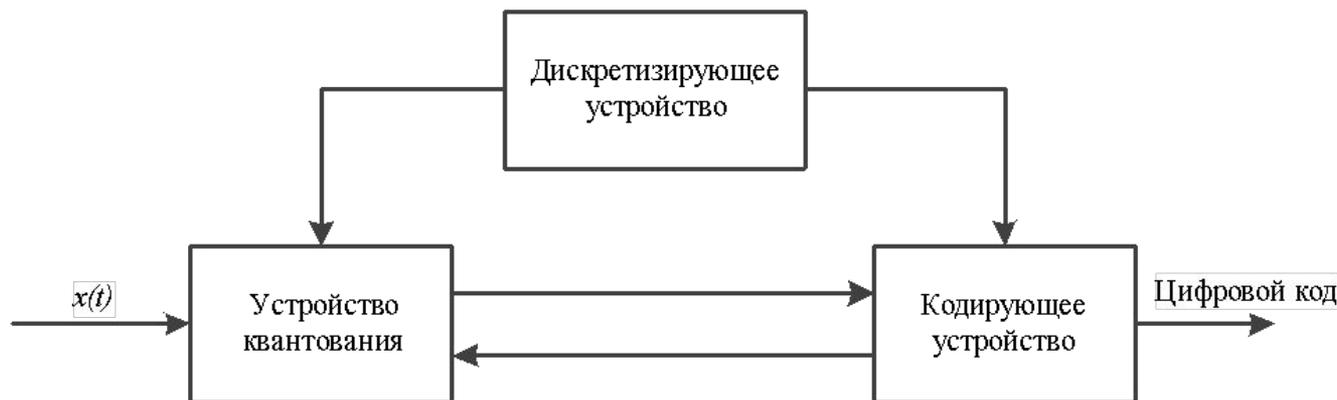


МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Лекция 18. Аналого-цифровые преобразователи

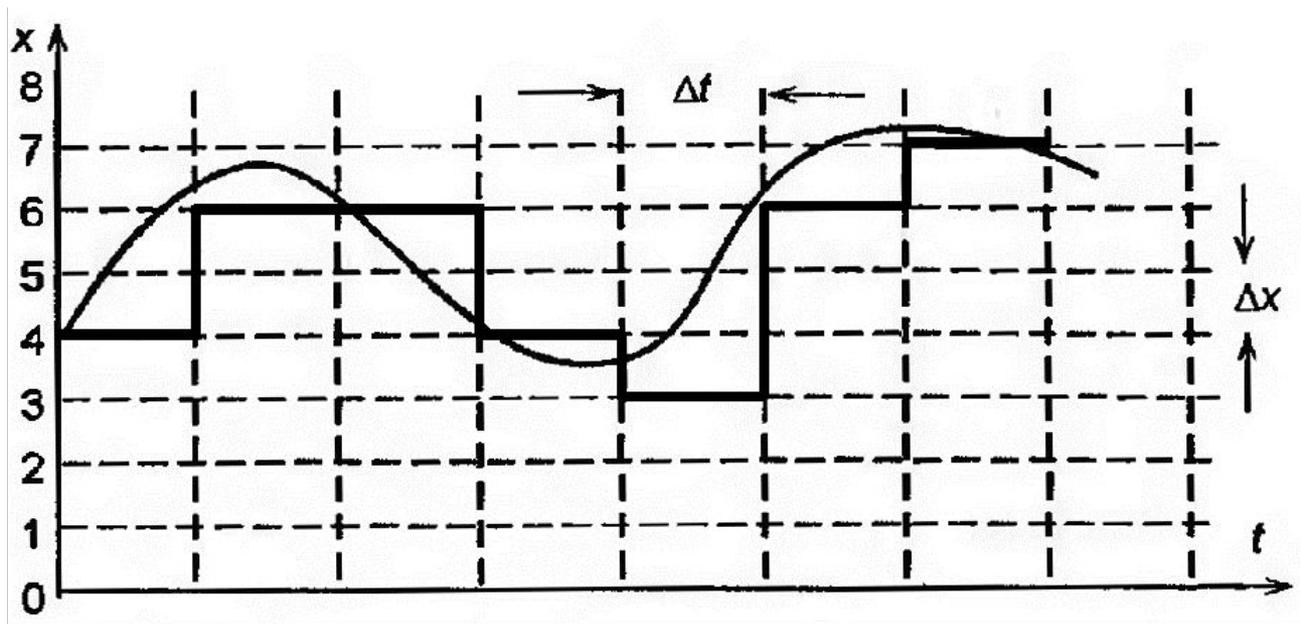
Общие принципы

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) является одним из основных функциональных элементов цифровых измерительных приборов. АЦП представляет собой устройство, обеспечивающее совокупность процессов квантования, дискретизации и кодирования аналогового сигнала.



В дискретизирующем устройстве реализуется процесс преобразования непрерывного во времени сигнала в дискретный сигнал. При этом значения дискретного сигнала равны мгновенным значениям исходного непрерывного сигнала в фиксированные моменты времени. Промежутки времени между двумя соседними дискретными моментами времени называют шагом дискретизации ().

Дискретизация



В цифровых измерительных приборах значение сигнала измеряется только в фиксированные моменты времени $x(t_i)$. Частота дискретизации выбирается из противоречивых условий. Чем больше частота дискретизации $f_{д} = \frac{1}{\Delta t}$, тем меньше потери измерительной информации, но это приводит к ужесточению требований по быстродействию АЦП и, следовательно, к его усложнению.

Квантование

В устройстве квантования происходит процесс замены мгновенных значений непрерывной по размеру величины $x(t_i)$ ближайшими квантованными значениями $x_{KB}(t_i)$. Разность Δx между двумя соседними уровнями называется шагом квантования.

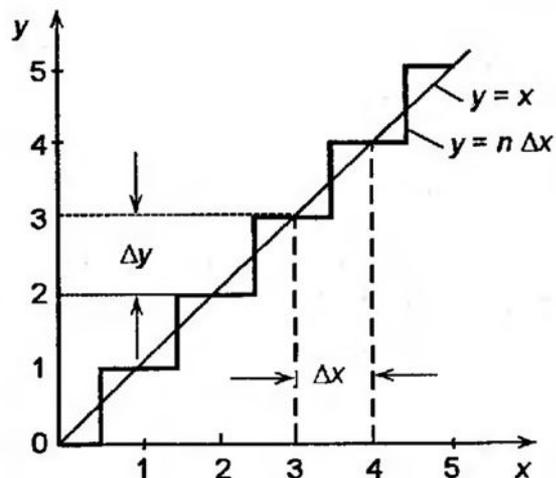
При квантовании, как и при дискретизации, теряется часть информации о непрерывной измеряемой величине $x(t)$, следовательно, квантующее устройство, как и дискретизирующее, является источником методической погрешности.

Оценивание величины погрешности квантования осуществляется на основе сравнения идеальной функции преобразования измеряемой величины x с реальной ступенчатой функцией преобразования АЦП:

$$y = n\Delta x$$

где Δx – шаг равномерного квантования; $n = 0, 1, \dots, N$ – номер соответствующего уровня квантования.

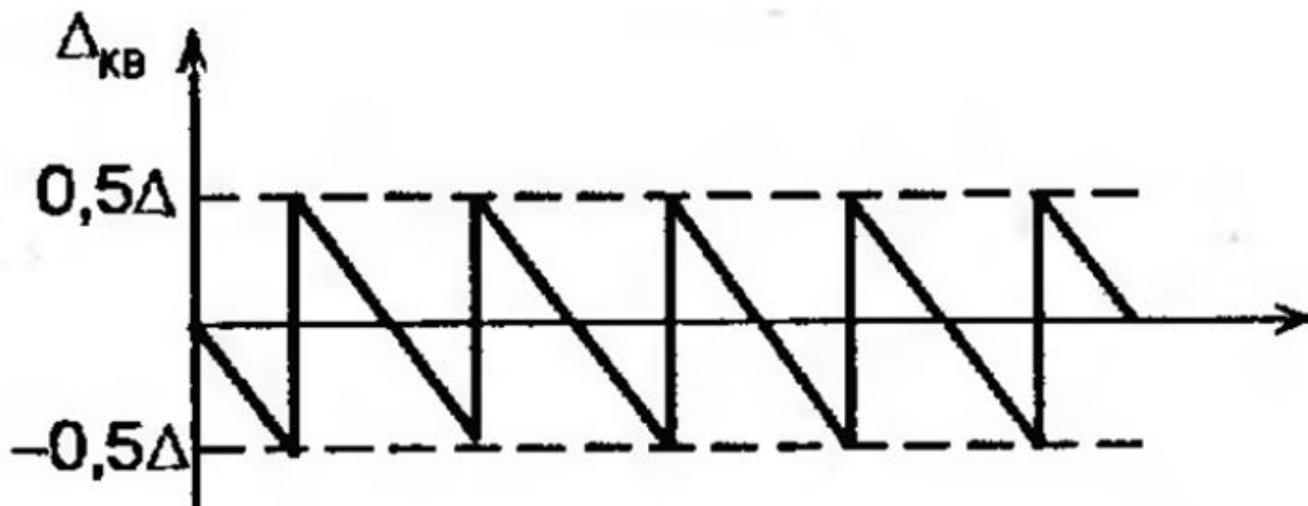
Из сравнения реальной и идеальной функций преобразования следует, что погрешность квантования $|\Delta_{KB}| \leq 0.5\Delta x$.



Квантование

Погрешность квантования имеет характер ломанной линии. При таком характере погрешности квантования среднеквадратическое значение погрешности квантования, характеризуемое средней мощностью за длительность одного зубца, определяется равенством

$$P_{ш.кв} = \Delta x^2 / 12$$



Характеристики АЦП

В кодирующем устройстве происходит представление дискретного значения сигнала в удобном для последующей обработки виде, например в двоичной системе счисления.

Таким образом, процесс преобразования аналогового сигнала $x(t)$ в цифровой сигнал неизбежно приводит к возникновению погрешностей, вызванных процедурами дискретизации и квантования.

Погрешность АЦП определяется суммой методической (Δ_m) и инструментальной ($\Delta_{ин}$) составляющих.

Методическая погрешность определяется принципом работы преобразователя и зависит от погрешности дискретизации и квантования, а инструментальная погрешность определяется нестабильностью работы узлов и элементов АЦП.

Кроме погрешности, АЦП характеризуются ценой деления, разрешающей способностью, чувствительностью, быстродействием.

Разновидности АЦП

В измерительной технике используют АЦП прямого и уравнивающего преобразования. Прямое аналого-цифровое преобразование реализуется одним из следующих способов:

- время-импульсное кодирование;
- амплитудное кодирование;
- пространственное кодирование;
- число-импульсное кодирование;
- частотно-импульсное кодирование.

В измерительных приборах, используемых для измерения радиотехнических величин, наибольшее распространение получили время-импульсное и частотно-импульсное кодирования.

Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия

Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия работает на основе последовательного преобразовании измеряемого напряжения U_x в пропорциональный ему временной интервал Δt .

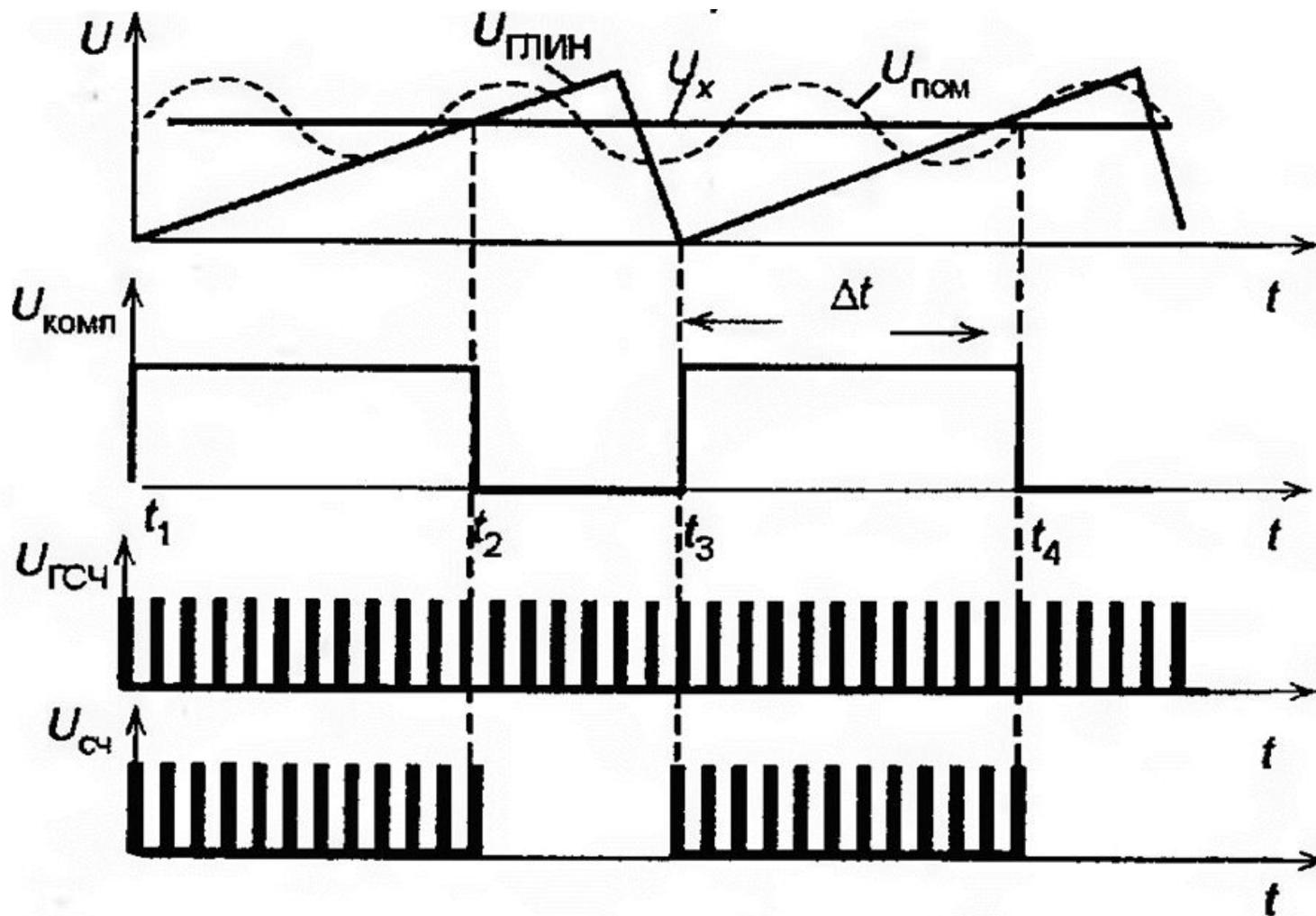
В течение этого интервала времени на электронный счетчик поступают импульсы с известной частотой повторения, число которых пропорционально величине измеряемого постоянного напряжения.



Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия

При подаче на вход АЦП измеряемого напряжения U_x по сигналу с устройства управления показания счетчика и ЦОУ сбрасываются, а генератор линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН) начинает формировать пилообразное напряжение $U_{\text{глин}}$ (режим управления может быть ручным или автоматическим). В это же время (t_1) на выходе компаратора начинает формироваться импульс. При поступлении этого импульса на временной селектор (схема И) последний открывается и пропускает на вход счетчика импульсы с генератора счетных импульсов ($f_{\text{сч}}$). При достижении равенства $U_{\text{глин}} = U_x$ (момент t_2) формирование импульса на выходе компаратора прекращается, схема И закрывается и счет импульсов прекращается. В результате счетчик регистрирует некоторое число импульсов N за интервал $\Delta t = t_2 - t_1$, а ЦОУ отображает соответствующее ему число. Процедура работы циклически продолжается.

Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия



Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия

Длительность интервала подсчета импульсов

$$\Delta t = \frac{N}{f_{сч}} = NT_{сч}$$

С другой стороны,

$$\Delta t = U_x / \text{tg}\alpha$$

Сравнивая, получаем

$$U_{гч} = NT \text{tg}\alpha$$

Поскольку множитель $\text{tg}\alpha$ численно равен скорости V изменения пилообразного напряжения, B/c то

$$U_{гч} = NT V.$$

Для каждого прибора произведение $T_{сч} \text{tg}\alpha = k$ постоянно, поэтому можно считать

$$U_x = kN.$$

Для конкретных схем АЦП значение $T_{сч} V$ выбирается равным 10^k , $k = 0, 1, 2, \dots$. Тогда

$$U_x = N \cdot 10^k$$

Число 10^k обычно учитывают положением запятой на ЦОУ или указанием единицы измерения (В, мВ, мкВ).

Аналого-цифровой преобразователь время-импульсного действия

Суммарная погрешность описанного АЦП определяется следующими причинами:

1) погрешностью преобразования измеряемого напряжения в длительность прямоугольного импульса (нелинейность $U_{\text{глин}}$, нестабильность скорости изменения $U_{\text{глин}}$, погрешность компаратора);

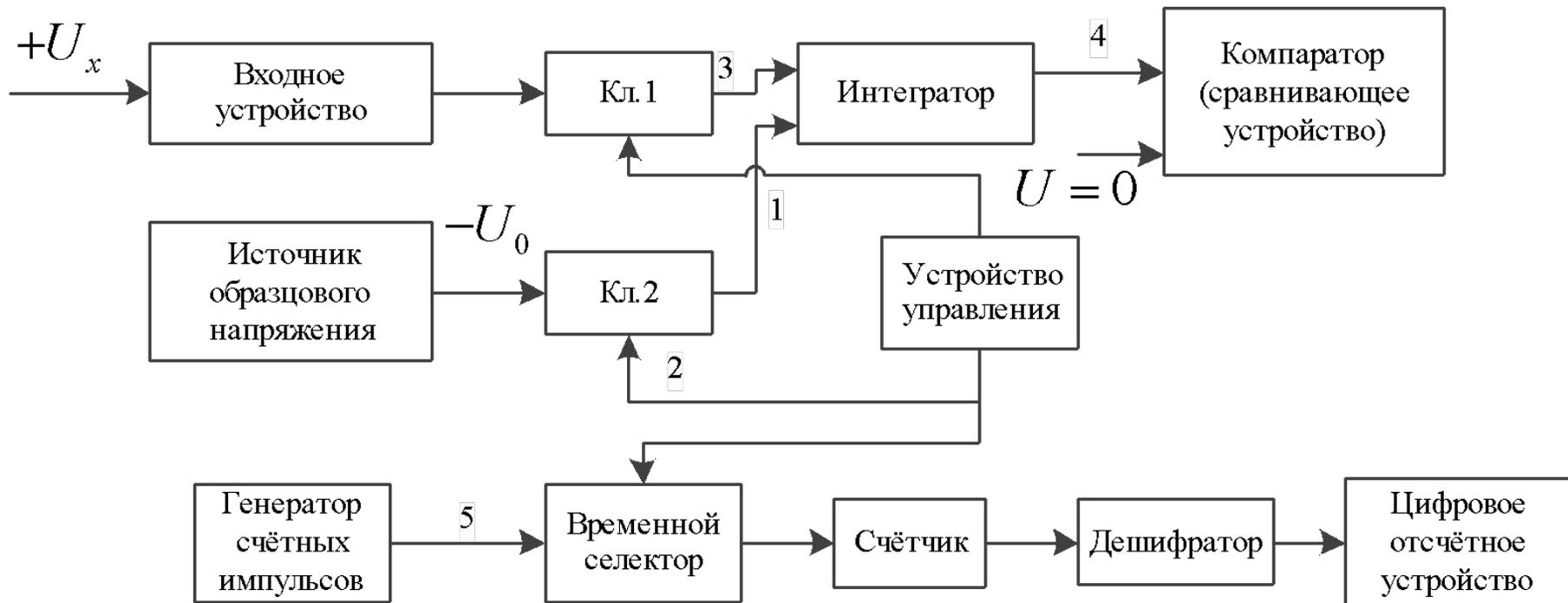
2) погрешностью преобразования интервала Δt в унитарный код, т.е. в число импульсов N (нестабильность следования счетных импульсов, погрешность дискретизации ± 1 импульс).

Общая погрешность преобразователей составляет обычно 0,1 %.

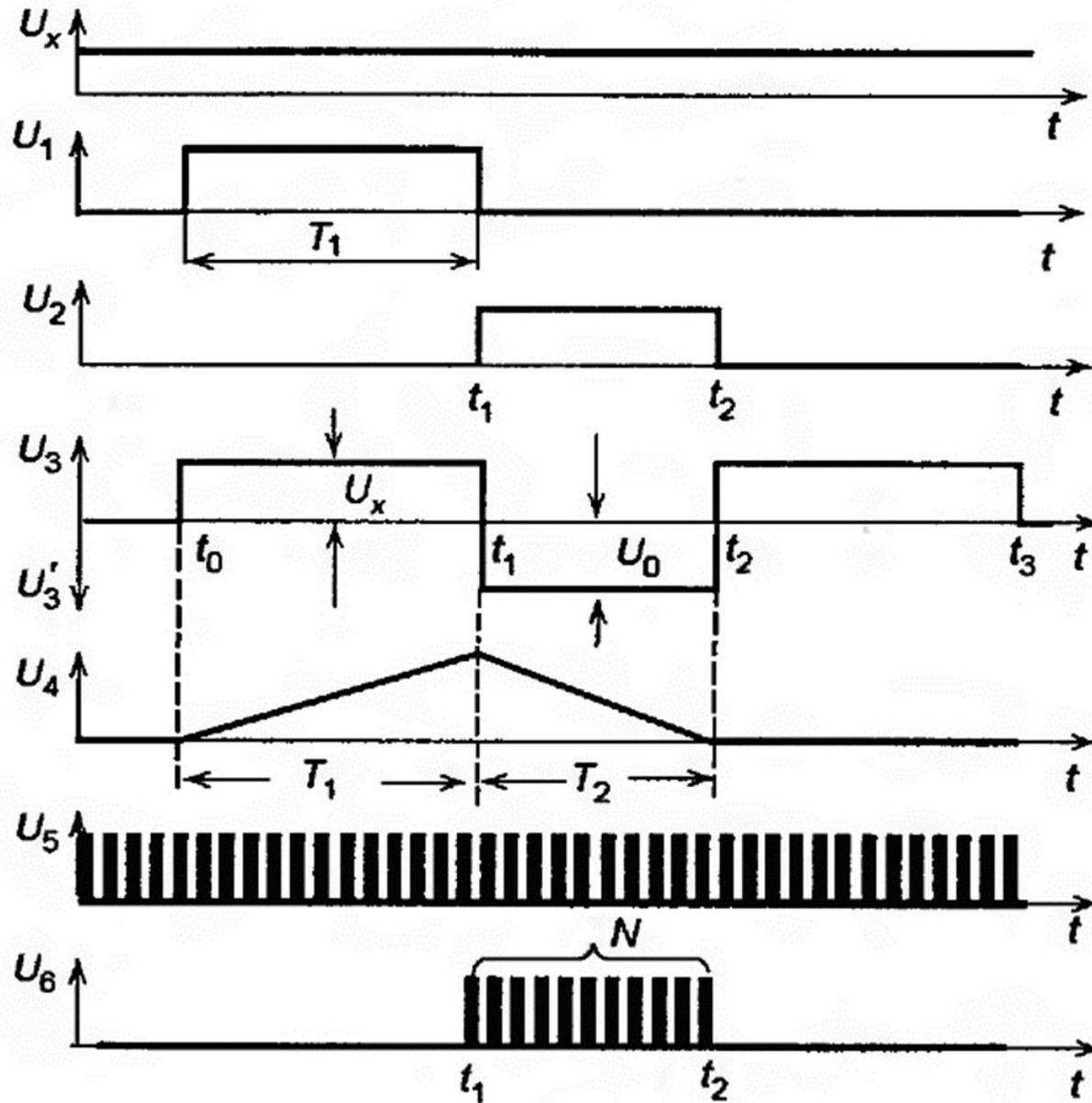
В рассматриваемой схеме погрешность преобразования измеряемого напряжения во временной интервал существенно зависит от функциональной помехи $U_{\text{ном}}$, накладываемой на входной сигнал в момент t_2 , т.е. происходит преобразование мгновенного значения входного напряжения, что является причиной низкой помехозащищенности преобразователя.

Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием

Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием работает следующим образом: напряжение U_x за определенное время интегрируется, т.е. преобразуется в пропорциональное напряжение на выходе интегратора. Затем за счет возврата интегратора в исходное состояние накопленное в интеграторе напряжение преобразуется в пропорциональный временной интервал. В течение этого интервала времени на электронный счетчик поступают импульсы с известной частотой повторения, число которых пропорционально величине измеряемого постоянного напряжения.



Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием



Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием

По сигналу запуска фронтом калиброванного импульса, поступающего от устройства управления в момент t_0 , замыкается первый ключ (Кл. 1). В результате на вход интегратора подается напряжение U_x .

На выходе интегратора начинает линейно расти напряжение (U_4). Интегратор заряжается входным напряжением в течение фиксированного времени T_1 . По окончании этого времени, т.е. в момент t_1 напряжение на входе интегратора

$$U_4(T_1) = \frac{1}{R_1 C_1} \int_0^{T_1} U_x dt = U_x \frac{T_1}{R_1 C_1}$$

где T_1 – длительность заполнения интегратора; $R_1 C_1 = \tau_3$ – постоянная времени интегрирования (заполнения).

По окончании действия импульсного напряжения, т.е. в момент t_1 через ключ Кл.2 на вход интегратора начинает подаваться образцовое напряжение U_0 , обратное по знаку напряжению U_x , а напряжение на выходе интегратора начинает падать.

Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием

Счетчик работает в режиме суммирования, считая импульсы, поступающие с генератора счетных импульсов. Счет импульсов происходит до момента t_2 , когда напряжение на выходе интегратора станет равным нулю, о чем будет свидетельствовать сигнал на устройство управления с компаратора. В этот момент по окончании действия U_2 закрывается временной селектор. Длительность интервала T_2 зависит от измеряемого напряжения U_x , заполнившего интегратор к моменту t_1 . К моменту t_2 напряжение на выходе интегратора уменьшится на величину

$$U_4(t_2) = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{T_2} U_0 dt = U_0 \frac{T_2}{R_2 C_2}$$

где $R_2 C_2 = \tau_p$ – постоянная времени интегрирования (разряда). В конце полного цикла, т.е. в конце интервала $(T_1 + T_2)$,

$$U_4(T_2) = U_4(T_1 + T_2) = U_x \frac{T_1}{R_1 C_1} - U_0 \frac{T_2}{R_2 C_2} = 0.$$

Учитывая, что $T_2 = NT_{cч}$ и $r_3 = r_p$, получаем

$$U_x = U_0 \frac{T_2}{T_1} = NU_0 \frac{T_{cч}}{T_1}$$

Если выбрать $U_0 T_{cч} / T_1 = 10^k, k = 0, 1, 2$ то

$$U_x = 10^k N$$

т.е. измеряемое входное напряжение пропорционально количеству импульсов на выходе временного селектора.

Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием

Погрешность рассматриваемого АЦП определяется следующими основными причинами:

- нестабильностью опорного напряжения U_0 (можно снизить, используя нормальный элемент);
- порогом чувствительности сравнивающего устройства (компаратора);
- параметрами интегрирующих цепей, определяющих τ_3 и τ_p .

Достоинством схемы является повышенная устойчивость к помехам переменного тока с периодом, кратным T_1 . Это объясняется тем, что рассматриваемый АЦП преобразует не мгновенное, а среднее значение входного напряжения.

Погрешность преобразования АЦП с двойным интегрированием, как правило, не превышает 0,01 %.

В анализируемой схеме имеется возможность подавления периодических помех за счет выбора интервала интегрирования T_1 , равного или кратного периоду помехи, например периоду наиболее часто встречаемой помехи с частотой $f = 50$ Гц ($T = 20$ мс).

Положительная полуволна такой помехи сложившись с U_x вызывает ускоренное нарастание напряжения на выходе интегратора, а отрицательная полуволна вызывает замедление. Поскольку положительные и отрицательные полуволны симметричны, то результирующее напряжение определяется только U_x .