

Челябинский радиотехнический техникум

представляют

***Цифровые
преобразователи.***

Цикловая комиссия спецдисциплин

Преподаватель: Нестеренко Е.В.

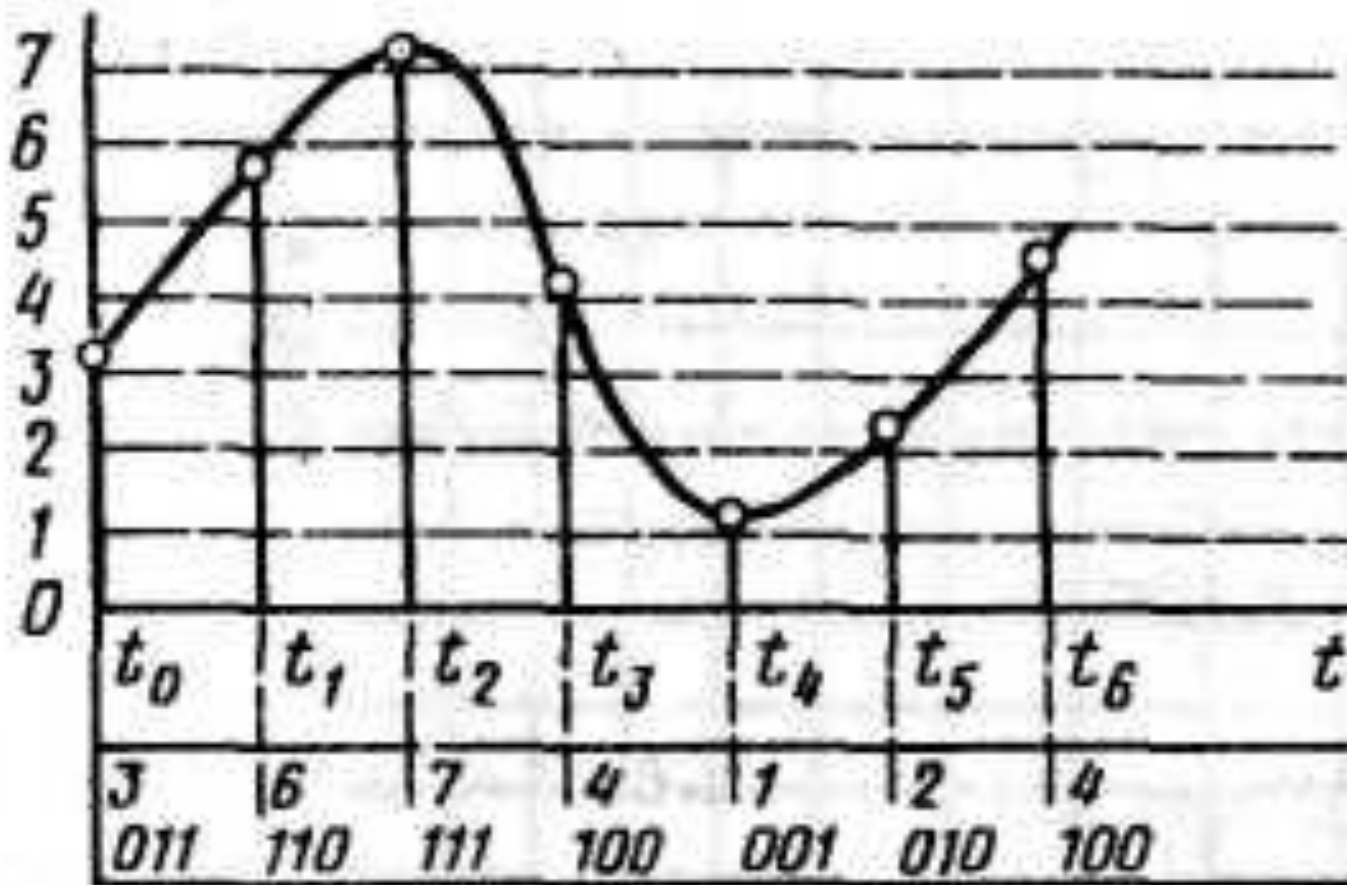
Принцип аналого-цифрового преобразования информации

- В большинстве случаев получаемый непосредственно от источника информации сигнал представлен в форме непрерывно меняющегося напряжения или тока.***

Принцип аналого-цифрового преобразования информации

- Для передачи сообщений по линии связи или для их обработки могут быть использованы две формы: аналоговая или цифровая.
- Аналоговая форма предусматривает оперирование всеми значениями сигнала
цифровая – отдельными его значениями, представленными в форме кодовых комбинаций.

Принцип аналого-цифрового преобразования информации



Принцип аналого-цифрового преобразования информации

□ При преобразовании сигналов из аналоговой формы в цифровую можно выделить следующие процессы:

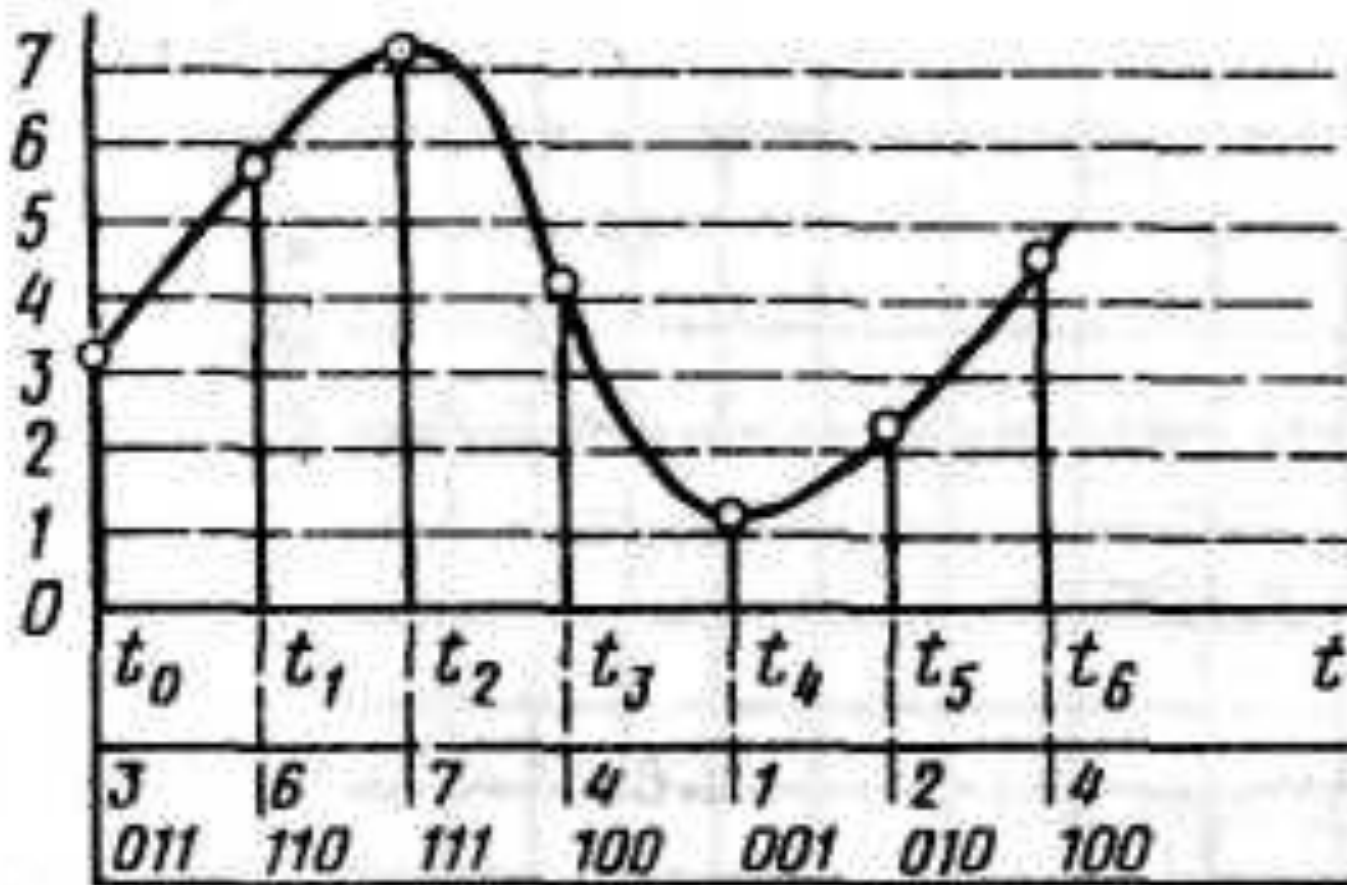
- ✓ дискретизацию
- ✓ квантование
- ✓ кодирование

Принцип аналого-цифрового преобразования информации

- Процесс **дискретизации** заключается в том, что из непрерывного во времени сигнала выбираются отдельные его значения. Соответствующие моментам времени, следующим через определенный интервал T .

T - тактовый интервал

Принцип аналого-цифрового преобразования информации



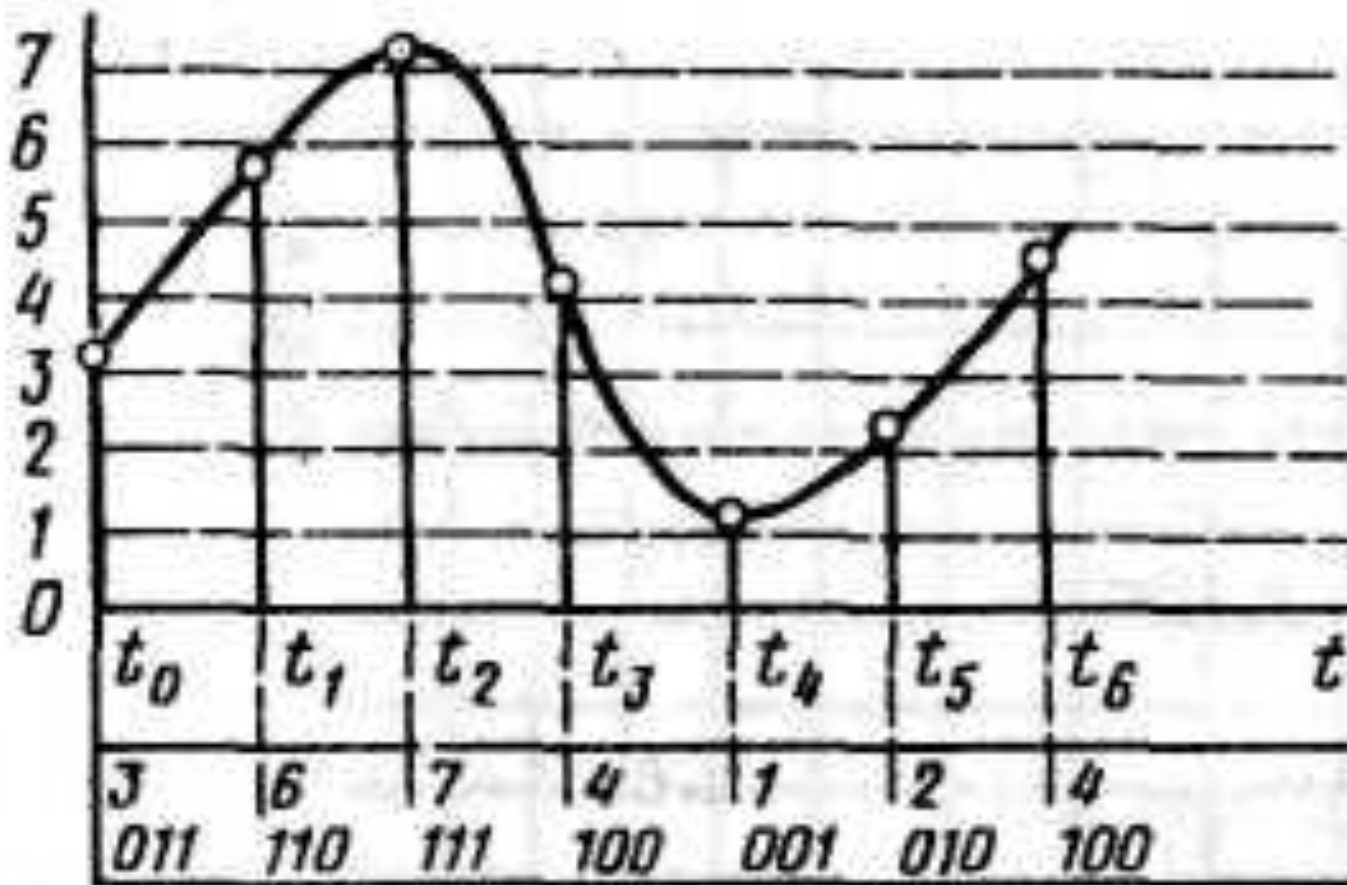
Принцип аналого-цифрового преобразования информации

□ **Квантование и кодирование** заключается в следующем:

1. Создается сетка уровней квантования, сдвинутых друг относительно друга на величину Δ

Δ - шаг квантования

Принцип аналого-цифрового преобразования информации



Принцип аналого-цифрового преобразования информации

- Операция квантования заключается в округлении значений аналогового напряжения, выбранных в тактовые моменты времени.***

Принцип аналого-цифрового преобразования информации

□ Процесс квантования приводит к погрешности

(ε - ошибке квантования)

В представлении дискретных значений напряжения, создавая шум квантования

$$-\Delta / 2 \leq \varepsilon \leq \Delta / 2$$

Принцип аналого-цифрового преобразования информации

2. Операция **кодирования**

заключается в следующем

Округлении значений напряжения,

осуществляемое при операции

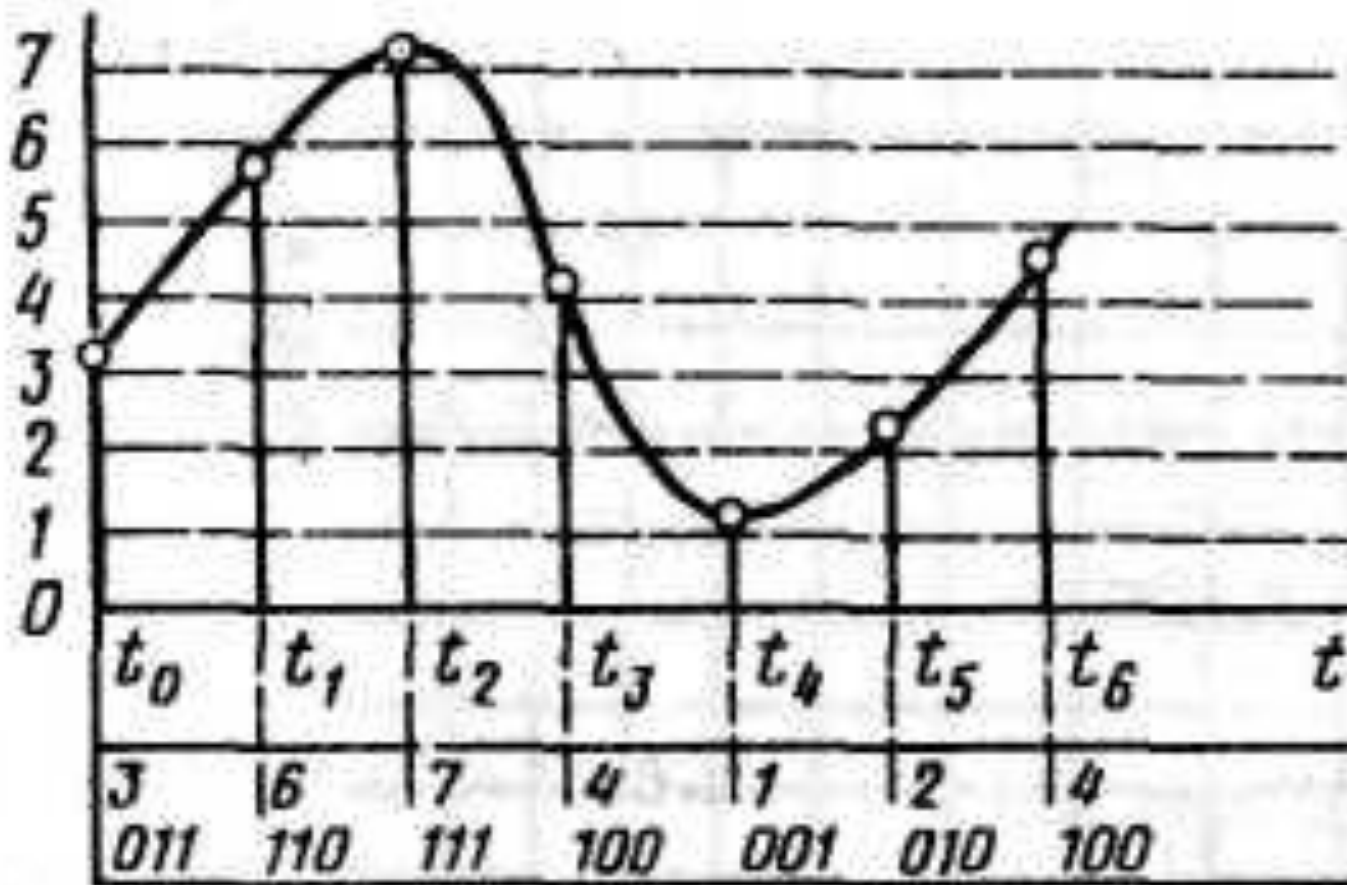
квантования позволяет

представить эти значения числами

– номерами соответствующих

уровней квантования.

Принцип аналого-цифрового преобразования информации



Принцип аналого-цифрового преобразования информации

Для диаграммы на рис. Образуется последовательность чисел:

1,6,7,4,1,2 и т.д.

Полученная таким образом последовательность

представляется двоичным кодом:

001,110,111,100,001,010 и т.д.

Цифроаналоговые преобразователи

- *Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) предназначены для преобразования цифровых сигналов в аналоговые.*

Цифроаналоговые преобразователи

Применение:

1. при восстановлении аналогового сигнала, предварительно преобразованного в цифровой для передачи на большие расстояния или хранения (таким сигналом, в частности может быть звук).

Цифроаналоговые преобразователи

2. получение управляющего сигнала при цифровом управлении устройствами, режим работы которых определяется непосредственно аналоговым сигналом (что, в частности, имеет место при управлении двигателями).

Цифроаналоговые преобразователи

*К основным параметрам ЦАП
относят:*

- ❖ разрешающую способность,*
- ❖ время установления,*
- ❖ погрешность нелинейности и др.*

Цифроаналоговые преобразователи

- **Разрешающая способность** – величина, обратная максимальному числу шагов квантования выходного аналогового сигнала.

Цифроаналоговые преобразователи

- **Время установления $t_{уст}$** – интервал времени от подачи кода на вход до момента, когда выходной сигнал войдёт в заданные пределы, определяемые погрешностью.

Цифроаналоговые преобразователи

- **Погрешность нелинейности** – максимальное отклонение графика зависимости выходного напряжения от напряжения, задаваемого цифровым сигналом, по отношению к идеальной прямой во всём диапазоне преобразования.

Цифроаналоговые преобразователи

Существуют различные принципы построения ЦАП.

Наиболее используемые из них:

- ЦАП с суммированием весовых ТОКОВ;*
- ЦАП на основе резистивной матрицы (лестничного типа).*

Цифроаналоговые преобразователи

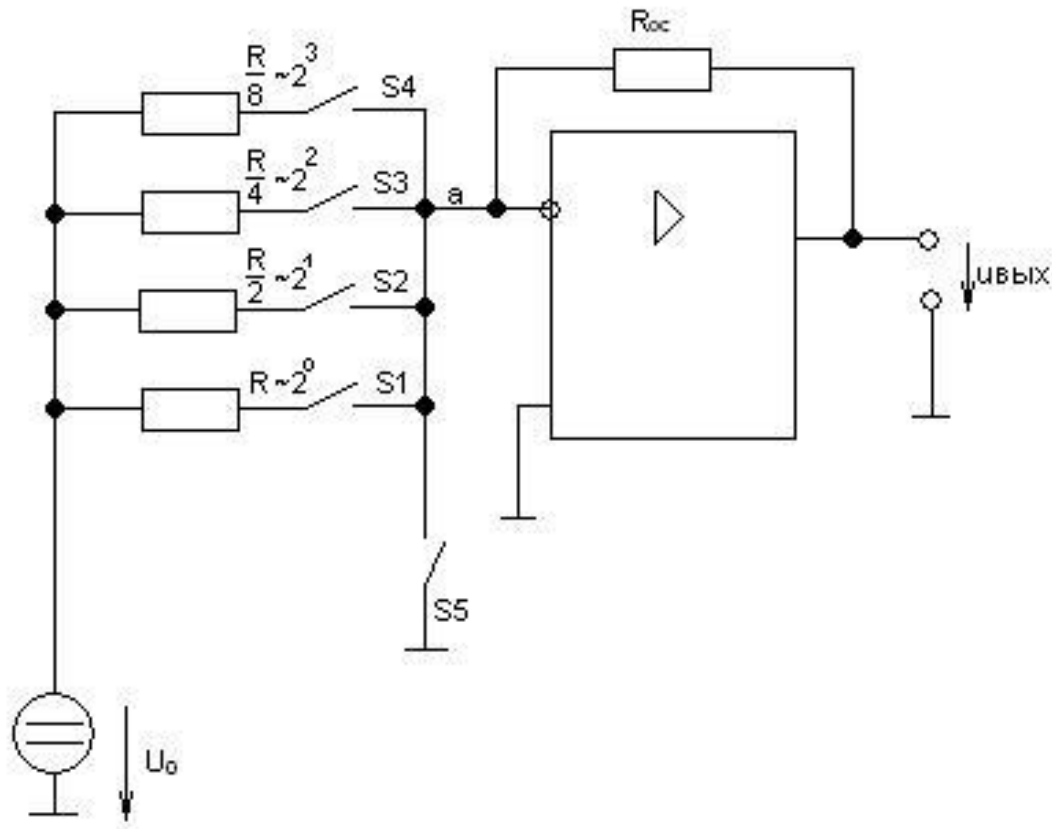


рис.1 схема ЦАП с суммированием
ВЕСОВЫХ ТОКОВ.

Цифроаналоговые преобразователи

На рис.1 приведена схема ЦАП с суммированием весовых токов.

- Ключ S_5 замкнут только тогда, когда разомкнуты все ключи $S_1...S_4$ (при этом $U_{\text{вых}}=0$). U_0 – опорное напряжение. Каждый резистор во входной цепи соответствует определённому разряду двоичного числа.

Цифроаналоговые преобразователи

По существу ЦАП – это инвертирующий усилитель на основе операционного усилителя. Анализ такой схемы не представляет затруднений. Так, если замкнут один ключ S_1 , то

$$u_{\text{вых}} = -U_0 \frac{R_{oc}}{R}$$

что соответствует единице в первом и нулям в остальных разрядах.

Цифроаналоговые преобразователи

- Из анализа схемы следует, что модуль выходного напряжения пропорционален числу, двоичный код которого определяется состоянием ключей $S1...S4$. Токи ключей $S1...S4$ суммируются в точке «а», причём токи различных ключей различны (имеют разный «вес») Это и определяет название схемы.

Цифроаналоговые преобразователи

Из вышеизложенного следует, что

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

т.е.

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

где S_i , $i = 1, 2, 3, 4$ принимает значение 1, если соответствующий ключ замкнут, и 0, если ключ разомкнут.

Цифроаналоговые преобразователи

- Состояние ключей определяется входным преобразуемым кодом.

Достоинство:

- простота схемы.

Цифроаналоговые преобразователи

Недостатки:

- *Значительные изменения напряжения на ключах;*
- *Использование резисторов с сильно отличающимися сопротивлениями (требуемую точность сопротивлений обеспечить затруднительно)*

Цифроаналоговые преобразователи

Рассмотрим ЦАП на основе резистивной матрицы $R - 2R$ (матрицы постоянного сопротивления) (рис. 2).

В схеме использованы так называемые перекидные ключи $S1...S4$, каждый из которых в одном из состояний подключен к общей точке, поэтому напряжения на ключах невелики.

Цифроаналоговые преобразователи

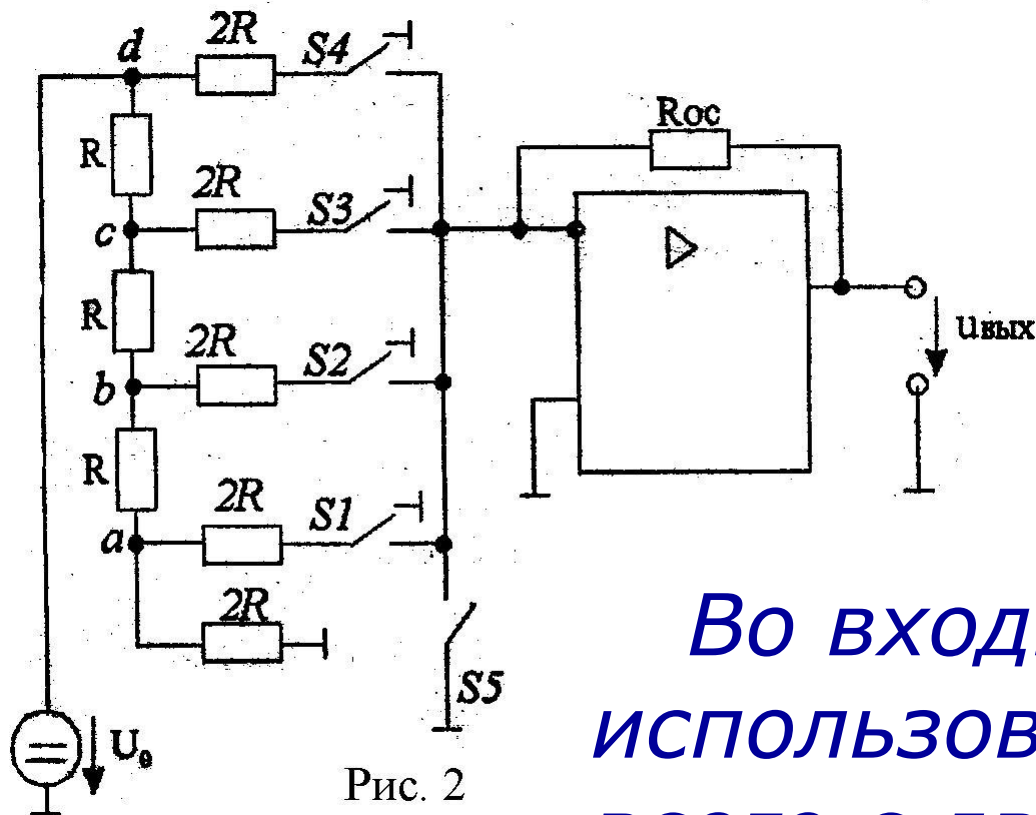


Рис. 2

Ключ S_5 замкнут только тогда, когда все ключи $S_1...S_4$ подключены к общей точке.

Во входной цепи использованы резисторы всего с двумя различными значениями сопротивления.

Цифроаналоговые преобразователи

Из анализа схемы можно увидеть, что и для неё модуль выходного напряжения пропорционален числу, двоичный код которого определяется состоянием ключей $S1...S4$.

Цифроаналоговые преобразователи

Анализ легко выполнить, учитывая следующее.

Пусть каждый из ключей $S1...S4$ подключен к общей точке.

Тогда, как легко заметить, напряжение относительно общей точки в каждой следующей из точек «a»...«d» в 2 раза больше, чем в предыдущей.

Цифроаналоговые преобразователи

К примеру, напряжение в точке «b» в 2 раза больше, чем в точке «a» (напряжения U_a , U_b , U_c и U_d определяются следующим образом:

$$U_d = U_0; U_c = U_0/2; U_b = U_0/4; U_a = U_0/8).$$

Допустим, что состояние указанных ключей изменилось, Тогда напряжения в точках «a»...«b» не изменятся, так как напряжение между входами операционного усилителя практически нулевое.

Цифроаналоговые преобразователи

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

т.е.

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

где S_i , $i = 1, 2, 3, 4$ принимает значение 1, если соответствующий замкнут, и 0, если ключ разомкнут.

Цифроаналоговые преобразователи

Рассмотрим ЦАП для преобразования двоично-десятичных чисел (рис. 3).

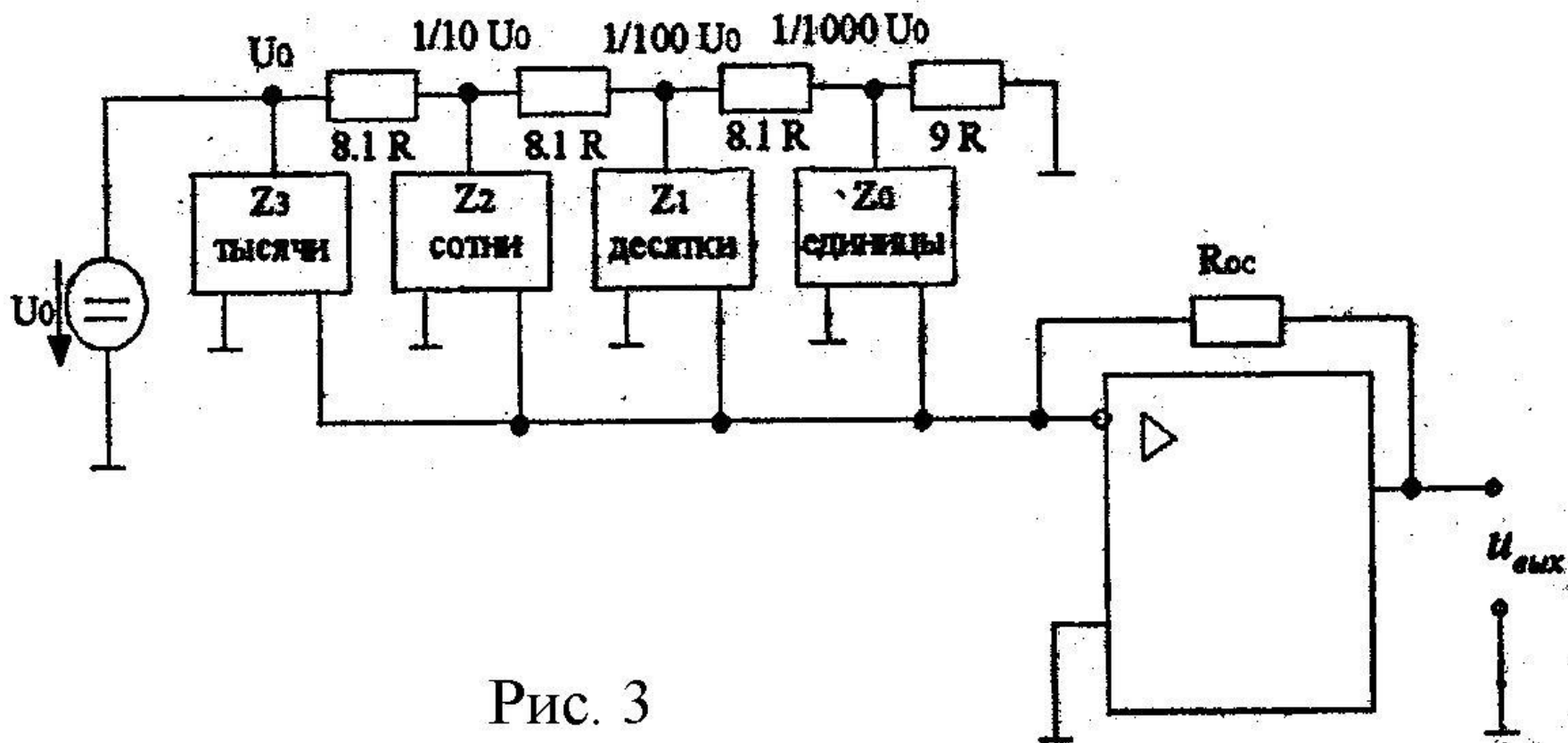


Рис. 3

Цифроаналоговые преобразователи

Для представления каждого разряда десятичного числа используется отдельная матрица $R - 2R$ (обозначены прямоугольниками). $Z_0...Z_3$ обозначают числа, определённые состоянием ключей каждой матрицы $R - 2R$. Принцип действия становится понятным, если учесть, что сопротивление каждой матрицы R , и если выполнить анализ фрагмента схемы, представленного на рис. 4.

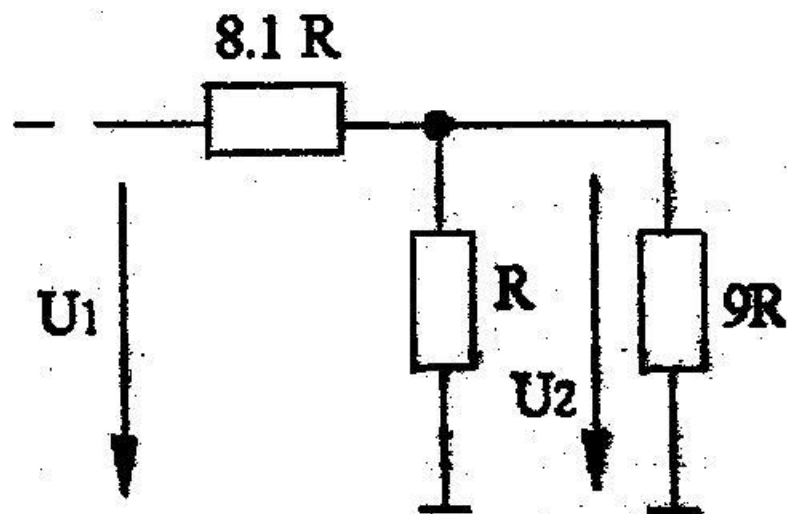


Рис 4.

Цифроаналоговые преобразователи

Для представления каждого разряда десятичного числа используется отдельная матрица $R - 2R$ (обозначены прямоугольниками). $Z_0...Z_3$ обозначают числа, определённые состоянием ключей каждой матрицы $R - 2R$.

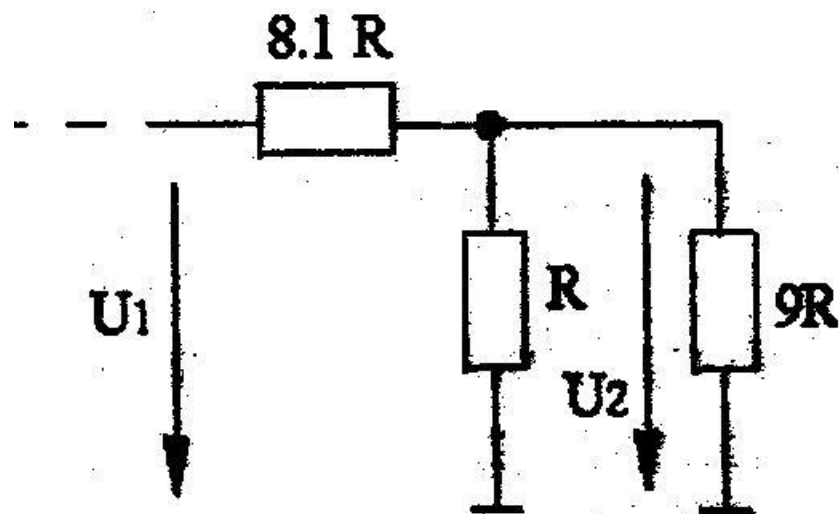


Рис 4.

Цифроаналоговые преобразователи

Из анализа следует, что

$$U_2 = U_1 \frac{R \parallel 9R}{8,1R + R \parallel 9R}, \text{ где } R \parallel 9R_2 = U_1 \frac{R \cdot 9R}{R + 9R} = 0,9R$$

Следовательно, $U_2 = 0,1 \cdot U_1$. С учётом этого получим

$$u_{\text{вых}} = -U_0 \frac{R_{oc}}{16R} \cdot 10^{-3} \left(10^3 \cdot Z_3 + 10^2 \cdot Z_2 + 10 \cdot Z_1 + Z_0 \right)$$

Цифроаналоговые преобразователи

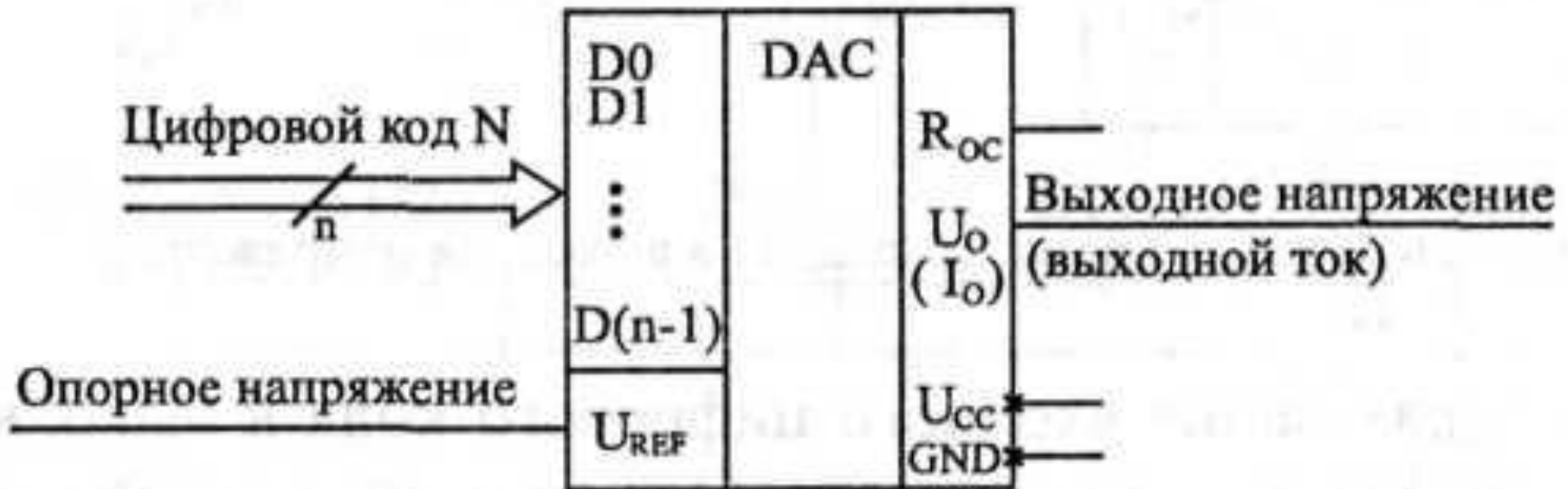


Рис. 7.1. Микросхема ЦАП.

Цифроаналоговые преобразователи

Наиболее распространенными являются ЦАП серий микросхем 572, 594, 1108, 1118 и др. В таблице 1 приведены параметры некоторых ЦАП.

Таблица 1.

Тип схемы	Число разрядов	tуст, мкс	U _о , В	Uпит/Iпит В/А	I _{вых} , мА
К594ПА1	12	3,5	9 - 11	(5-15)/2,5-15/ 3,5	2
К1108ПА1	12	0,4	2,2 - 10,5	+5/15 - 16/46	5
К572ПА1А	10	5	-17 - +17	(5 ÷ -17)/2	1
К575ПА2А	10	15	-15 - +15	5/2 15/2	0,8

Аналого-цифровые преобразователи

- Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются «связующим звеном» между аналоговой техникой и цифровой электроникой.

Аналого-цифровые преобразователи

- Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) – это устройства, предназначенные для преобразования аналоговых сигналов в цифровые.

Аналого-цифровые преобразователи

К основным характеристикам АЦП относятся:

- число разрядов
- разрешающая способность АЦП
- время преобразования $t_{пр}$
- нелинейность и др.

Аналого-цифровые преобразователи

Число разрядов – количество разрядов кода, связанного с аналоговой величиной, которое может вырабатывать АЦП.

Аналогоцифровые преобразователи

Разрешающая способность АЦП - это величина, обратная максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП. Так, 10-разрядный АЦП имеет разрешающую способность

$$(2^{10} = 1024)^{-1}$$

(т.е. при шкале АЦП, соответствующей 10В, абсолютное значение шага квантования не превышает 10мВ)

Аналогоцифровые преобразователи

Время преобразования $t_{пр}$ – интервал времени от момента заданного изменения сигнала на входе АЦП до появления на его выходе соответствующего устойчивого кода.

Аналогоцифровые преобразователи.

Характерными методами преобразования являются следующие:

- параллельного преобразования аналоговой величины
- последовательного преобразования.

Аналого-цифровые преобразователи.

- Рассмотрим АЦП с параллельным преобразованием входного аналогового сигнала.
- По параллельному методу входное напряжение одновременно сравнивают с n опорными напряжениями и определяют, между какими двумя опорными напряжениями оно лежит.
- При этом результат получают быстро, но схема оказывается достаточно сложной.

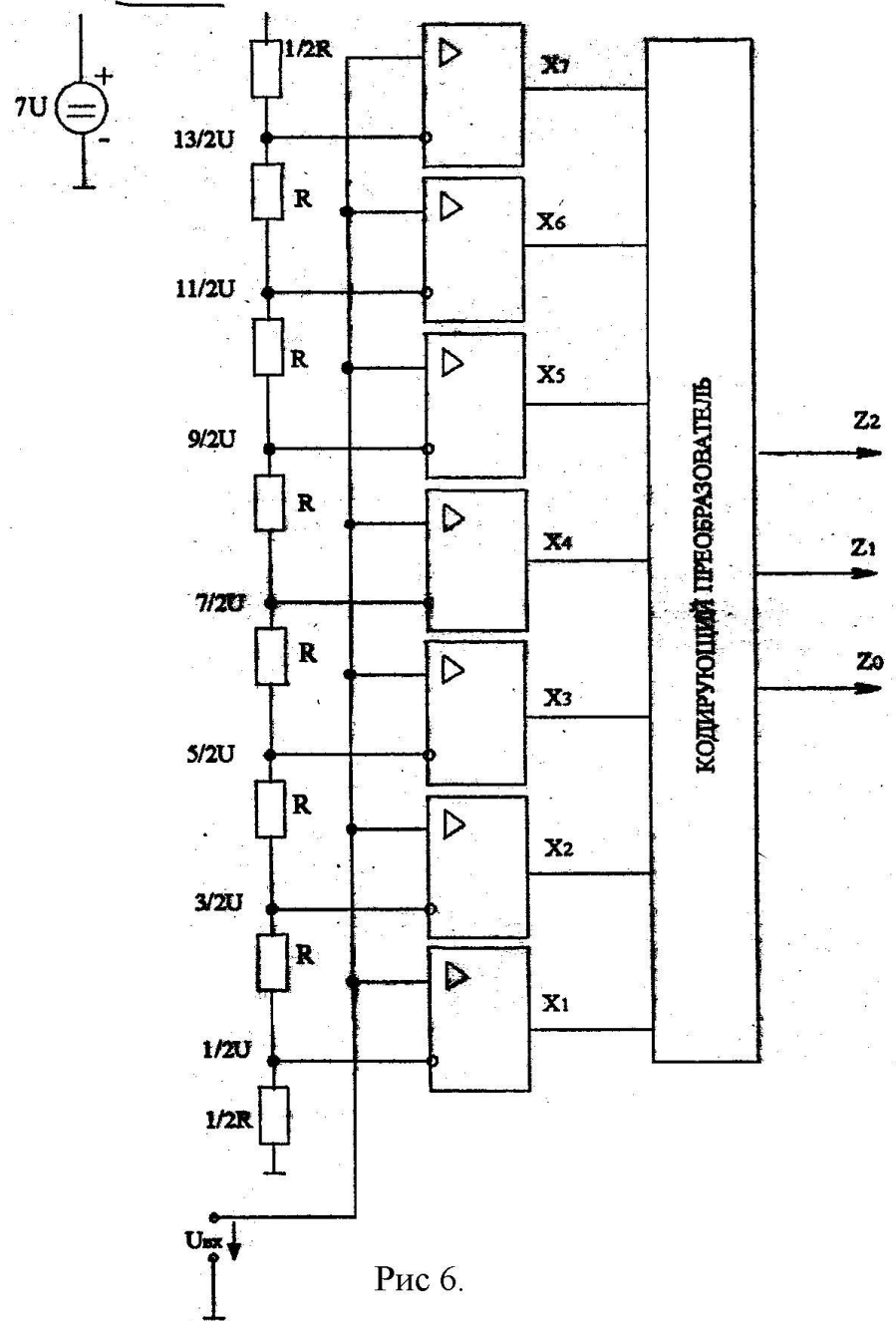


Рис 6.

Аналого-цифровые преобразователи.

Рассмотрим принцип действия такого АЦП (рис. 6)

При $U_{вх} = 0$, поскольку для всех ОУ разность напряжений

$$U_+ - U_- < 0$$

(U_+ , U_- - напряжения относительно общей точки соответственно неинвертирующего и инвертирующего входа)

напряжения на выходе всех ОУ равны – $E_{пит}$ а на выходах кодирующего преобразователя (КП) Z_0, Z_1, Z_2 устанавливается нули.

Аналого-цифровые преобразователи.

Если $U_{вх} > 0,5U$, но меньше $3/2U$, лишь для нижнего ОУ

$$U_+ - U_- > 0$$

и лишь на его выходе появляется напряжение $+E_{пит}$, что приводит к появлению на выходах КП следующих сигналов: $Z_0=1, Z_2=Z_1=0$.

Если $U_{вх} > 3/2U$, но меньше $5/2U$, то на выходе двух нижних ОУ появляется напряжение $+E_{пит}$, что приводит к появлению на выходах КП кода 010 и т.п.

Аналого-цифровые преобразователи.

- Рассмотрим конкретный вариант АЦП с последовательным преобразованием входного сигнала (последовательного счёта), который называют АЦП со следящей связью (рис. 7).

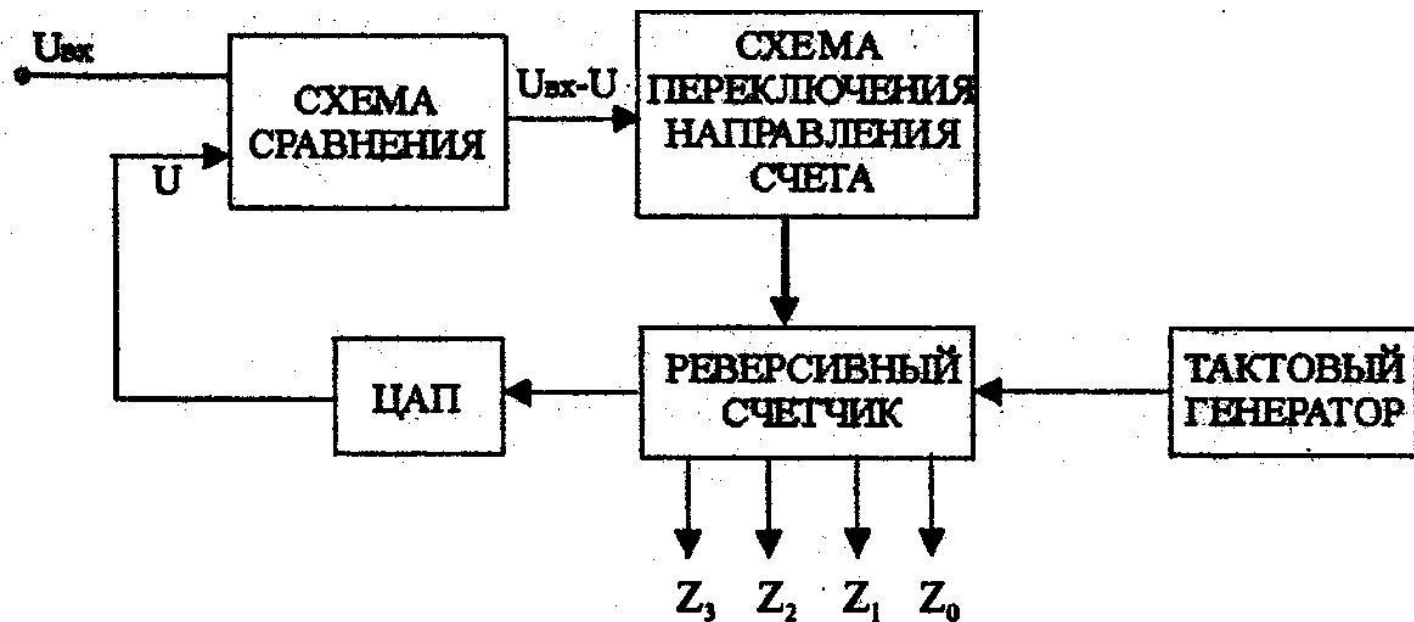


Рис 7.

Аналого-цифровые преобразователи.

- В АЦП рассматриваемого типа используется ЦАП и реверсивный счётчик, сигнал с которого обеспечивает изменение напряжения на выходе ЦАП. Настройка схемы такова, что обеспечивается примерное равенство напряжений на входе $U_{вх}$ и на выходе ЦАП – U .
- Если входное напряжение $U_{вх}$ больше напряжения U на выходе ЦАП, то счётчик переводится в режим прямого счёта и код на его выходе увеличивается, обеспечивая увеличение напряжения на выходе ЦАП. В момент равенства $U_{вх}$ и U счёт прекращается и с выхода реверсивного счётчика снимается код, соответствующий входному напряжению.

Аналого-цифровые преобразователи.

Метод последовательного преобразования реализуется и в АЦП время – импульсного преобразования (АЦП с генератором линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН)).

Принцип действия рассматриваемого АЦП (рис. 8) основан на подсчёте числа импульсов в отрезке времени, в течение которого линейно изменяющегося напряжение (ЛИН), увеличиваясь от нулевого значения, достигает уровня входного напряжения $U_{вх}$.

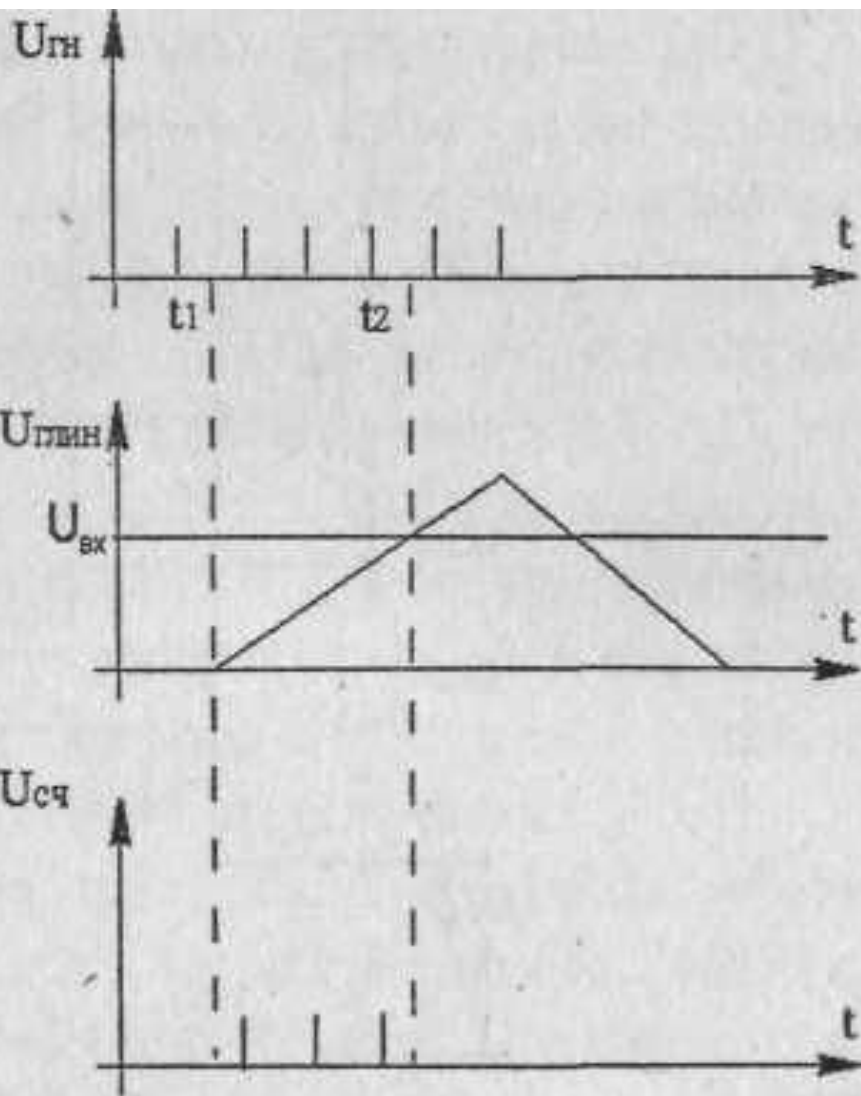
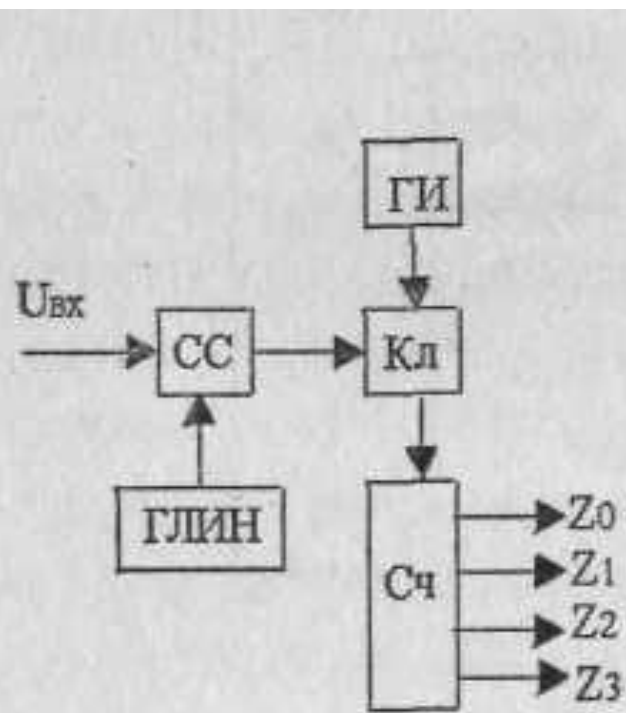


Рис. 3.95

Аналого-цифровые преобразователи.

- Используются следующие обозначения: СС – схема сравнения, ГИ – генератор импульсов, Кл – электронный ключ, Сч – счётчик импульсов. Отмеченный во временной диаграмме момент времени t_1 соответствует началу измерения входного напряжения, а момент времени t_2 соответствует равенству входного напряжения и напряжения ГЛИН.

Аналого-цифровые преобразователи.

- Погрешность измерения определяется шагом квантования времени. Ключ Кл подключается к счётчику генератор импульсов от момента начала измерения до момента равенства $U_{вх}$ и $U_{глин}$. Через $U_{сч}$ обозначено напряжение на входе счётчика. Код на выходе счётчика пропорционален входному напряжению. Одним из недостатков этой схемы является невысокое быстродействие.

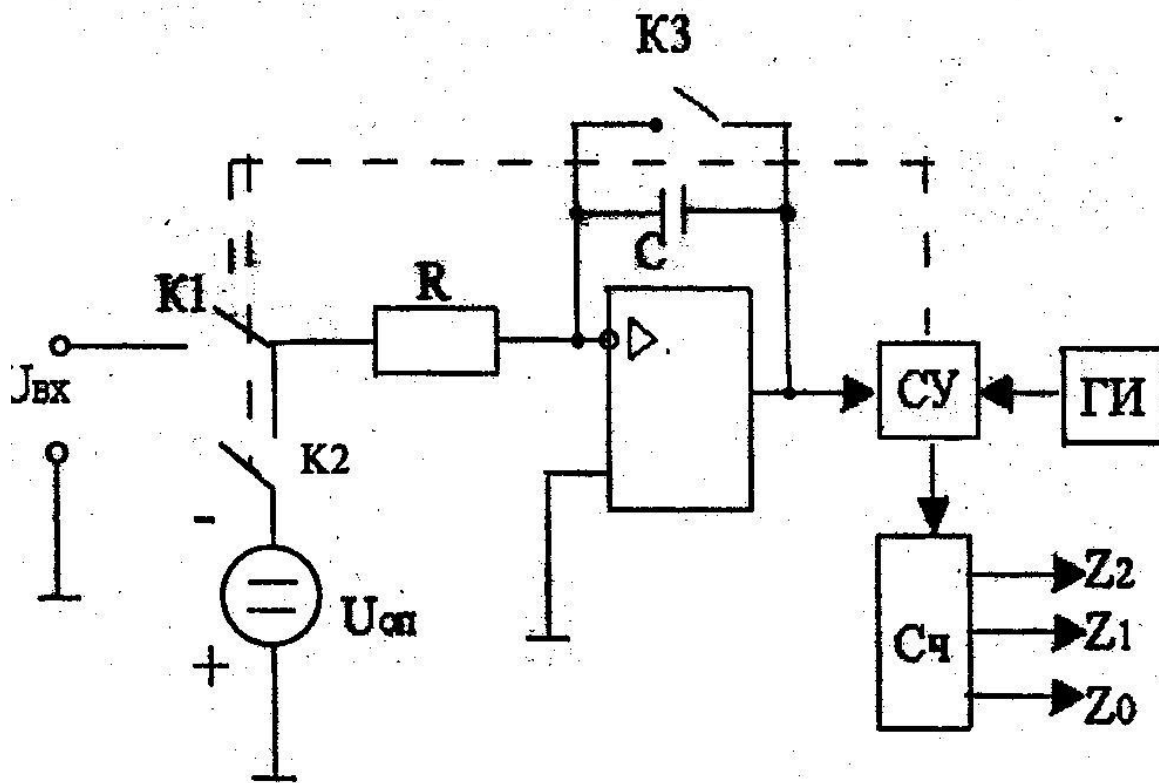


Рис 9.

Рассмотрим АЦП с двойным интегрированием, который также реализует метод последовательного преобразования входного сигнала (рис. 9).

Использованы следующие обозначения: СУ – система управления, ГИ – генератор импульсов, СЧ – счётчик импульсов.

Принцип действия АЦП состоит в определении отношения двух отрезков времени, в течение одного из которых выполняется интегрирование входного напряжения $U_{вх}$ интегратором на основе ОУ

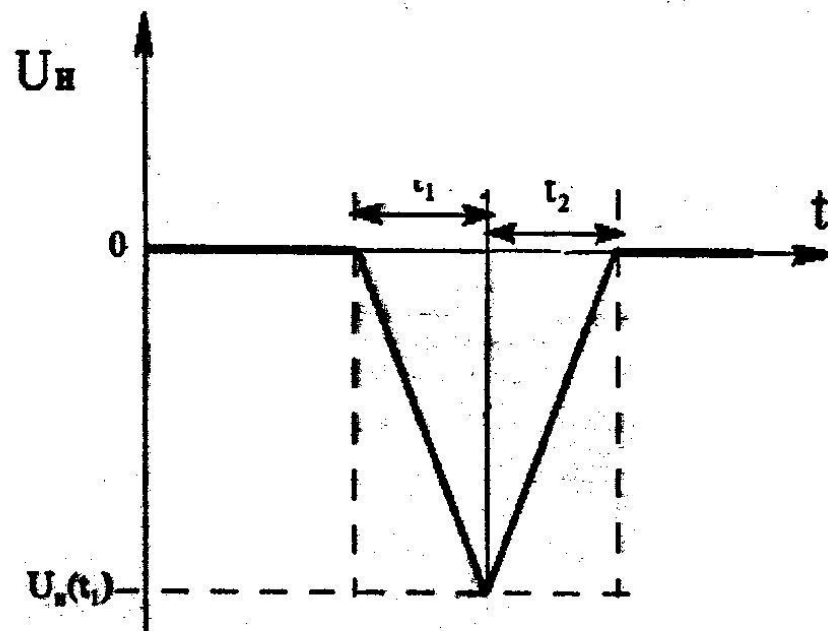


Рис 10

Аналого-цифровые преобразователи.

(напряжение U_i на выходе интегратора изменяется от нуля до максимальной по модулю величины), а в течение следующего – интегрирование опорного напряжения $U_{оп}$ (U_i меняется от максимальной по модулю величины до нуля) (рис. 10).

Аналого-цифровые преобразователи.

Пусть t_1 интегрирования входного сигнала постоянно, тогда чем больше второй отрезок времени t_2 (отрезок времени, в течение которого интегрируется опорное напряжение), тем больше входное напряжение.

Ключ К3 предназначен для установки интегратора в исходное нулевое состояние.

Аналого-цифровые преобразователи.

В первый из указанных отрезков времени ключ К1 замкнут, ключ К2 разомкнут, а во второй, отрезок времени их состояние является обратный по отношению к указанному. Одновременно с замыканием ключа К2 импульсы с генератора импульсов ГИ начинают поступать через схему управления СУ на счётчик Сч. Поступление этих импульсов заканчивается тогда, когда напряжение на выходе интегратора оказывается равно нулю.

Аналого-цифровые преобразователи.

Напряжение на выходе интегратора по истечении отрезка времени t_1 определяется выражением

$$U_u(t_1) = -\left(\frac{1}{RC}\right) \cdot \int_0^{t_1} U_{ex} dt = -(U_{ex} \cdot t_1) / RC$$

Подставив сюда выражение для $U_u(t_1)$, получим

$$t_2 = -(RC/U_{on}) \cdot U_u(t_1)$$

Используется аналогичное выражение для отрезка времени t_2 , получим

$$t_2 = (U_{ex} / U_{on}) t_1$$

Аналого-цифровые преобразователи.

Код на выходе счётчика определяет величину входного напряжения.

Одним из основных преимуществ АЦП рассматриваемого типа является высокая помехозащищенность. Случайные выбросы входного напряжения, практически не оказывают влияния на погрешность преобразования. Недостаток АЦП - малое быстродействие.

Аналого-цифровые преобразователи.

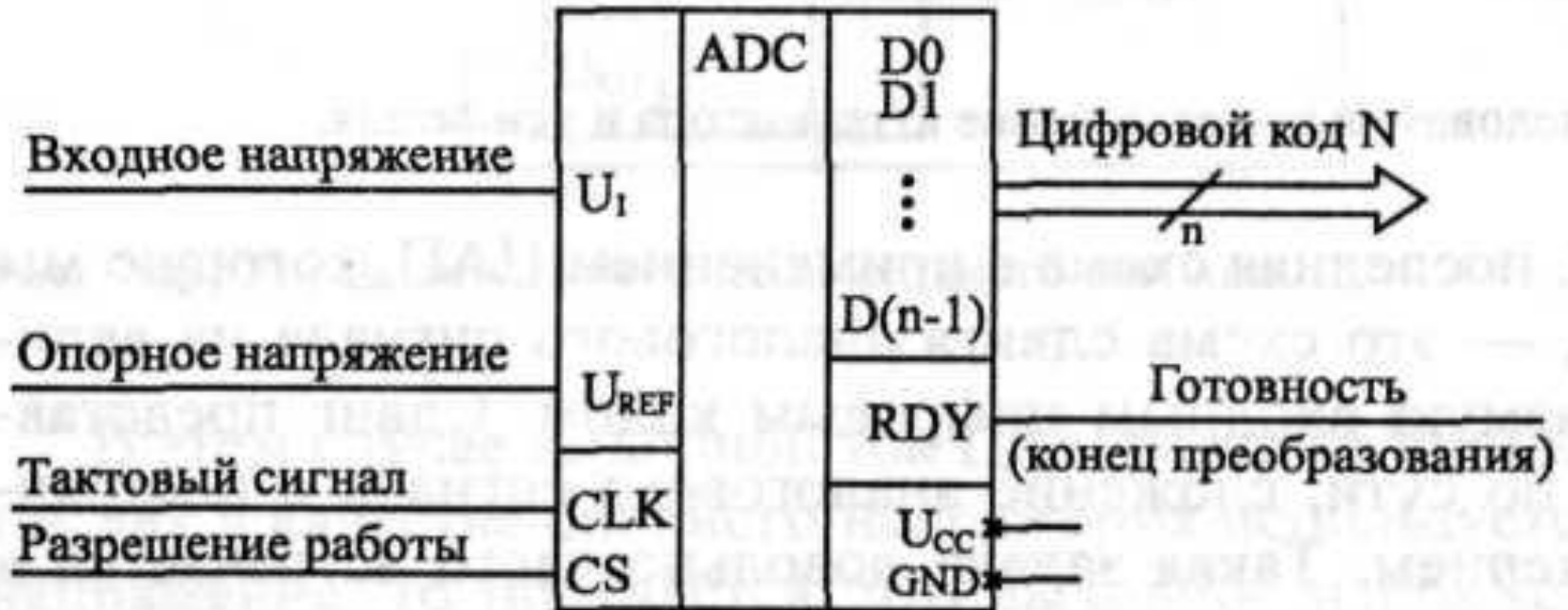


Рис. 7.13. Микросхема АЦП.

Таблица 2.

Тип м/схемы	Число разрядов	$t_{пр}$, мкс	Упит, В	$R_{потр}$, мВт	Преобразование
К1107ПВ1	6	0,1	+5 -6	800	Параллельное
К1107ПВ2	8	0,1	+5 -6	3000	Параллельное
КР572ПВ1А	12	110	5÷15 -15	30	Последовательное
К572ПВ3	8	15	5	35	Последовательное
К572ПВ4	8	32	5	15	Последовательное
К1108ПВ1А	10	0,9	9 -5,2	800	Последовательное
К1138ПВ1А	10	30	9 -15	225	Последовательное

Аналого-цифровые преобразователи.

- Наиболее распространёнными являются АЦП серий микросхем 572, 1107, 1138 и др. (таблица 2).
- Из таблицы видно, что наилучшим быстродействием обладает АЦП параллельного преобразования а наихудшем – АЦП последовательного преобразования.