высокой четкости). Конвейерные АЦП созданы на основе архитектуры с использованием поддиапазонов

Архитектура АЦП

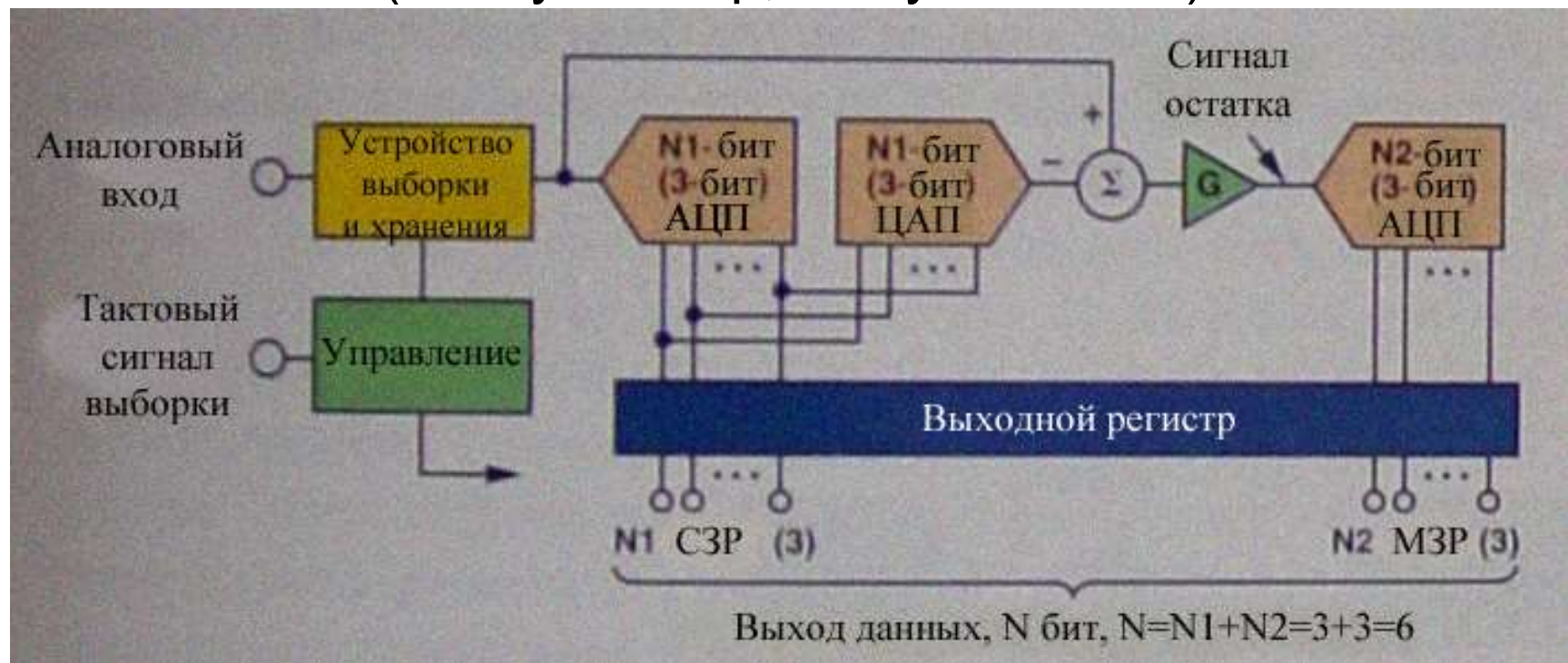


Конвейерная



Сигма - дельта

двухступенчатый шестиразрядный АЦП с использованием поддиапазонов. (Σ – сумматор; G – усилитель)

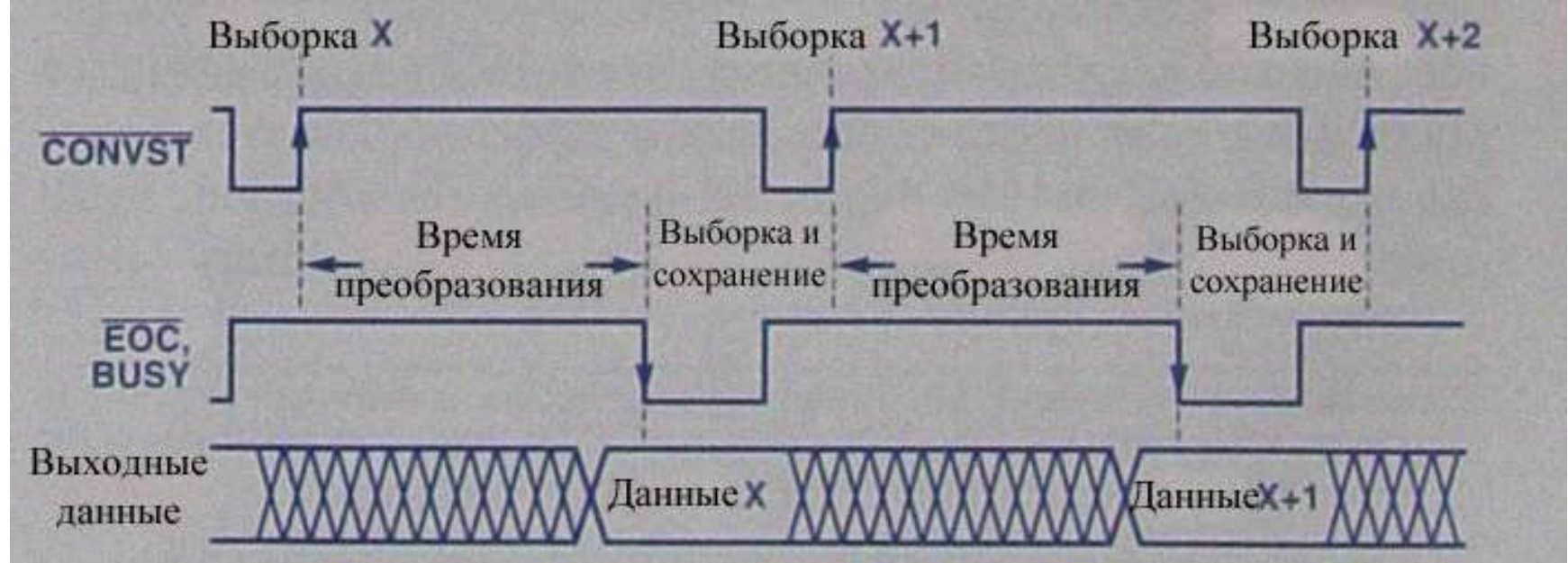


Современные конвейерные АЦП имеют разрядность до 14 бит и частоту выборки более 100 МГц. Они используются в приложениях, требующих высоких частот выборки, высокого соотношения сигнал-шум и свободного от помех во всем динамическом диапазоне, например, в базовых станциях сотовой связи.

Преобразователи данной архитектуры могут иметь разрядность до 8 бит, но их недостатком является необходимость согласования уровней сигнала после усилителя с диапазоном входного сигнала АЦП, т. к. рассогласование уровней и появление смещения сигнала приводит к потере значений и выходной код приобретает вид, показанный на рис. Для этого требуется, чтобы ЦАП и АЦП первой ступени имели точность, равную разрядности всего устройства.



- Для АЦП архитектуры сигма-дельта максимальный поток данных составляет $20 \text{ бит} \times 200 \text{ кГц} = 0,5 \text{ МБ/с}$. Такие показатели могут обеспечить интерфейсы RS-485, RS-232 (в некоторых реализациях), а также любой другой универсальный интерфейс. Высокоскоростные интерфейсы обычно не применяются с АЦП данной архитектуры, т. к. эти АЦП используются для обработки относительно низкочастотных сигналов, хотя и с большой разрядностью.
- Для АЦП последовательного приближения максимальный поток данных составляет $16 \text{ бит} \times 10 \text{ МГц} = 20 \text{ МБ/с}$. Достаточную пропускную способность в этом случае обеспечат интерфейсы PCI, USB 2.0, FireWire. В реальных серийных системах используются микросхемы АЦП со значительно меньшими частотами выборки, что позволяет использовать более медленные интерфейсы USB 1.1 и ISA.
- Для конвейерных АЦП максимальный поток данных составляет $8 \text{ бит} \times 1 \text{ ГГц} = 1 \text{ ГБ/с}$. Для получения такой пропускной способности требуется разработка специализированных интерфейсов; из универсальных интерфейсов производительности хватит только у PCI-Express при использовании не менее 8 линий передачи данных. Однако конвейерные АЦП не используются во внешних модулях сбора данных, а применяются в системах связи и обработки видеоинформации. Также при необходимости передачи таких объемов данных обычно применяется сжатие информации, снижающее нагрузку на внешний интерфейс.



Точностные характеристики и линейность этих приборов определяются в основном характеристиками встроенных ЦАП. В современных АЦП последовательного приближения (КМОП-технологии) используются ЦАП на переключаемых конденсаторах. Точность и линейность определяются точностью процесса фотолитографии, используемого при создании конденсаторов. Между основными конденсаторами возможно создание конденсаторов меньшей емкости, подключаемых при выполнении автоматических калибровочных процедур, что позволяет достичь больших точности и линейности и меньшей стоимости, чем подгонка номиналов тонкопленочных резисторов, ранее использовавшихся при создании ЦАП. Также приборы на переключаемых конденсаторах имеют большую термостабильность. КМОП-технология позволяет включать в состав АЦП входные мультиплексоры, схемы автоподстройки и другие устройства, позволяя реализовать всю систему сбора данных на одном кристалле.

Архитектура АЦП	Разрядность, бит	Частота выборки, МГц (max)	Наличие задержки выдачи выходного кода
Сигма-дельта	16-24	1	Есть
Последовательного приближения	8-18	3	Нет
Конвейерные	6-14	>100	Есть

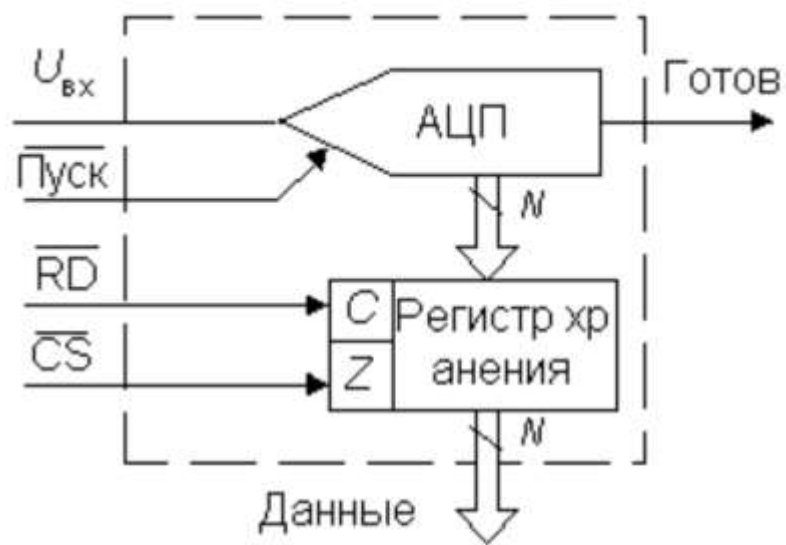
Интерфейсы АЦП

Старт-стоп программное управление.

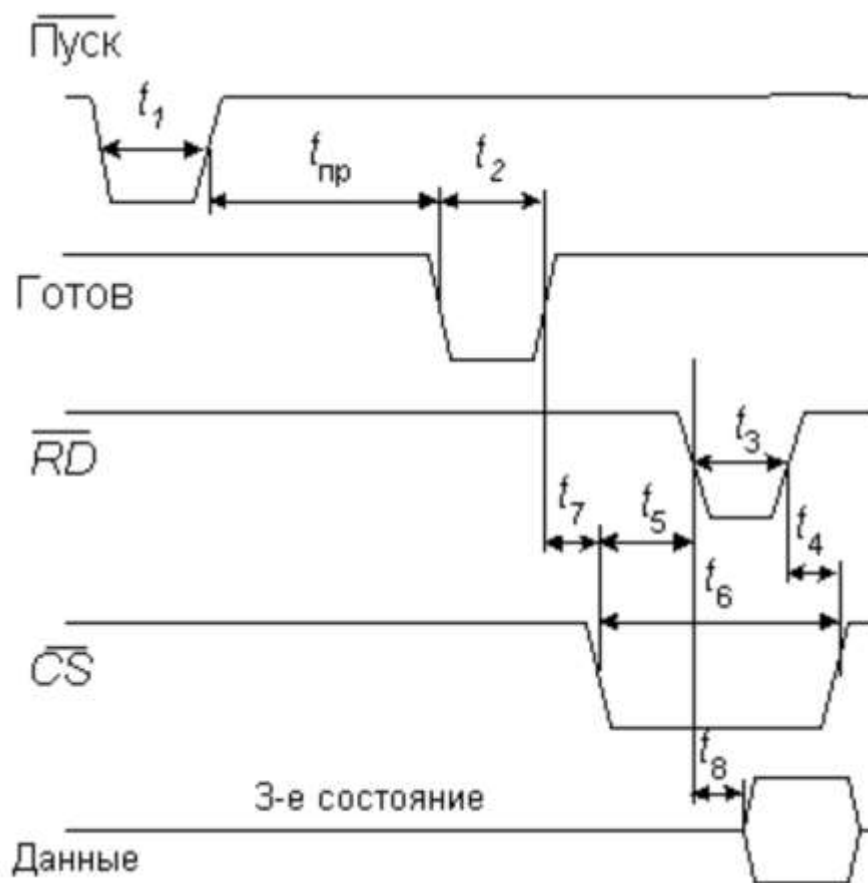
Прерывание.

Векторное прерывание.

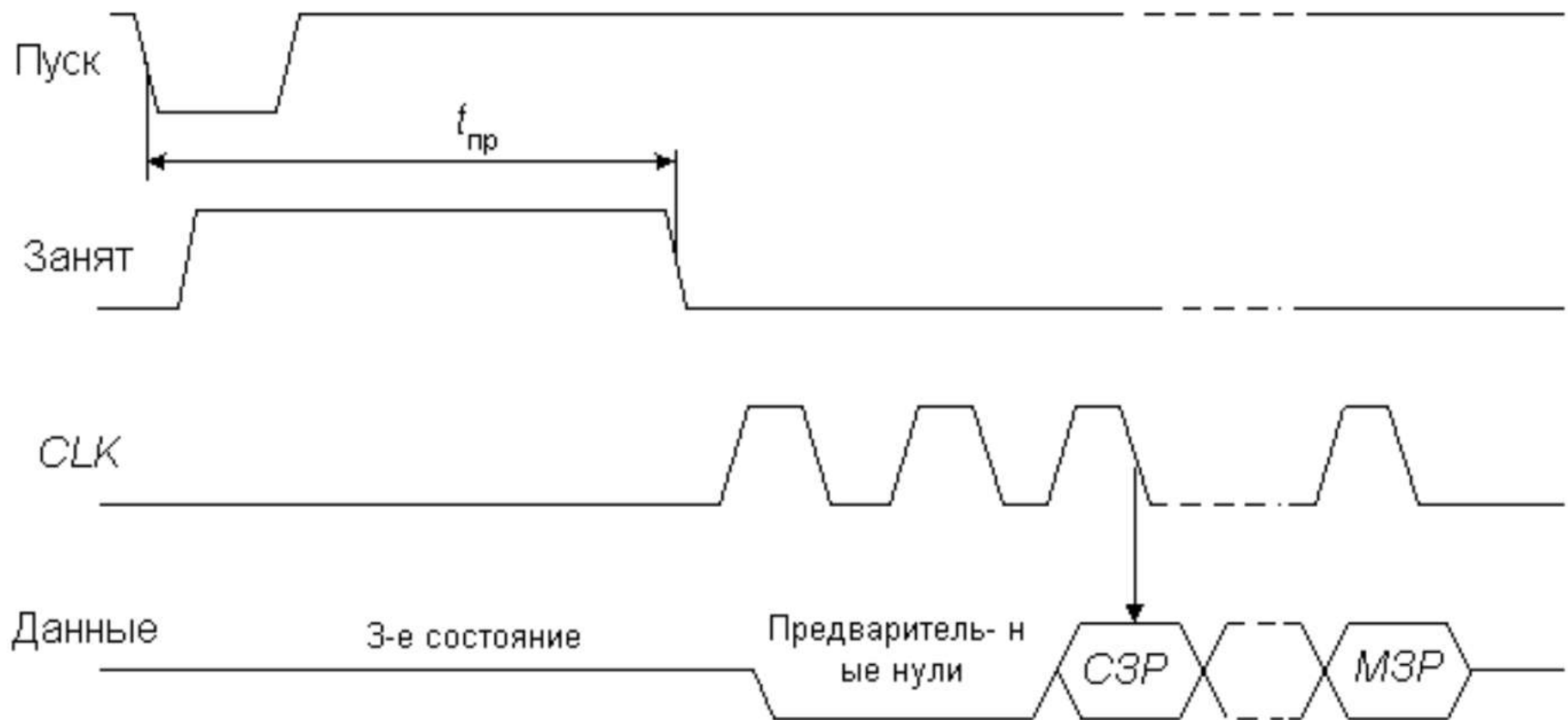
Прямой доступ к памяти.



а)



Последовательный



Вопросы для самопроверки

- Объясните назначение устройств ввода-вывода аналоговой информации в ЭВМ.
- Поясните устройство и принцип действия ЦАП.
- Поясните устройство и принцип действия АЦП последовательного счета.
- Поясните устройство и принцип действия АЦП последовательного приближения.
- Поясните устройство и принцип действия интегрирующего АЦП.
- Поясните устройство и принцип действия следящего АЦП.
- Расскажите о функциональном составе системы ввода-вывода аналоговой информации в РС.
- Назовите основные характеристики ЦАП и АЦП.