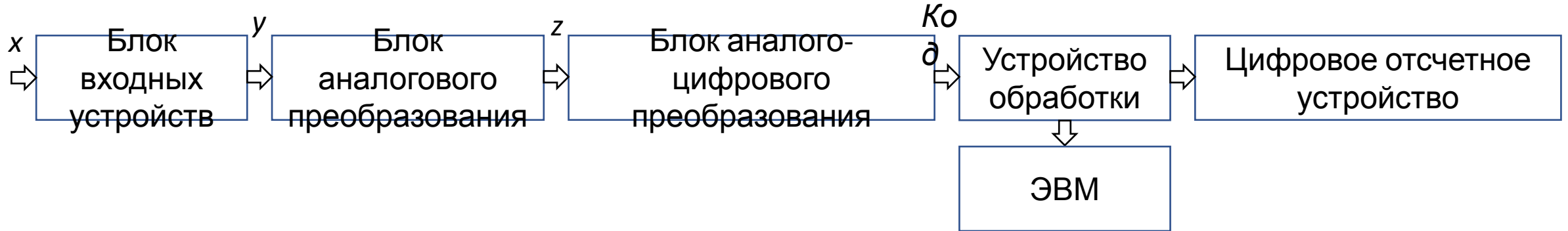
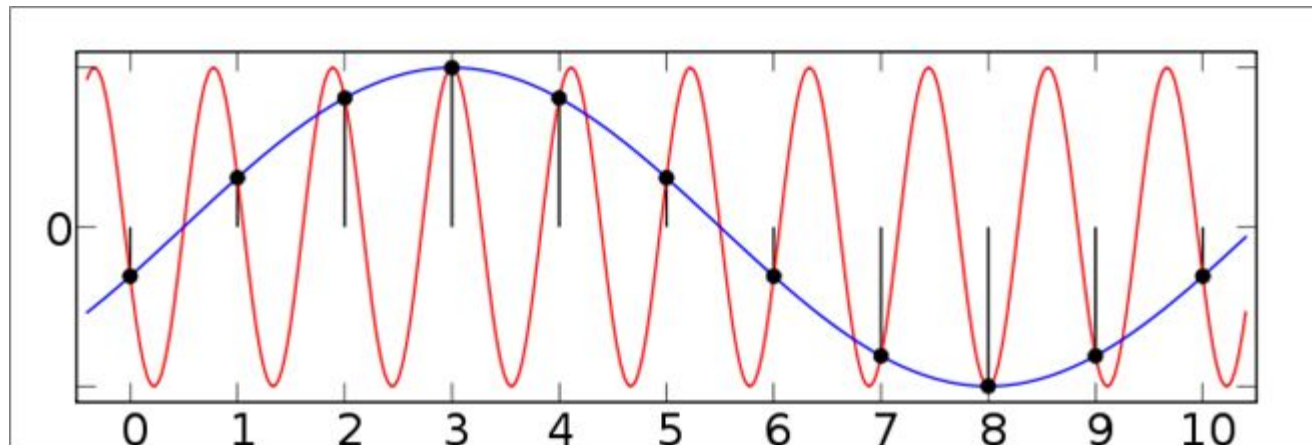


# Цифровые электроизмерительные устройства

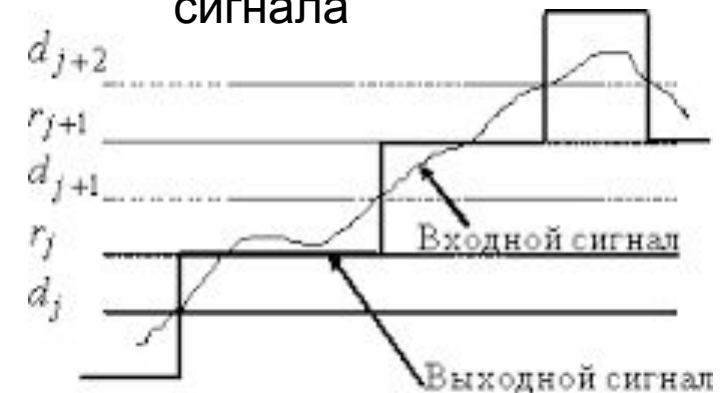
**Цифровые измерительные приборы** — это приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме.



Дискретизация сигнала

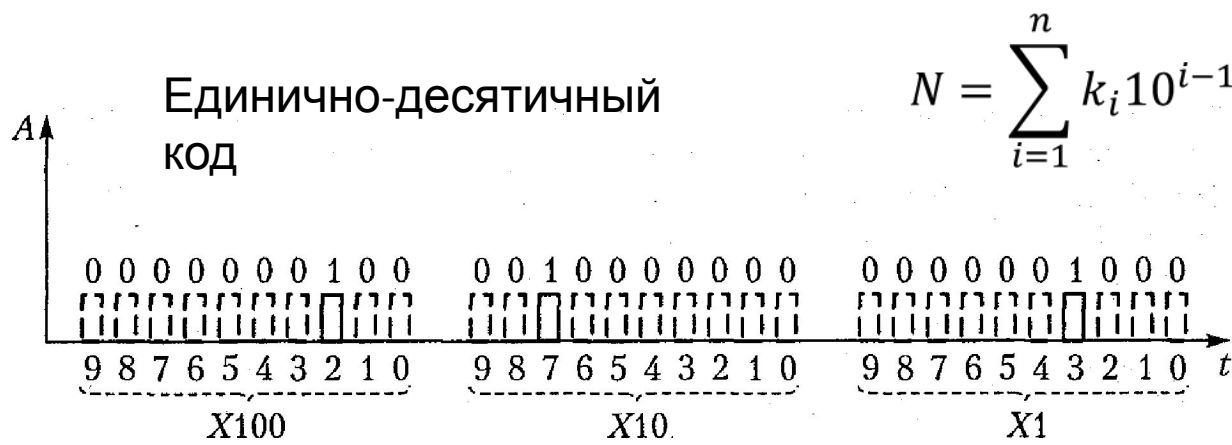
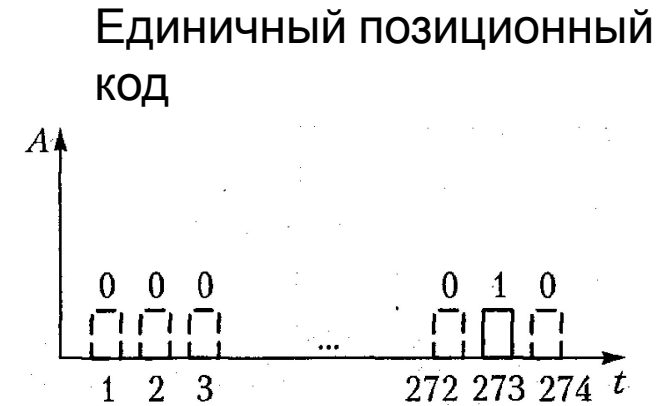


Квантование сигнала



$d_j$  —  $j$ -й пороговый уровень  
 $r_j$  —  $j$ -й уровень квантования

# Коды в цифровых измерительных устройствах



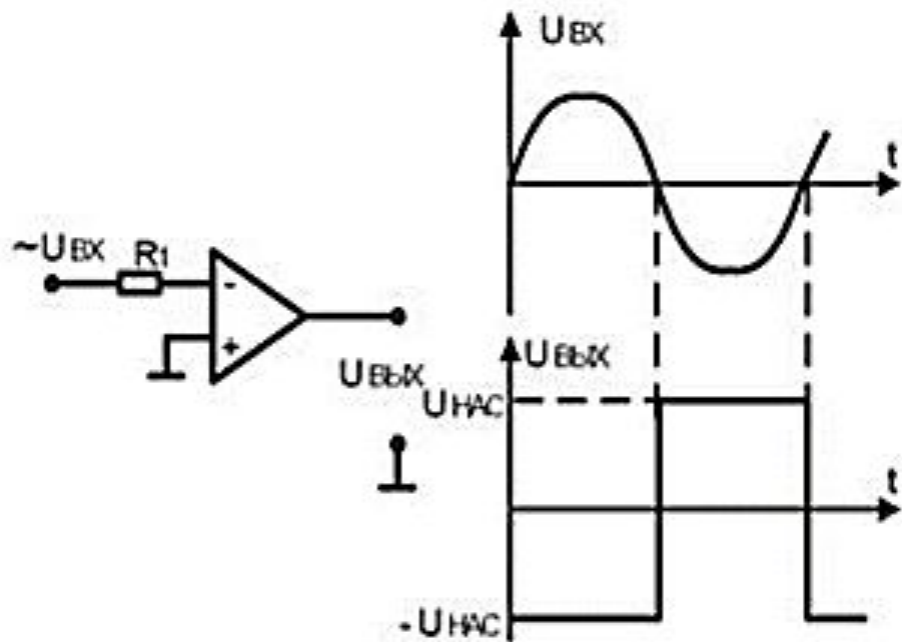
# Элементы цифровых измерительных устройств

## Компаратор

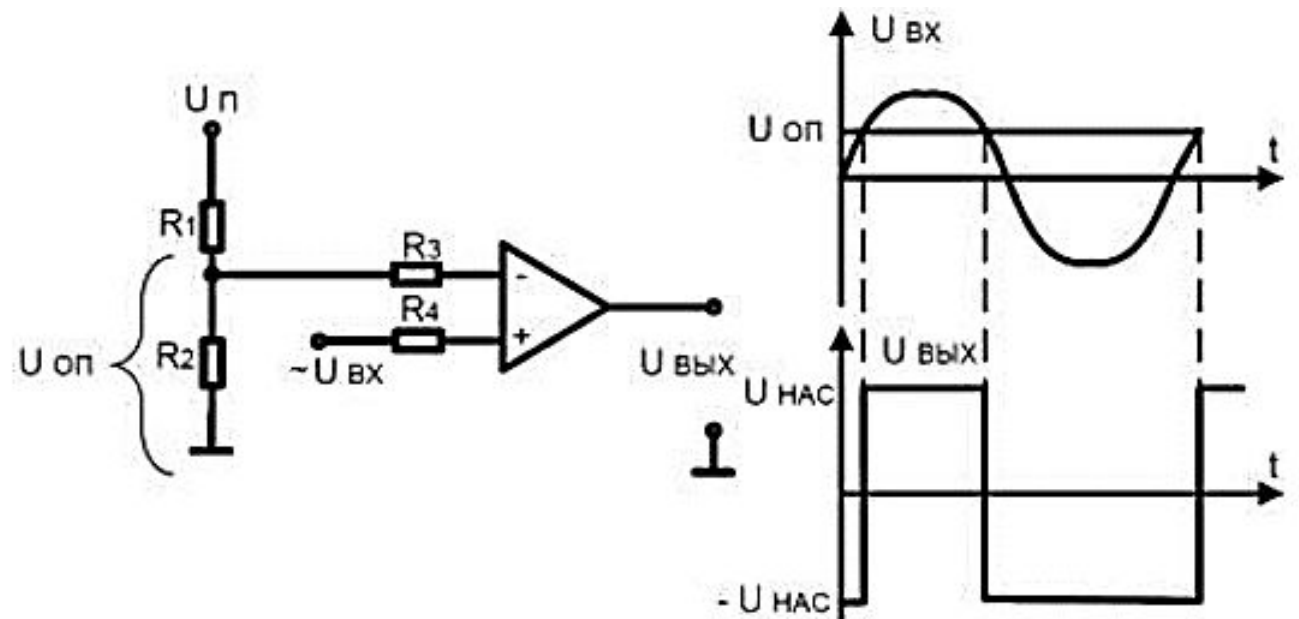
ы

**Компаратор** – устройство, предназначенное для сравнения двух входных сигналов, также это элемент перехода от аналоговых к цифровым сигналам.

Компаратор нулевого уровня



Компаратор ненулевого уровня



# Комбинационные логические устройства

**Комбинационная схема** – логическая схема, сигнал на выходе которой определяется только уровнями сигналов на ее входах

**Логические элементы.** Входными и выходными сигналами этих элементов являются переменные, принимающие только два значения: 1 (высокий потенциал) и 0 (низкий потенциал).

1. Логический элемент ИЛИ реализует функцию логического сложения. Он имеет несколько входов и один выход. Выходная переменная принимает значение 1, если хотя бы одна входная переменная принимает значение 1. Выходная переменная принимает значение 0, если все входные переменные равны 0.
2. Логический элемент И реализует функцию логического умножения. Он имеет несколько входов и один выход. Выходная переменная принимает значение 1, если все входные переменные принимают значение 1. Выходная переменная принимает значение 0, если хотя бы одна входная переменная равна 0. Элемент И называется схемой совпадения и может применяться как логический ключ, один из входных сигналов которого является управляющим.
3. Логический элемент НЕ реализует функцию логического отрицания. Если входная переменная имеет значение 1, то переменная на выходе принимает значение 0, и наоборот, если переменная на входе равна 0, то на выходе будем иметь 1.

# Комбинационные логические устройства

**Шифратор** – устройство, которое преобразует входной позиционный код в выходной двоичный.

**Дешифратор** – устройство, которое преобразует входной двоичный в выходной позиционный код.

**Мультиплексор** – схема выборки с электронным управлением. Мультиплексор подключает один из  $n$  входных сигналов к единственной выходной линии.

**Демultipлексор** – устройство, функционально противоположное мультиплексору. Он подключает единственный входной сигнал к одному из  $n$  выходов, определяемому адресом.

**Сумматоры** – предназначены для арифметического сложения двух переменных.

**Схемы сравнения (цифровой компаратор)** – предназначены для сравнения двух двоичных чисел.

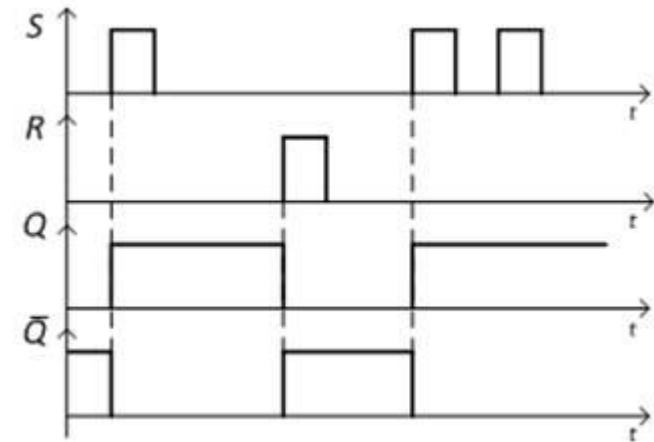
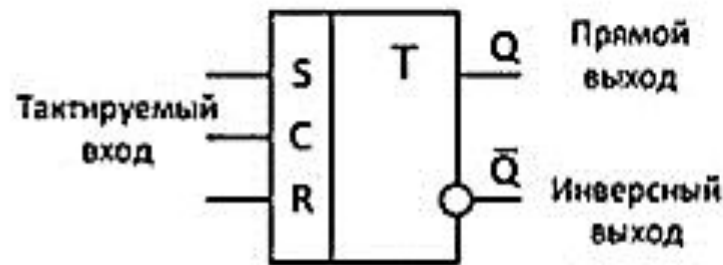
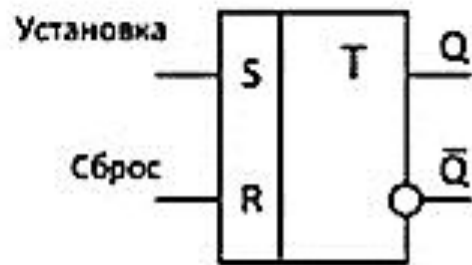
**Схема контроля четности.** Проверка четности двоичных чисел используется в системах передачи двоичной информации с целью повышения надежности передачи.

**Арифметико-логическое устройство** многофункциональное устройство, которое выполняет над входными числами различные арифметические и логические операции.

# Логические устройства с памятью

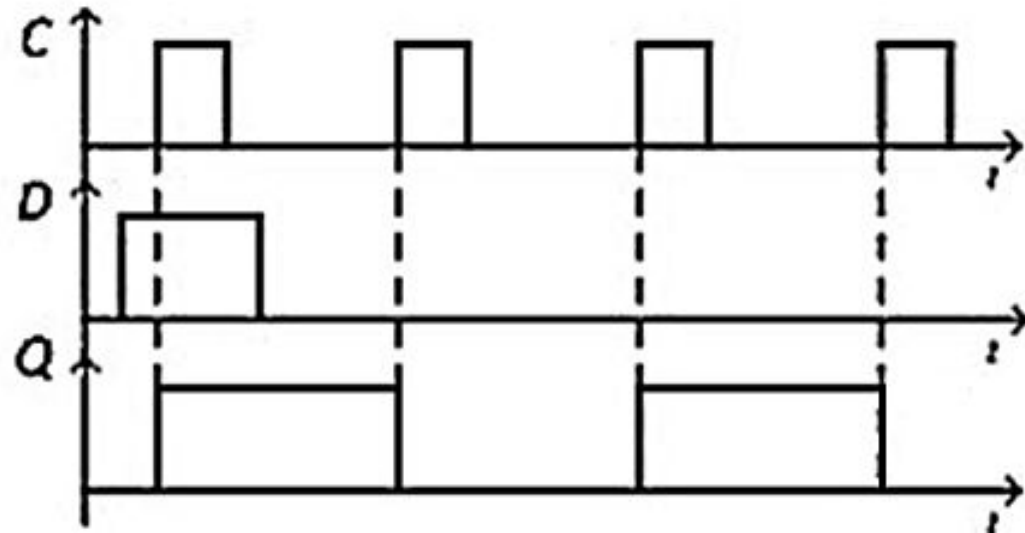
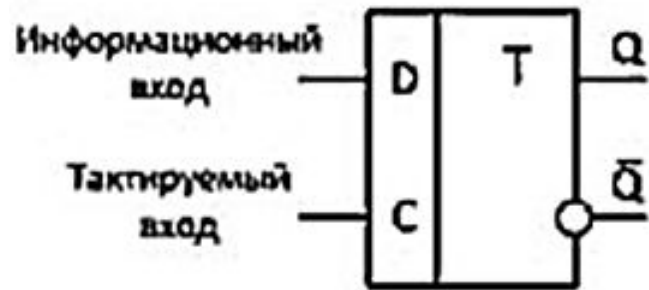
**Триггер** (англ. trigger – курок) – электронное устройство, обладающее двумя устойчивыми состояниями и способное скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего импульса.

**RS-триггер** имеет минимум два входа: S (set – устанавливать) - производится установка триггера в состояние уровня «1» и R (reset) - сброс триггера в состояние уровня «0».



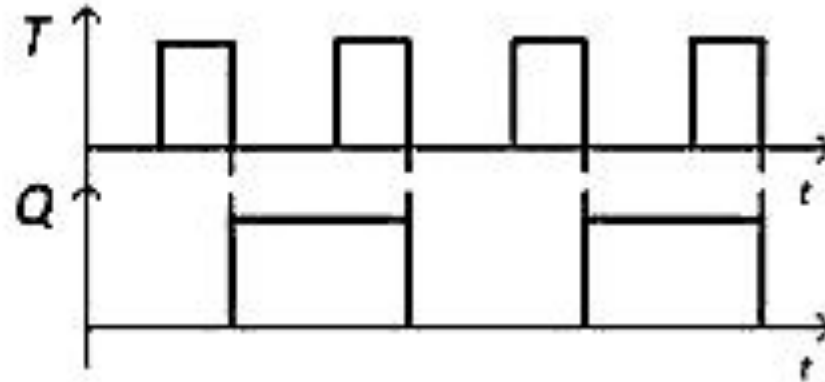
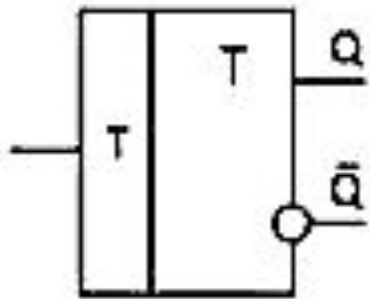
# Логические устройства с памятью

**D-триггер** (от англ. delay – задержка) имеет один информационный вход и тактируемый (синхронизирующий) вход



# Логические устройства с памятью

**T-триггеры** (от англ. tumble – опрокидываться, кувиркаться), называемые также счётными триггерами, имеют один информационный вход T. Каждый импульс (спад импульса) на T-входе (счетном входе) переключает триггер в противоположное состояние.





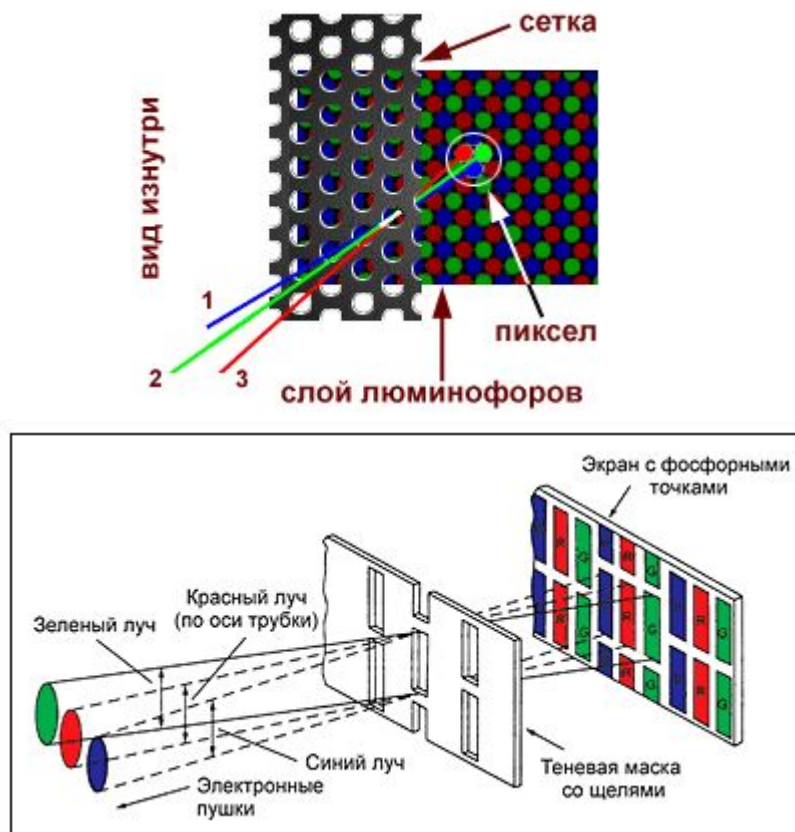
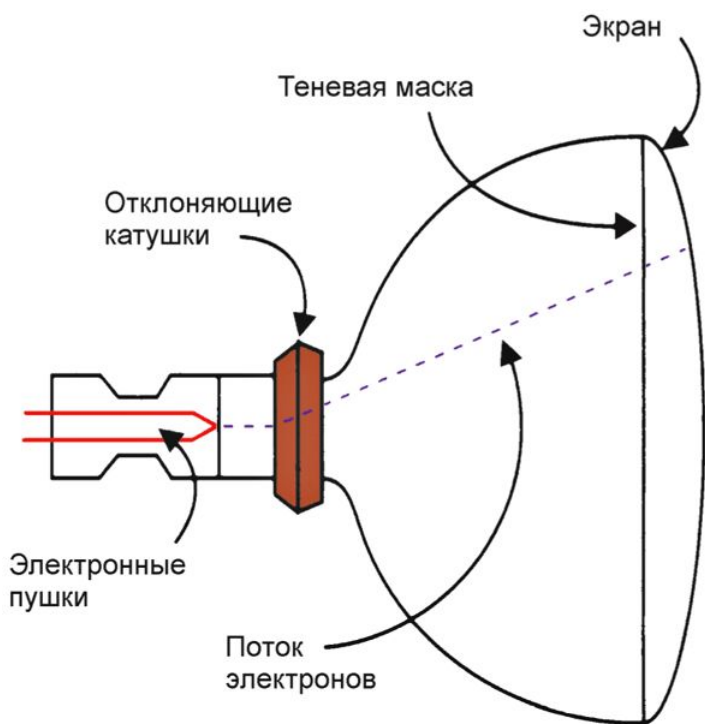
# Логические устройства с памятью

**JK-триггер** (от англ. jump – скачок, keep – держать) имеет два информационных входа J и K, и тактируемый вход С. Назначение выводов J и K аналогично назначению выводов R и S, но при этом триггер не имеет запретных комбинаций. Если  $J = K = 1$  он изменяет свое состояние на противоположное.



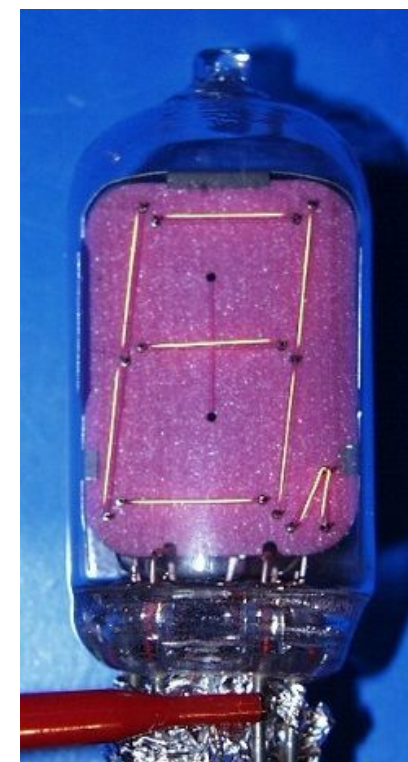
# Цифровые отсчетные устройства

## Электронно-лучевые приборы



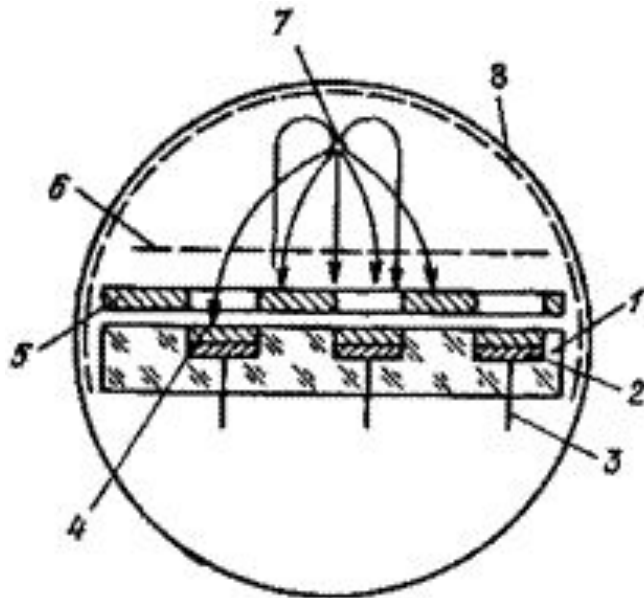
Катодолуминесценция

## Вакуумные накаливаемые индикаторы



Тепловое излучение

# Вакуумные люминесцентные индикаторы



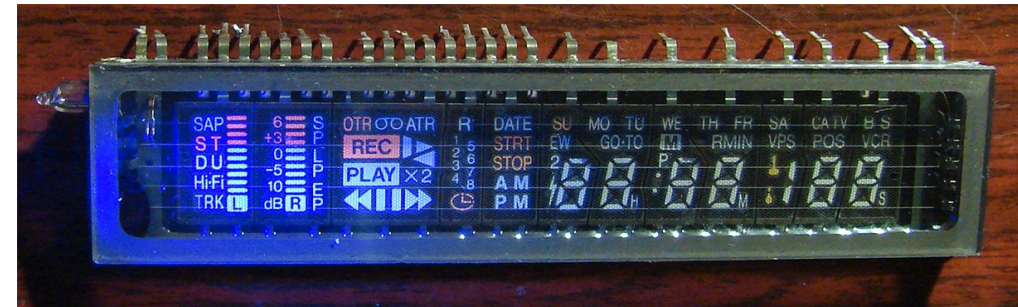
- 1 – керамическая или стеклянная плата
- 2 – анод
- 3 – вывод
- 4 – люминофор
- 5 – маска
- 6 – управляющая сетка
- 7 – катод из молибдена
- 8 – проводящий слой

Низковольтная  
катодолюминесценция

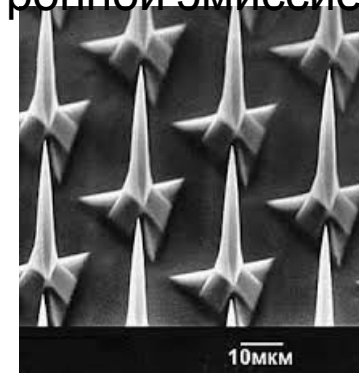
$$L = bj(U - U_{\text{пор}})^2$$

$$U_{\text{пор}} \approx 6 \div 7 \text{ В для ZnS}$$

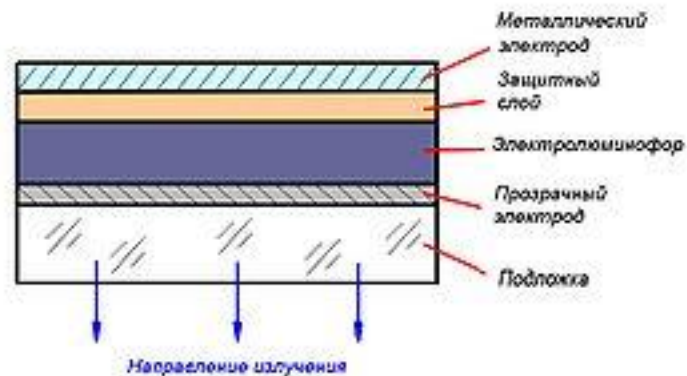
$$4 \div 5 \text{ В для ZnS, CdS}$$



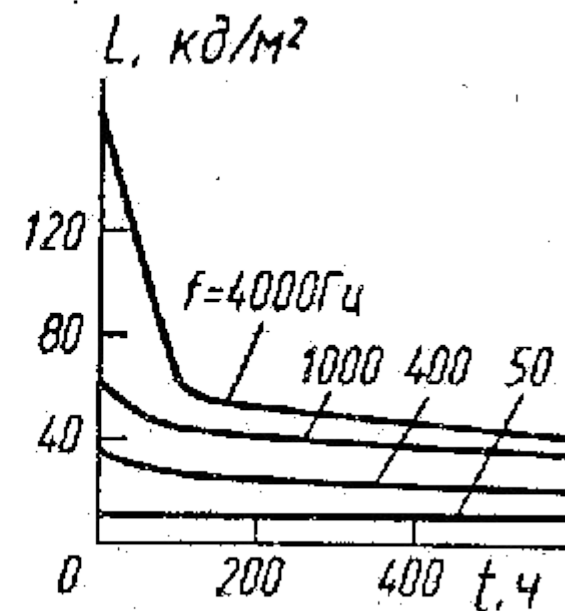
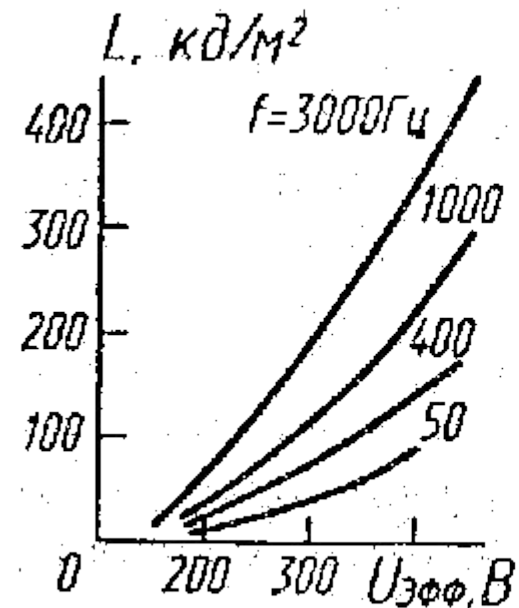
Полевые эмиссионные дисплеи с холодными кремниевыми катодами с алмазным покрытием (дисплей с автоэлектронной эмиссией)



# Электролюминесцентные индикаторы



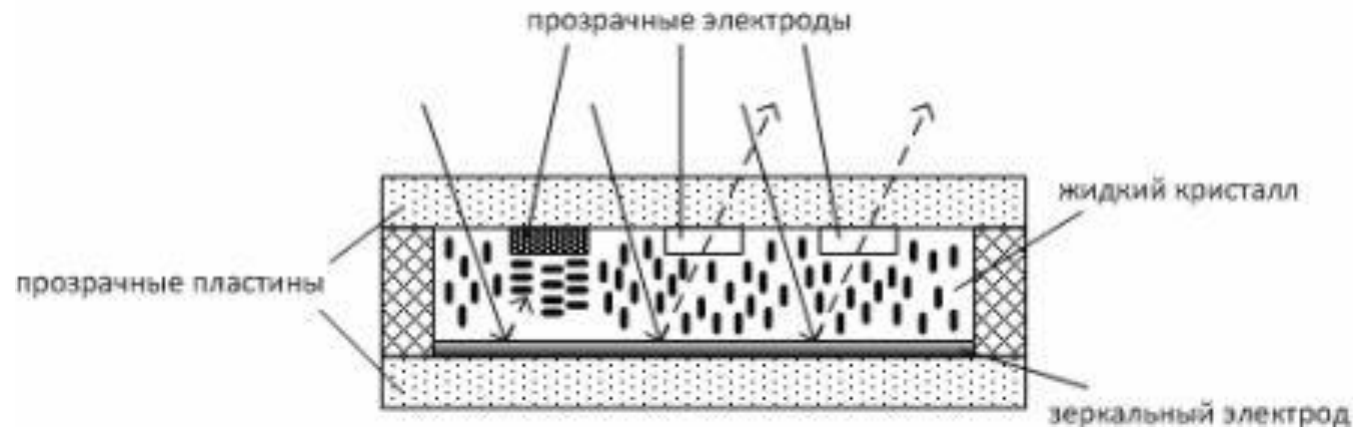
Структура электролюминесцентного излучателя



Предпробойная  
электролюминесценция



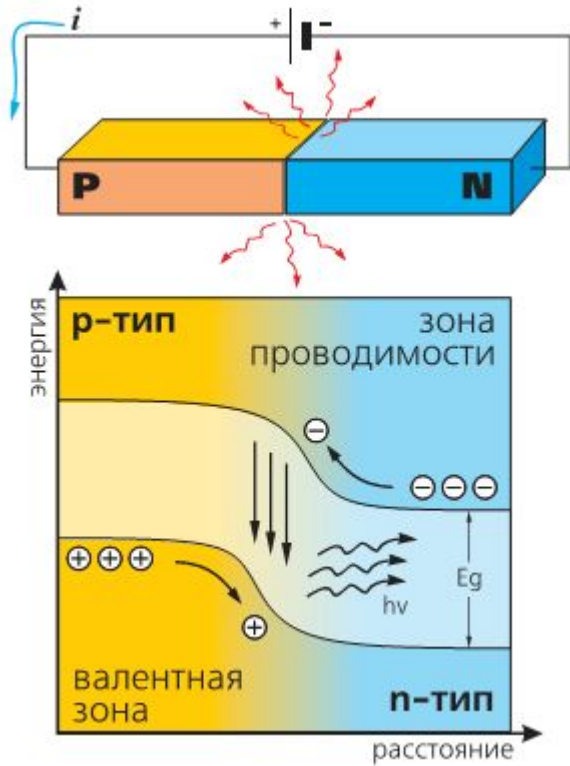
## Жидкокристаллические индикаторы



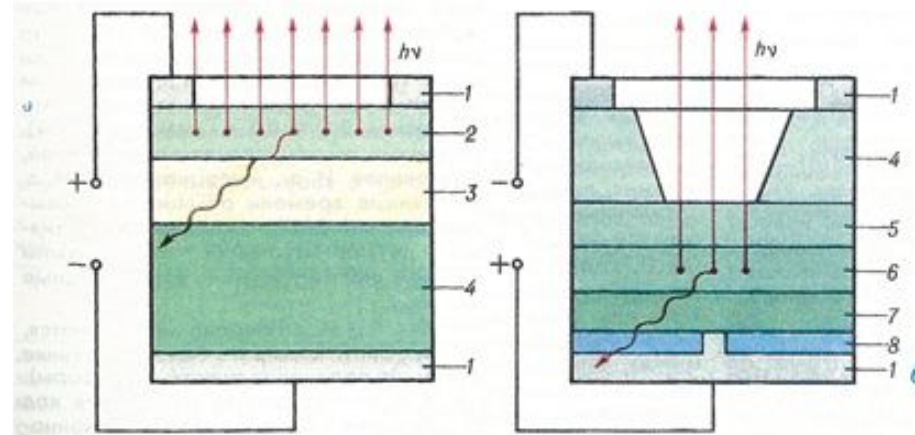
Одновременное сочетание свойств жидкости (текучесть, каплеобразование) и кристалла (оптическая анизотропия) некоторых веществ в определенном диапазоне температур между точкой кристаллизации и точкой превращения в однородную жидкость



# Полупроводниковые индикаторы



Инжекционная  
электролюминесценция



Излучающие полупроводниковые приборы.  
Рис. 1. Примеры структур активных элементов полупроводниковых генераторов излучения на арсениде галлия и его твердых растворах: а — плоская с большой излучающей поверхностью на основе гомоперехода; б — плоская с малой излучающей поверхностью на гетеропереходе; в — полусферическая на гомопереходе; г — контакты; 2 — pGaAs; 3 — nGaAs; 4 — n GaAs; 5 —  $nAl_xGa_{1-x}As$ ; 6 —  $pAl_yGa_{1-y}As(y < x)$ ; 7 —  $pAl_xGa_{1-x}As$ ; 8 — слой  $SiO_2$ .

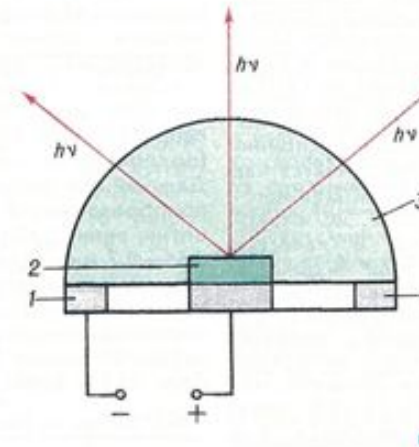
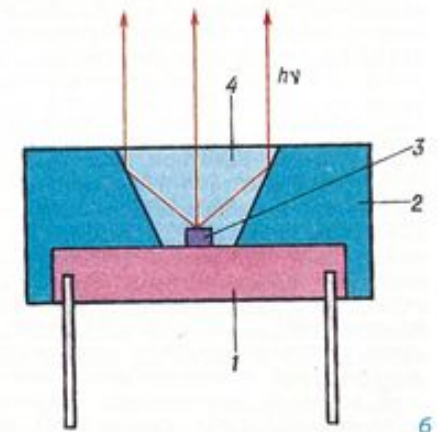
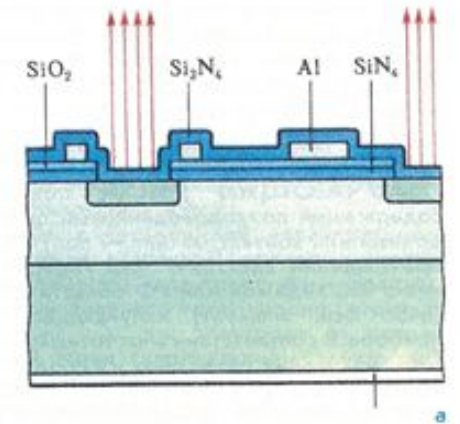
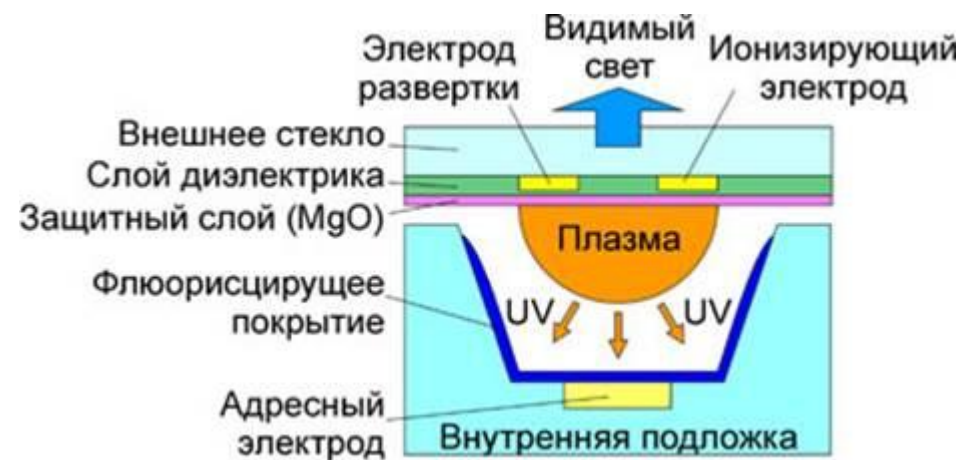


Рис. 2. Монолитная (а) и гибридная (б) конструкции полупроводникового индикатора: 1 — основание корпуса (держатель); 2 — светопровод; 3 — полупроводниковый кристалл; 4 — полость светопровода.



# Газоразрядные индикаторы



Тлеющий  
разряд

## Характеристики индикаторов

Характеристика	Вид индикаторных приборов						
	ЭЛч	ВН	ВЛ	ЭЛ	ГР	ПП	ЖК
Яркость свечения, кд/м <sup>2</sup>	$3 \cdot 10^2$	$10^3 \dots 10^4$	$5 \cdot 10^2$	$10^1 \dots 10^2$	$10^2$	$10^2 \dots 10^3$	—
Цвет свечения	любой из смеси основных	соломенно-желтый	красный, зеленый, синий	красный, желтый, зеленый, голубой, синий	красный, оранжевый, зеленый, синий	красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, белый	
Потребляемая на знак мощность, мВт	$10^4$	$10^3$	$10^2$	практически не потребляет	$10^2$	$10^1 \dots 10^2$	$10^2 \dots 10^3$
Напряжение питания, В	$3 \cdot 10^4$	5	30	200	200	2	3
Быстродействие, с	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$
Срок службы, ч	$10^5$	$10^4 \dots 10^5$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10^3$	$10^5 \dots 10^6$	$10^6$
Диапазон рабочих температур, °С	-60...70	-60...90	-60...70	-50...60	-60...70	-60...70	5...50
Радиационная стойкость	низкая	очень высокая	низкая	низкая	высокая	очень низкая	низкая

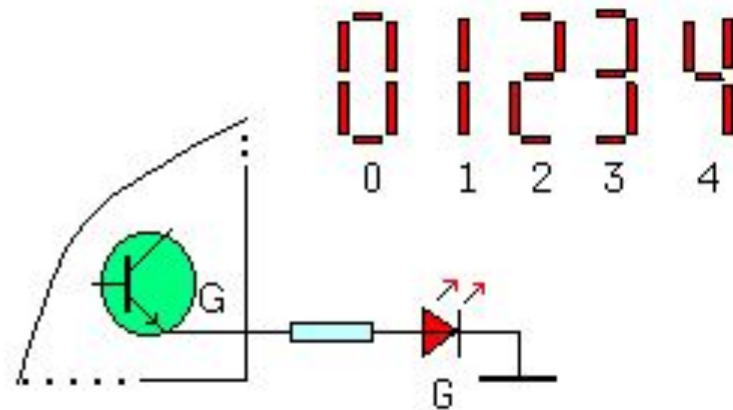
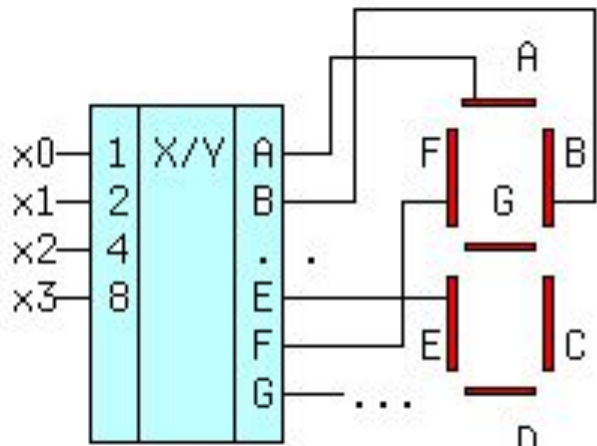


# Преобразователи кодов

**Весовые преобразователи кодов** преобразуют информацию из одной системы счисления в другую

Пересчетные устройства, например, применяют для деления частоты импульсов и для преобразования единичного кода в двоичный или двоично-десятичный и т. д. (компаратор со счетным входом, шифратор).

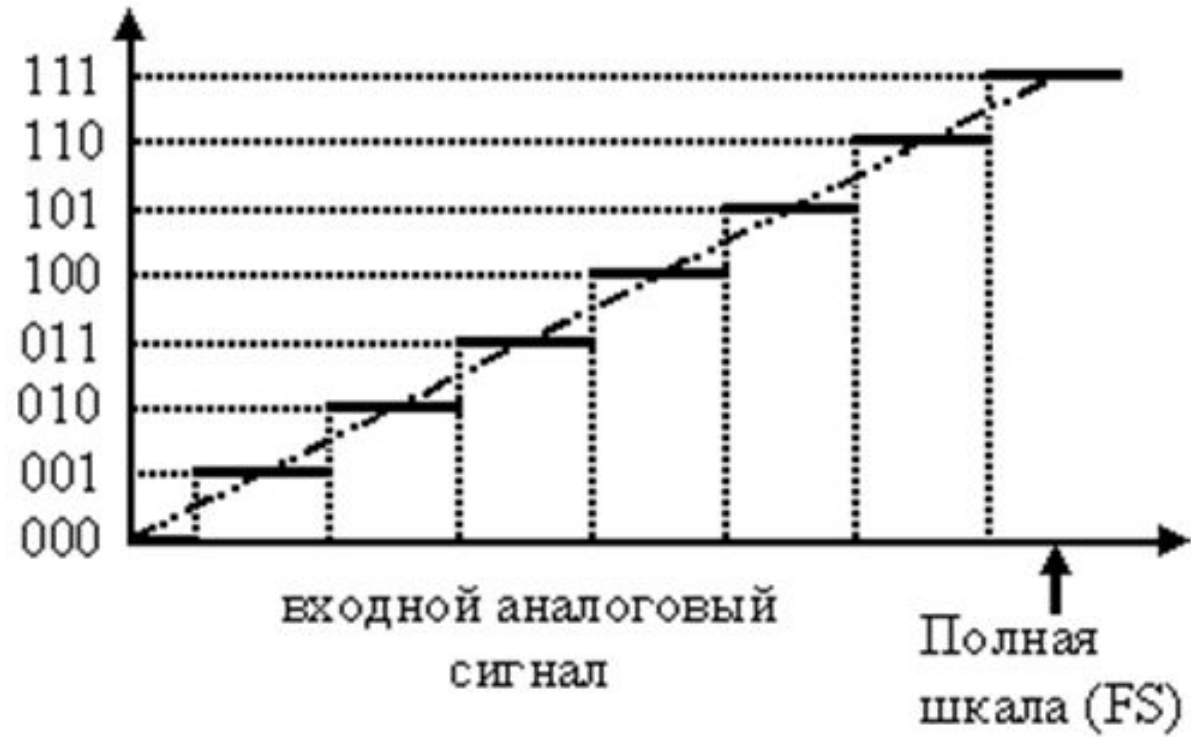
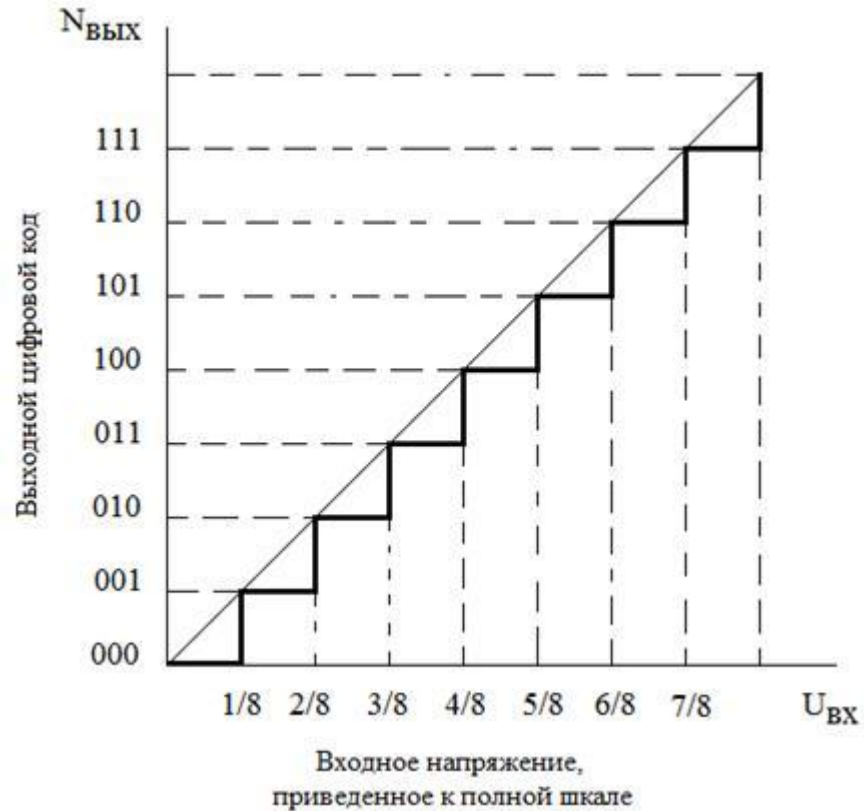
**Невесовые преобразователи кодов** преобразуют информацию для ее дальнейшего отображения



Десятич цифра	веса				сегменты						
	8 x3	4 x2	2 x1	1 x0	A	B	C	D	E	F	G
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	.	.	.	.	.	.
3	0	0	1	1	1	.	.	.	.	.	.
4	0	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
5	0	1	0	1	1	.	.	.	.	.	.
6	0	1	1	0	1	.	.	.	.	.	.
7	0	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.
8	1	0	0	0	1	.	.	.	.	.	.
9	1	0	0	1	1	.	.	.	.	.	.

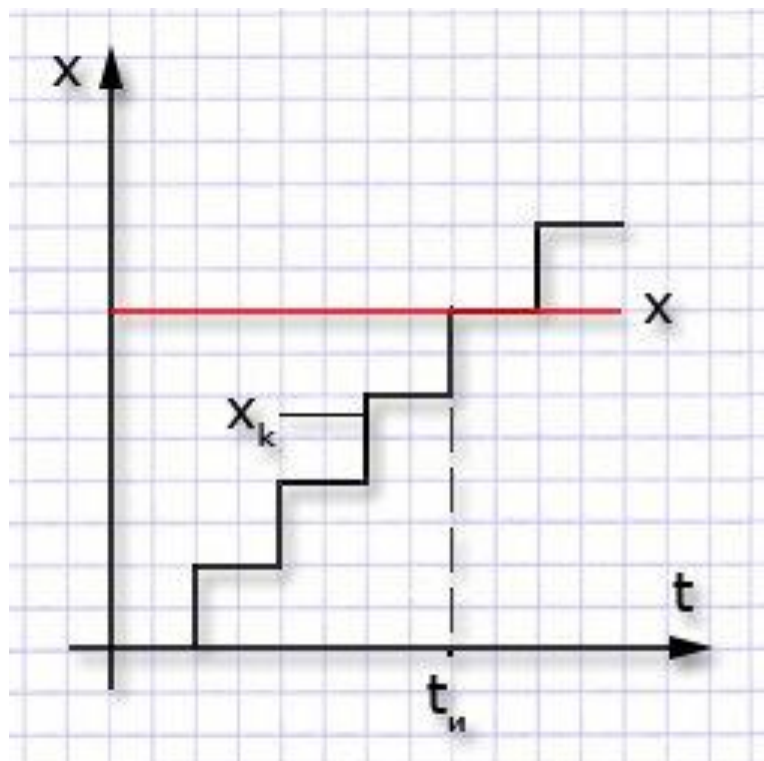
# Аналого-цифровое преобразование

Номинальная характеристика преобразования (примеры)

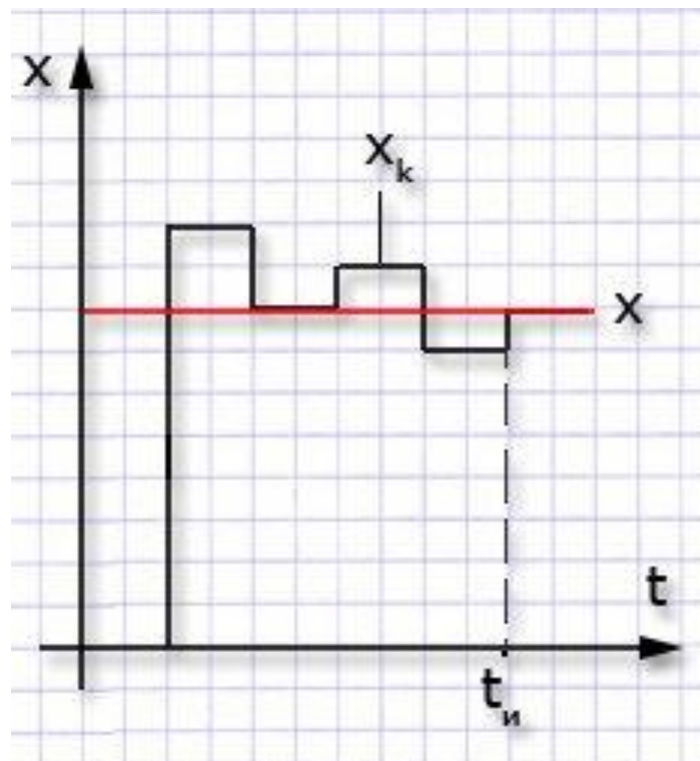


# Методы преобразования

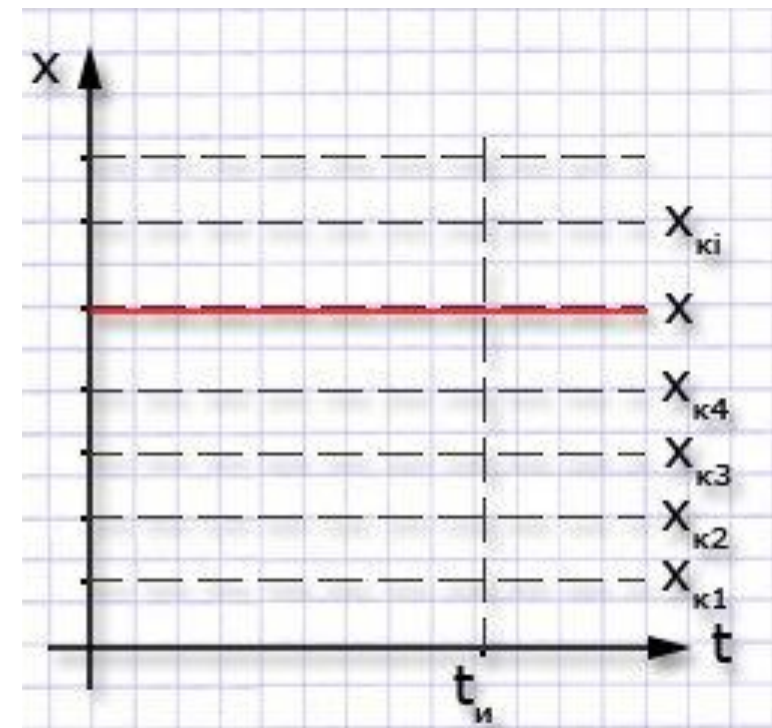
Последовательного  
счета



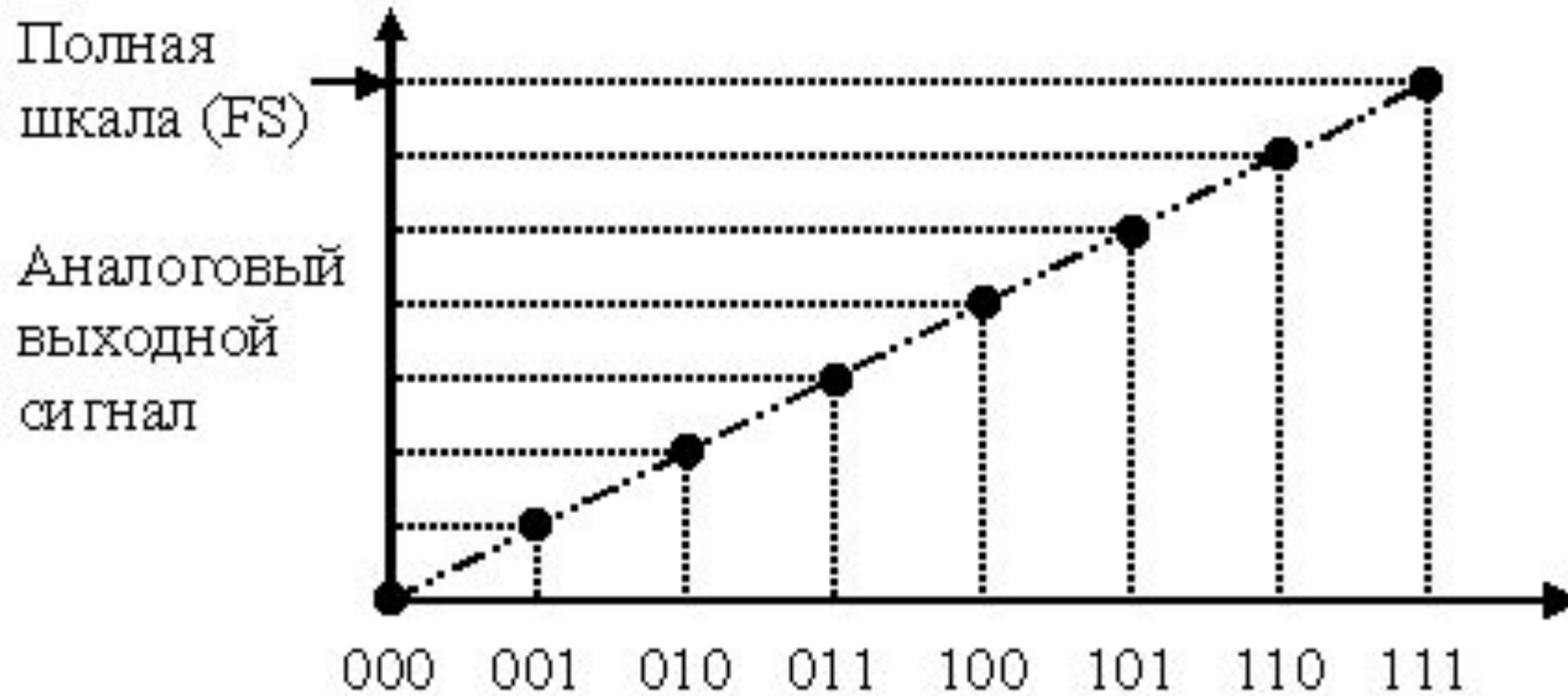
Последовательного  
приближения



Считывани  
я



# Цифро-аналоговое преобразование



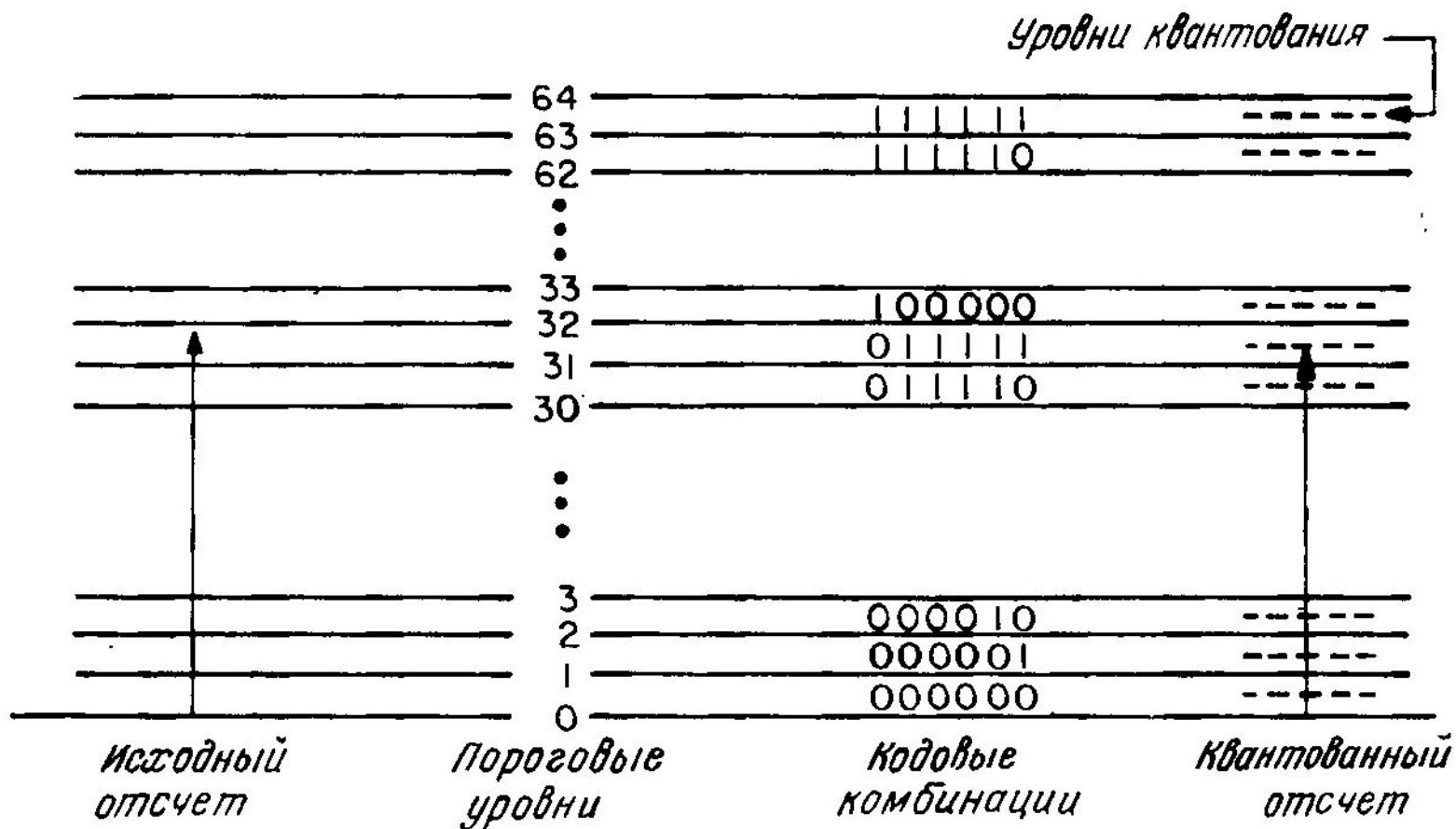
# Характеристики АЦП и ЦАП

**Разрядность** характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе.

**Быстродействие** определяется входным сопротивлением и быстродействием устройством сравнения. Быстродействие же цифрового СИ в целом ограничивается инерционностью зрительного восприятия.

**Погрешность квантования** – методическая погрешность, представляющая собой погрешность округления, которая появляется вследствие замены мгновенного значения преобразуемого аналогового сигнала ближайшим разрешенным уровнем.

# Погрешность квантования

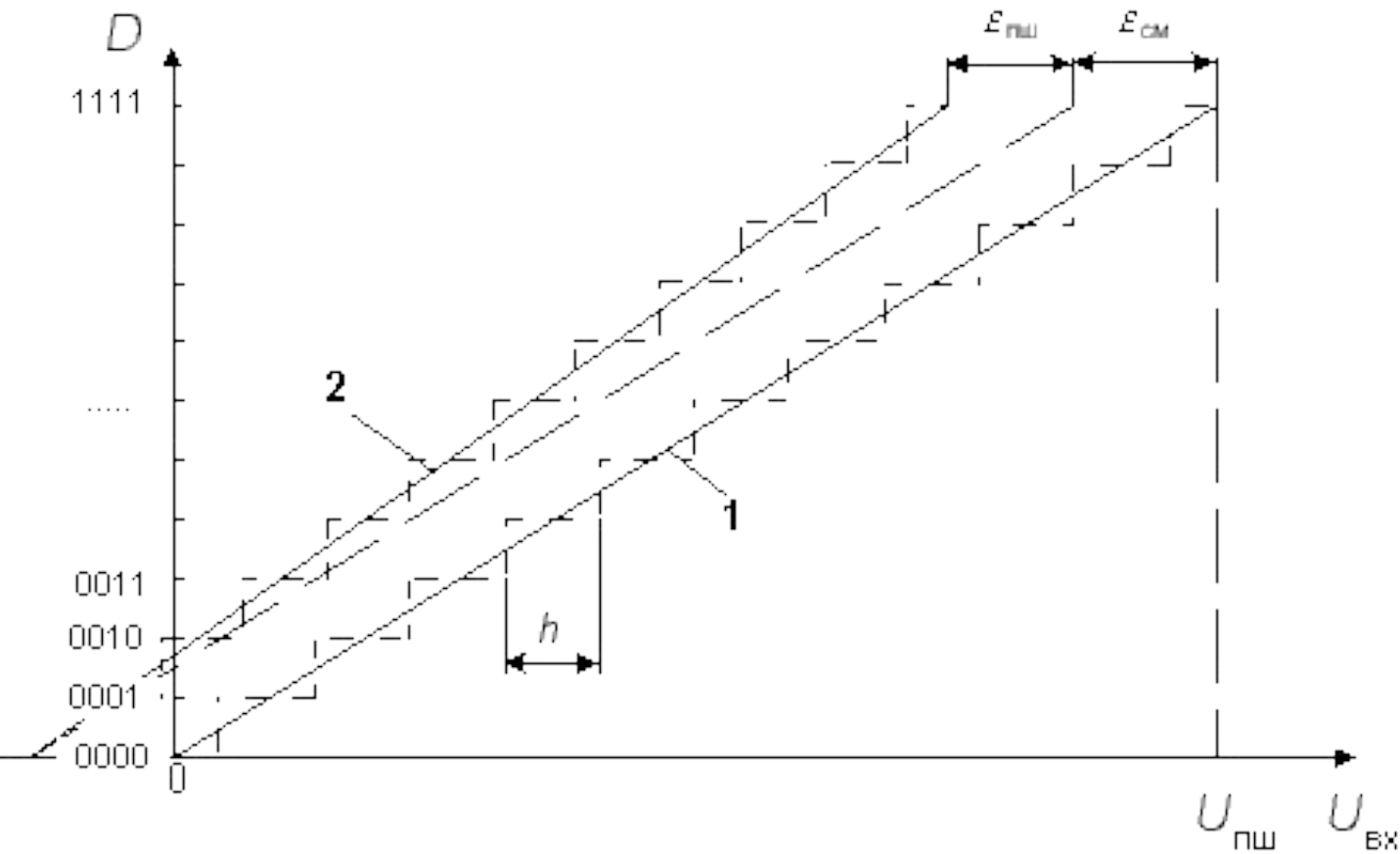


Если  
 $x_{min} \leq x \leq x_{max}$   
 и  
 $x_i \leq x < x_{i+1}$   
 $x \rightarrow x_{ki}$

$$x_{i+1} - x_i = \Delta x_i$$

$$\Delta x_{\text{ПКВ}i} = x_{ki} - x$$

# Погрешности аналого-цифрового преобразования



1. Номинальная характеристика преобразования
2. Реальная характеристика преобразования

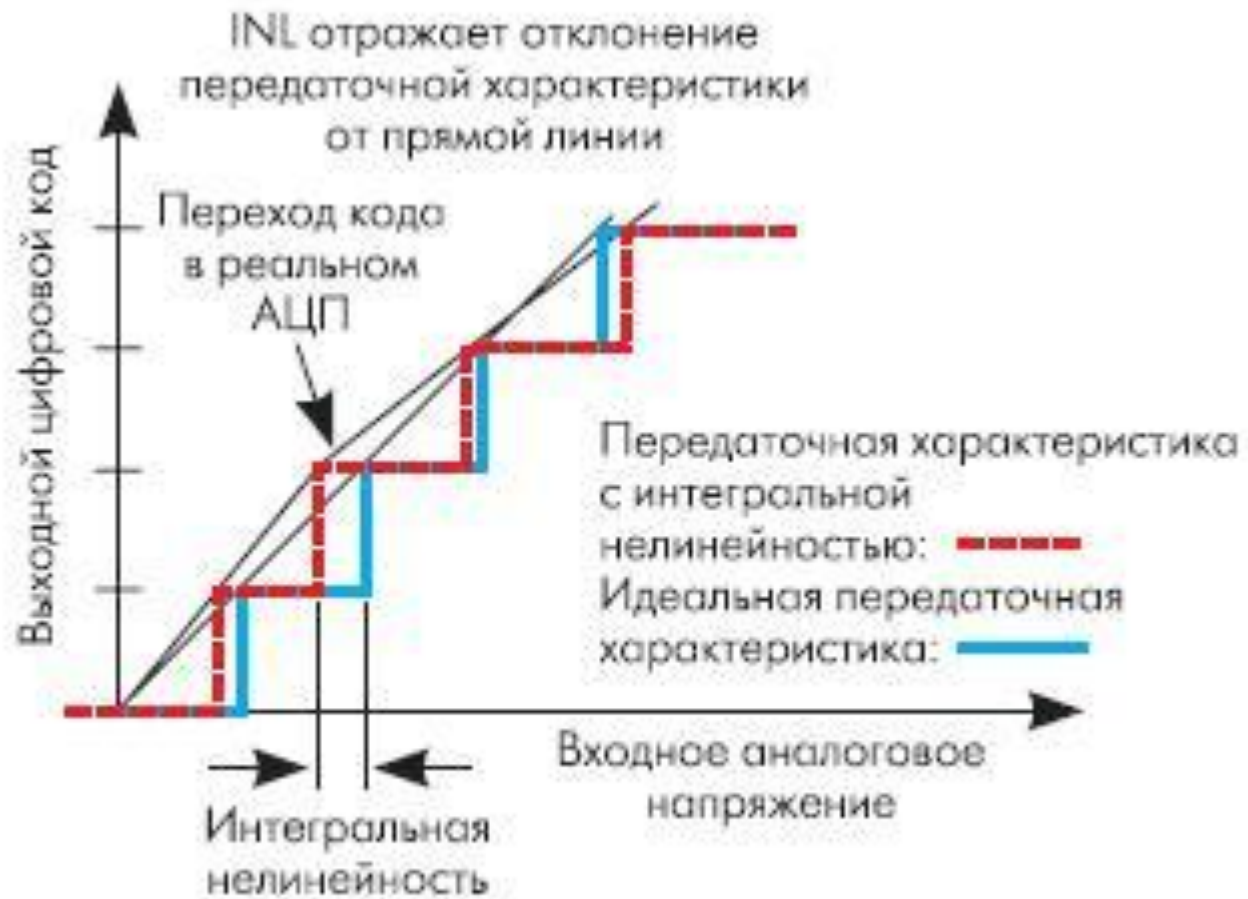
**Погрешность полной шкалы** - относительная разность между реальным и идеальными значениями предела шкалы преобразования при отсутствии смещения нуля.

$$\delta_{пш} = \frac{\varepsilon_{пш}}{U_{пш}}$$

**Погрешность смещения нуля** - значение  $U_{вх}$ , когда код аналого-цифрового преобразователя равен нулю.

$$\delta_{см} = \frac{\varepsilon_{см}}{U_{пш}}$$

# Погрешности аналого-цифрового преобразования



**Интегральная нелинейность** аналого-цифрового преобразователя характеризует отклонение реальной функции преобразования от идеальной линейной

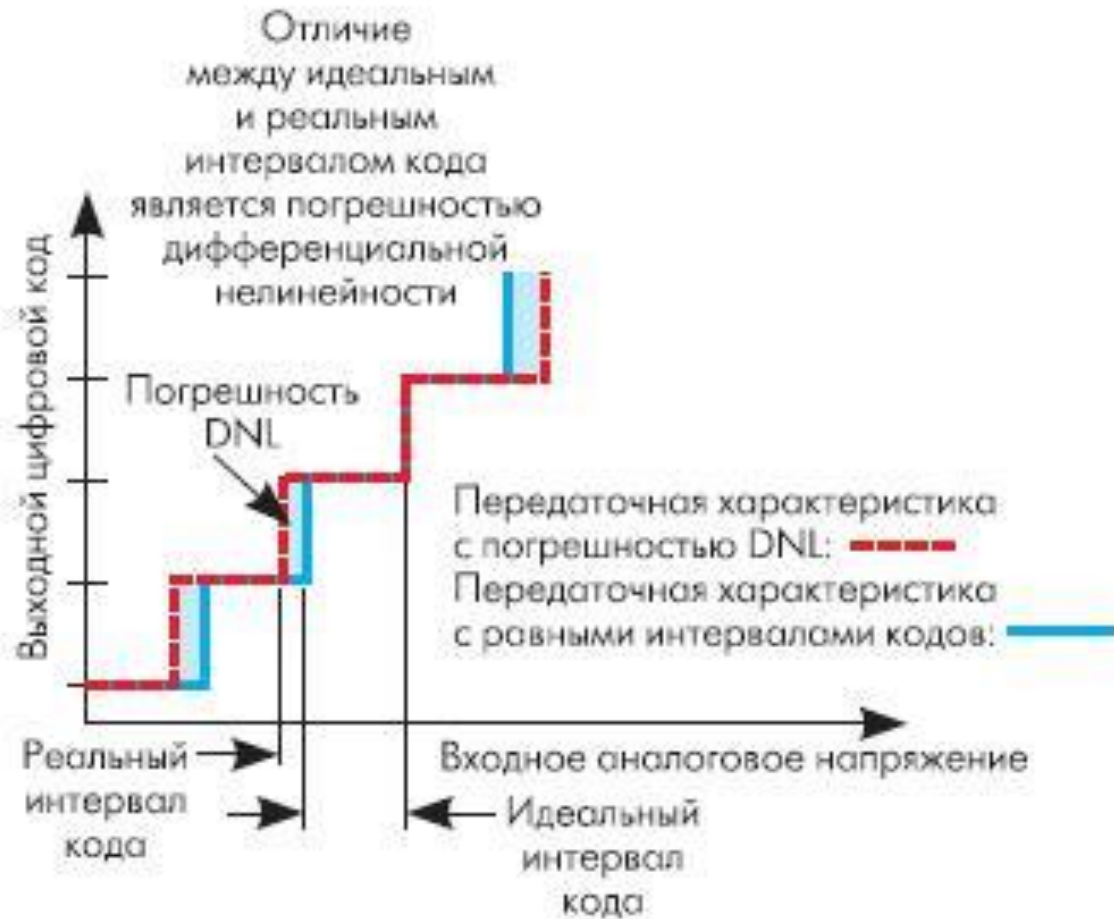
Погрешность интегральной линейности

$$\delta_{\text{лн}} = \frac{\Delta U_{\text{инл}}}{U_{\text{пш}}}$$



# Погрешности аналого-цифрового преобразования

**Дифференциальная нелинейность** характеризует неоднородность ширин ступеней входного аналогового сигнала при аналого-цифровом преобразовании

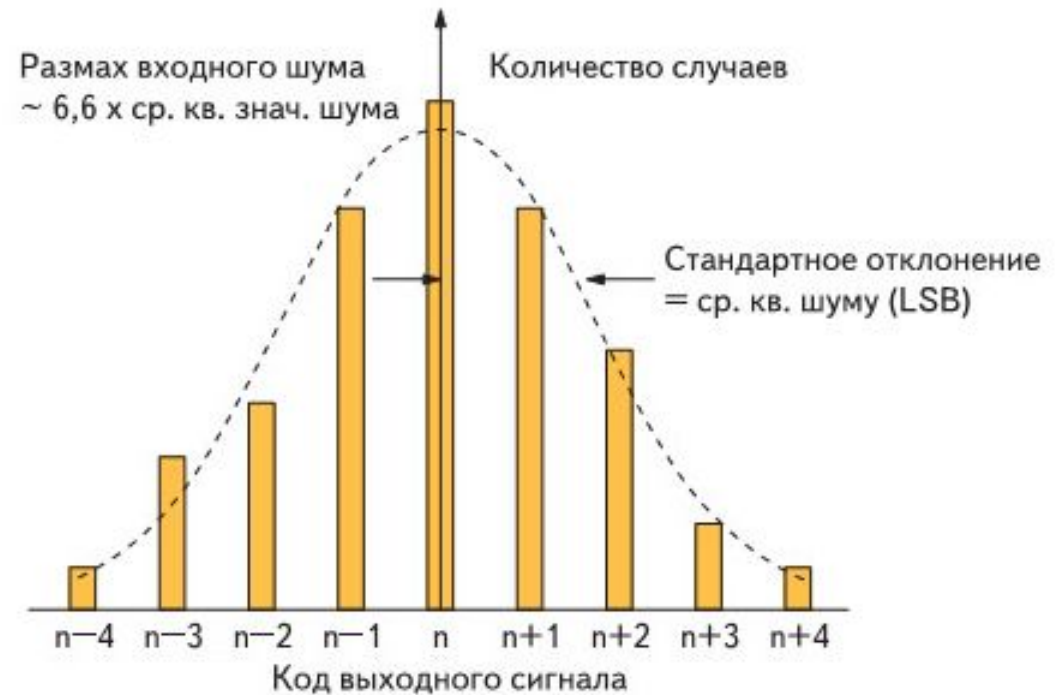


Погрешность дифференциальной линейности

$$\delta_{\text{ЛН}} = \frac{\Delta U_{\text{max}} - \Delta U_{\text{min}}}{\Delta U_{\text{ср}}}$$

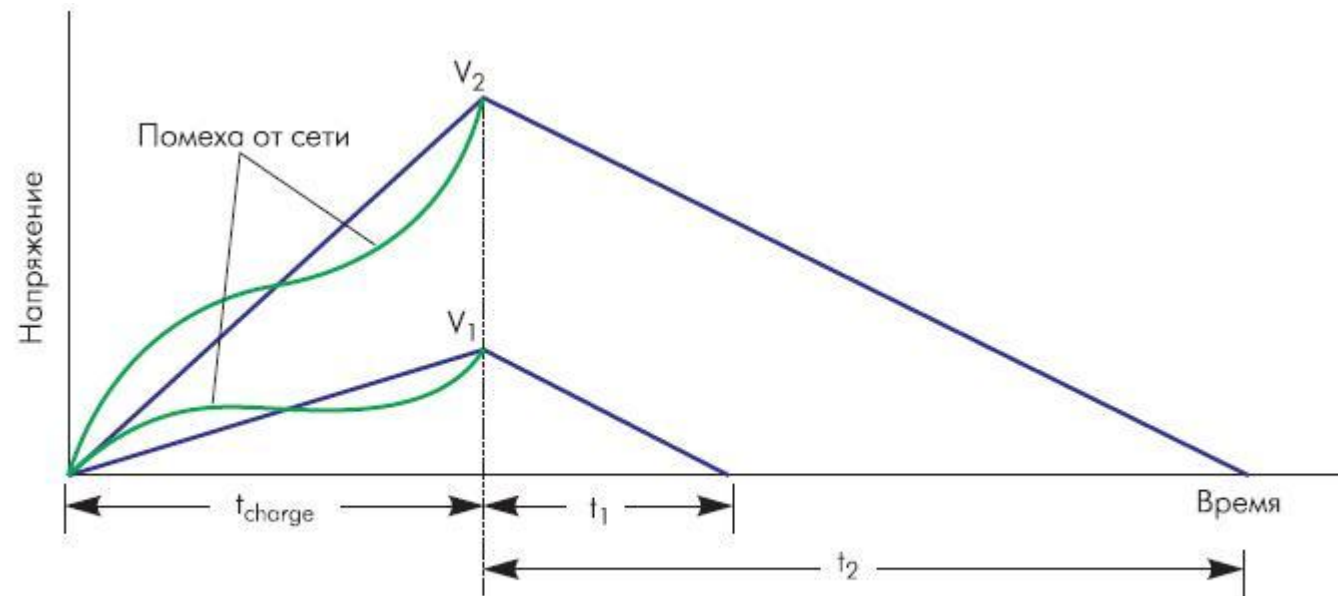
# Шумы аналого-цифрового преобразования

Шум, приведенный к входу

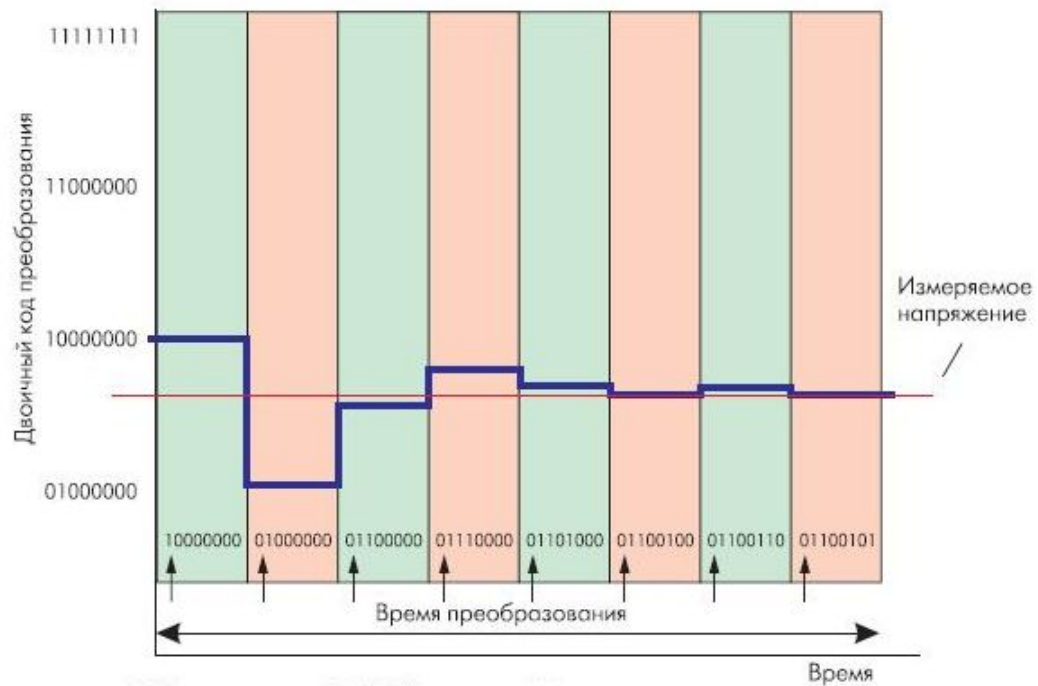
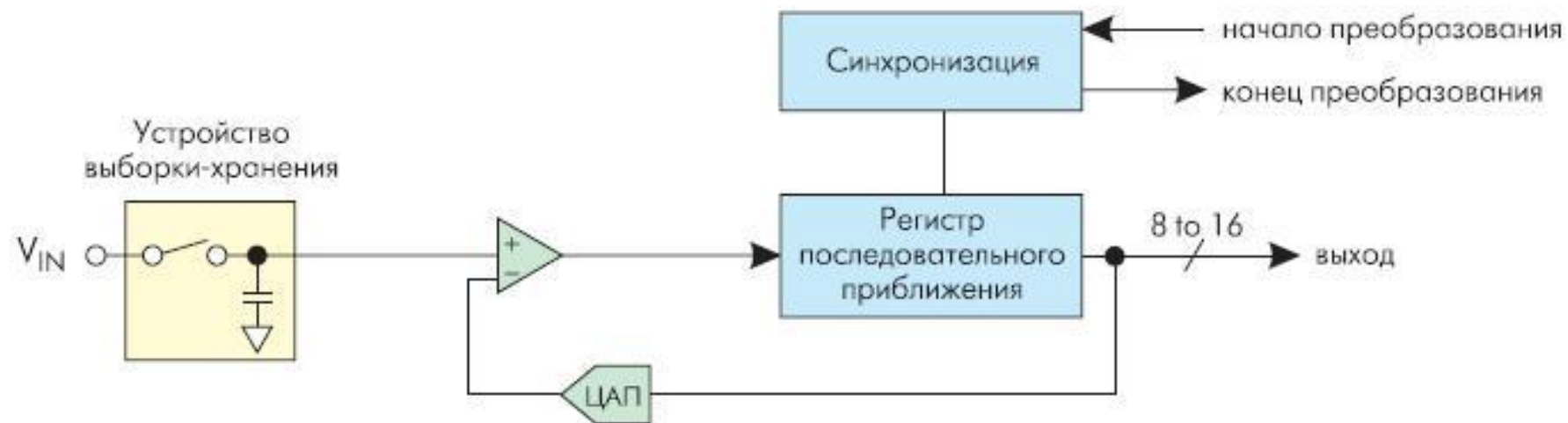


# Амплитудно-цифровой преобразователь последовательного счета

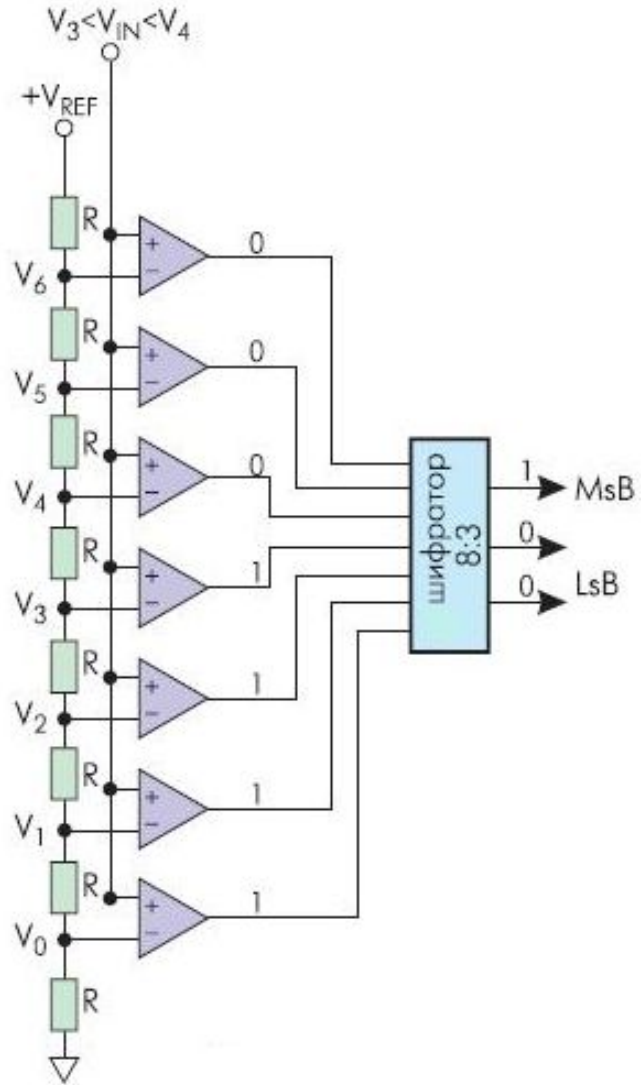
АЦП двухтактного  
интегрирования



# Структурная схема АЦП последовательного приближения



# Структурная схема параллельного АЦП



LsB (Least Significant Bit) – младший значащий бит  
MsB (Most Significant Bit) – старший значащий бит