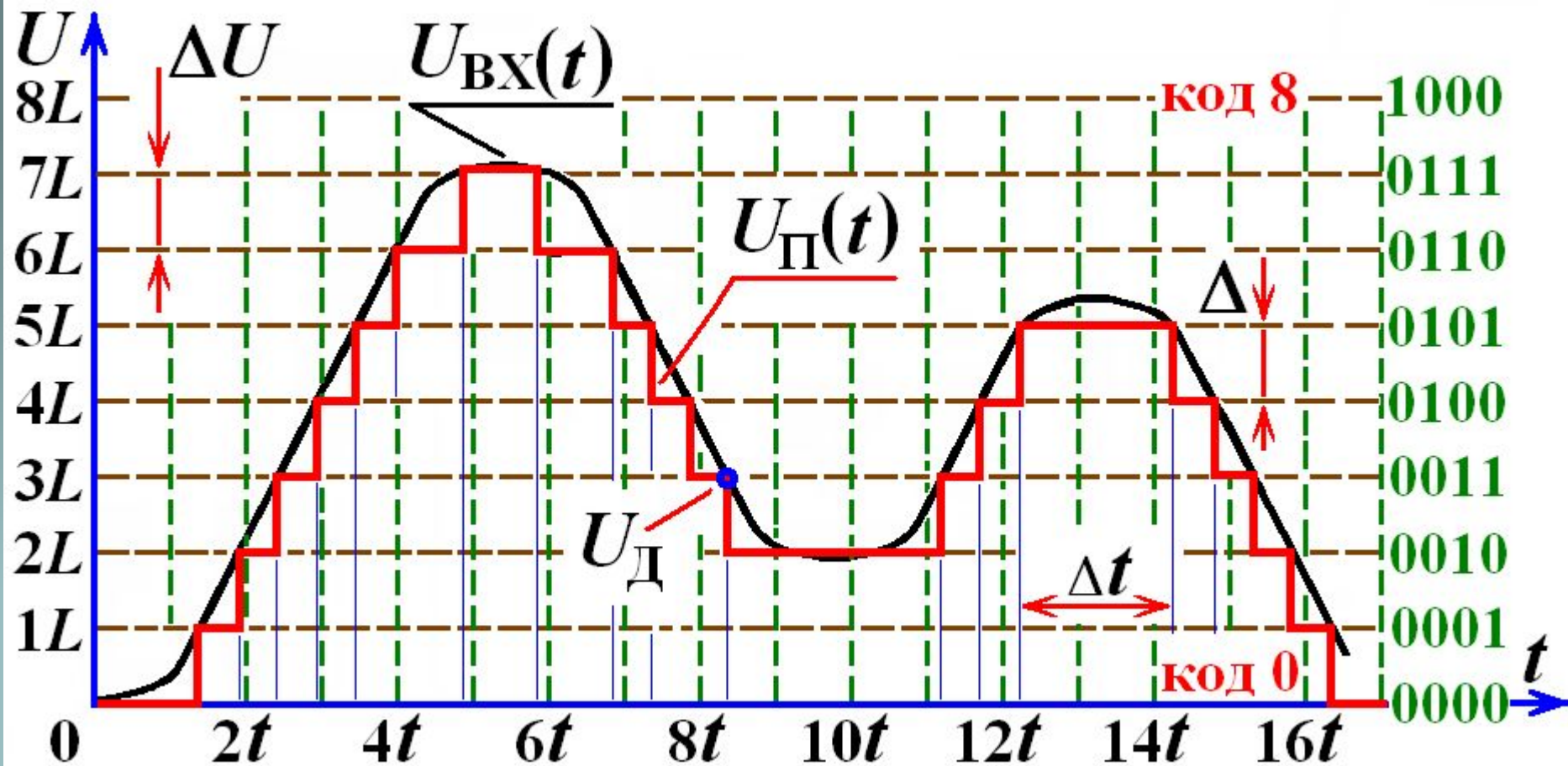


Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи

Аналого-цифровые преобразователи
(**АЦП**) преобразуют аналоговые сигналы
в цифровую форму,
согласуют датчики сигналов
и цифровые приборы их обработки.

Цифроаналоговые преобразователи
(**ЦАП**) преобразуют численные данные
в аналоговый сигнал, обычно служат для
выдачи аналоговой информации после
цифровой обработки.



Аналого-цифровое преобразование

с переменным интервалом дискретизации

$U_{\text{ВХ}}$ – преобразуемый сигнал; $U_{\text{П}}$ – результат в аналоговой форме; $U_{\text{Д}}$ – действительное значение; Δ – ошибка преобразования; Δt – интервал дискретизации.

Квантование по уровню

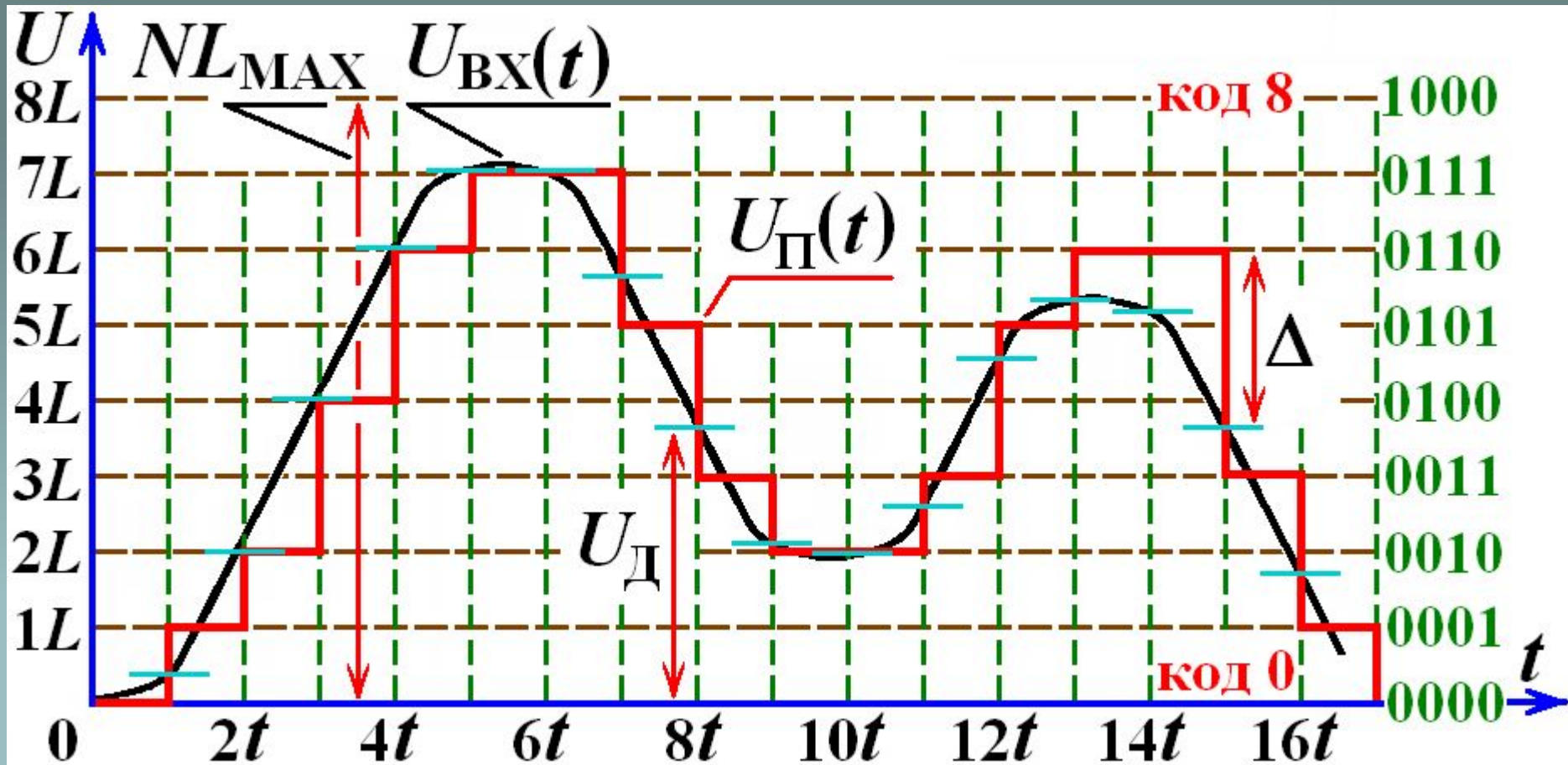
Устанавливаются равно отступающие уровни ($0L \dots NL$) напряжений, при равенстве которым преобразуемого сигнала происходит выработка соответствующего двоичного кода. Напряжение между двумя соседними уровнями (младший разряд кода), называется шагом квантования ΔU .

Ширина диапазона преобразования NL_{MAX} .

Дискретизация по времени

Устанавливаются моменты времени ($0t \dots Mt$), в которые происходит преобразование.

N , M — количество уровней квантования и число дискретизаций соответственно.



Аналого-цифровое преобразование

с постоянным интервалом дискретизации

U_{BX} — преобразуемый сигнал; U_{Π} — результат в аналоговой форме; $U_{\text{Д}}$ — действительное значение; Δ — ошибка преобразования; t — интервал дискретизации.

Цифроаналоговые преобразователи

Для преобразования цифровой информации в аналоговую форму.

При подаче на вход ЦАП переменного по значению кода, на выходе наблюдается ступенчато-изменяющееся напряжение, величина «ступеньки» соответствует младшему разряду кода.

ЦАП

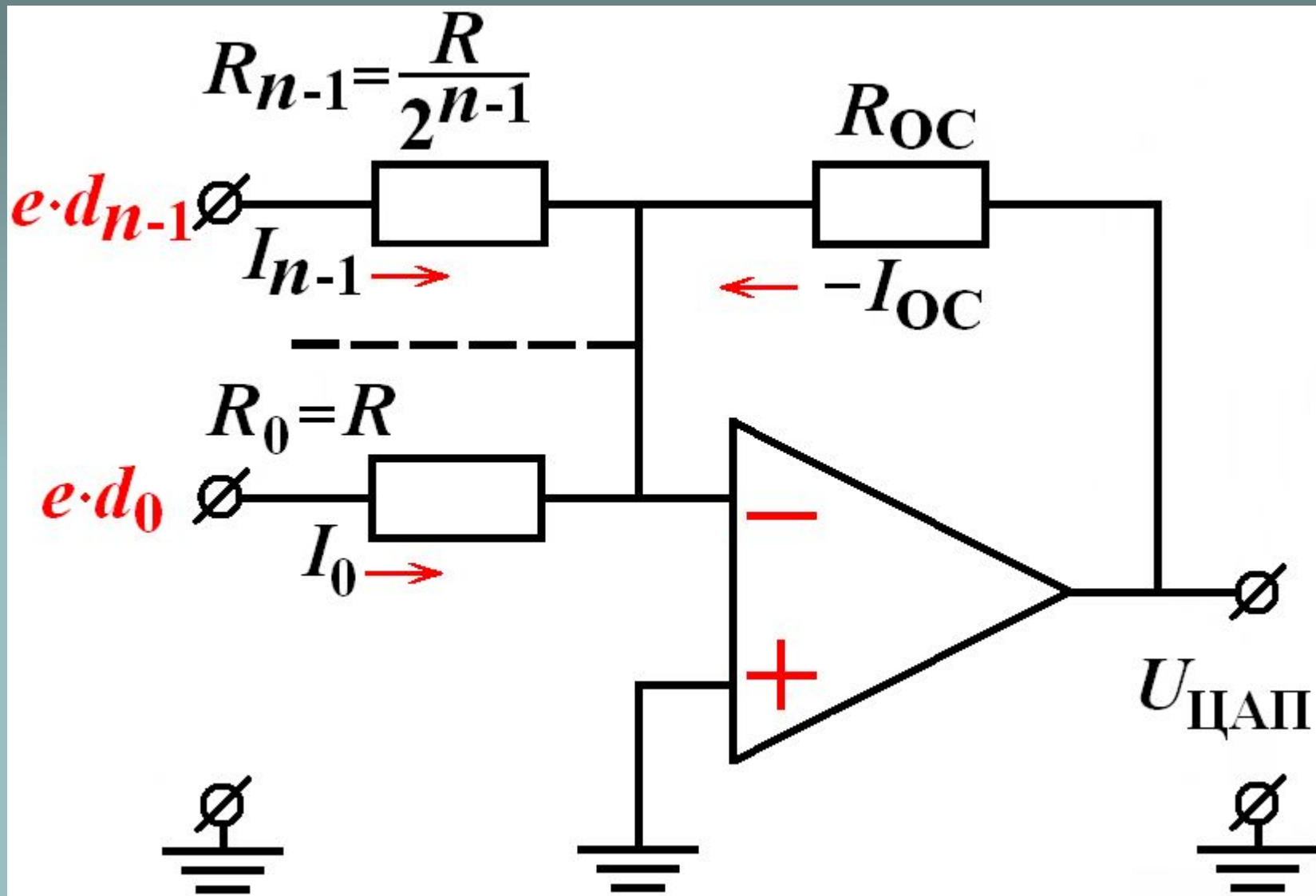
двоичный код $d_n \dots d_2 d_1 d_0$ в аналоговую величину $U_{\text{ЦАП}}$ (на рис. $U_{\Pi}(t)$).

Каждый разряд двоичного кода имеет «**вес**», вес **i -го** разряда вдвое больше, чем вес разряда (**$i-1$**):

$$U_{\text{ЦАП}} = e(d_0 \cdot 1 + d_1 \cdot 2 + d_2 \cdot 4 + d_3 \cdot 8 + \dots),$$

где e — напряжение, соответствующее весу младшего разряда; d_i — значение i — го разряда двоичного кода (**0** или **1**).

ЦАП с весовыми резисторами



$$U_{\text{ЦАП}} = e(d_0 \cdot 1 + d_1 \cdot 2 + d_2 \cdot 4 + \dots + d_{n-1} \cdot 2^{n-1})$$

$$U_{\text{ЦАП}} = - \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{R_{\text{ос}}}{R_i} d_i \cdot e \right).$$

Достоинство: Простота реализации.

Недостаток: Затруднительно изготовлять в интегральном виде резисторы разных значений с требуемой точностью, поскольку их материалом являются полупроводники, сопротивления которых зависят от незначительных примесей.

Умножающий ЦАП

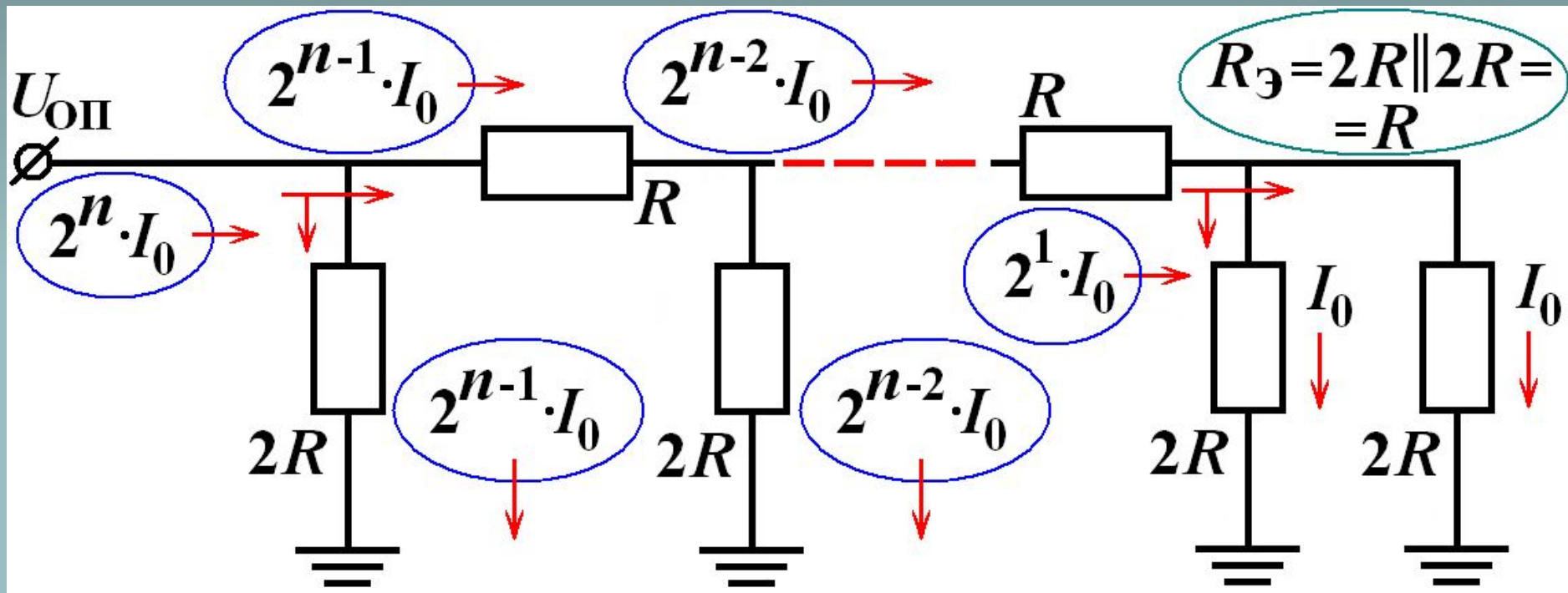
Выходное напряжение $U_{\text{ЦАП}}$ пропорционально произведению входного кода D и опорного напряжения $U_{\text{оп}}$.

ЦАП содержат матрицу резисторов R - $2R$, электронные ключи и резистор обратной связи $R_{\text{ос}}$.

К преобразователю может подключаться операционный усилитель для задания величины $U_{\text{ЦАП}}$.

ЦАП с матрицей резисторов R - $2R$

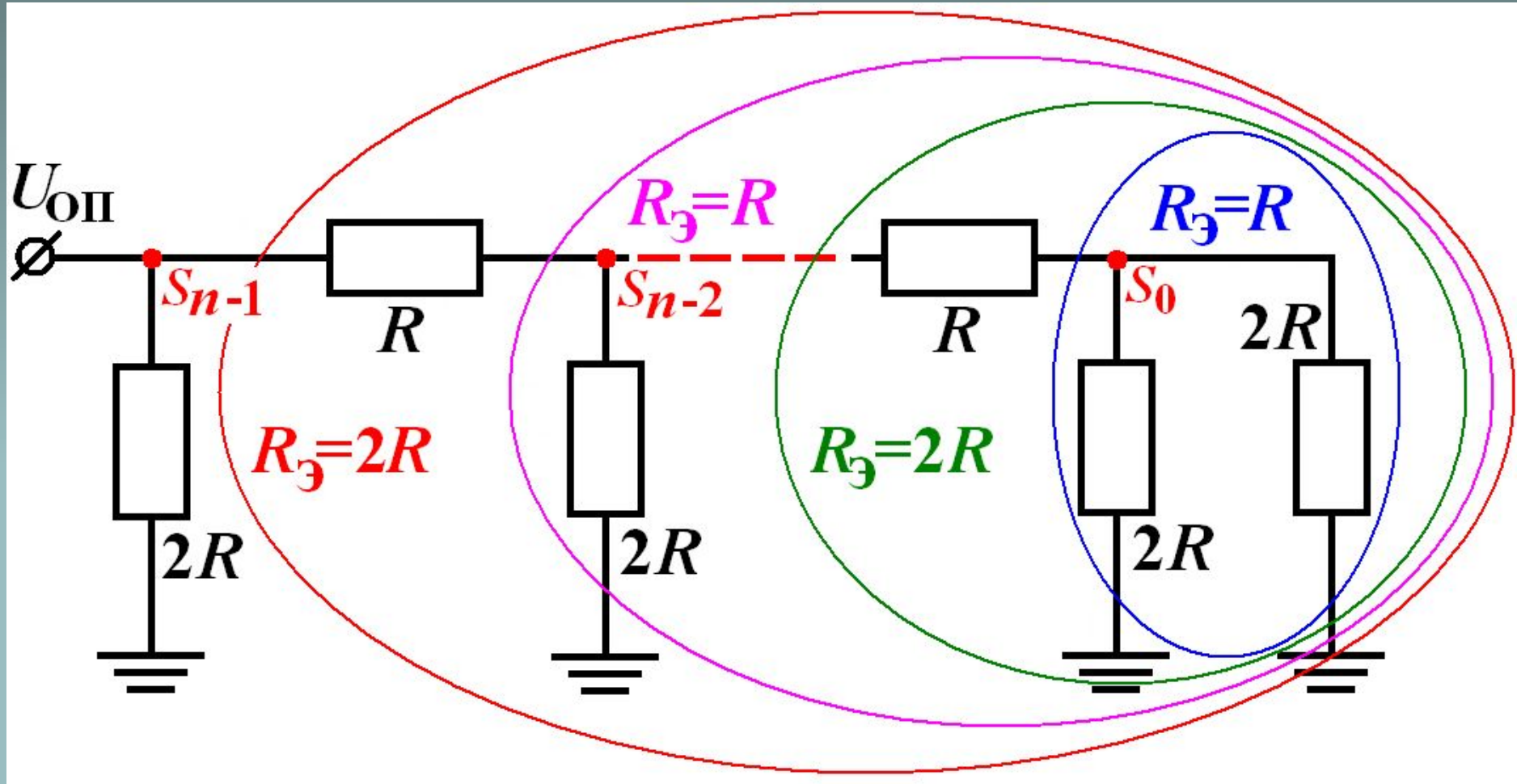
суммирование токов, пропорциональных весу
двоичных разрядов.



опорное напряжение $U_{\text{оп}}$ - к входу матрицы

ток потребления матрицы: $I_{\text{вх}} = 2^n \cdot I_0$

Эквивалентная схема матрицы резисторов



В каждом узле S ток разделяется пополам

Эквивалентное сопротивление цепи узла S_0 :

$$R_{\text{Э}} = 2R \parallel 2R = R;$$

с учетом последовательно включенного резистора:

$$R_{\text{Э}} = R + R = 2R.$$

Эквивалентное сопротивление цепи узла S_{n-2} :

$$R_{\text{Э}} = 2R \parallel 2R = R;$$

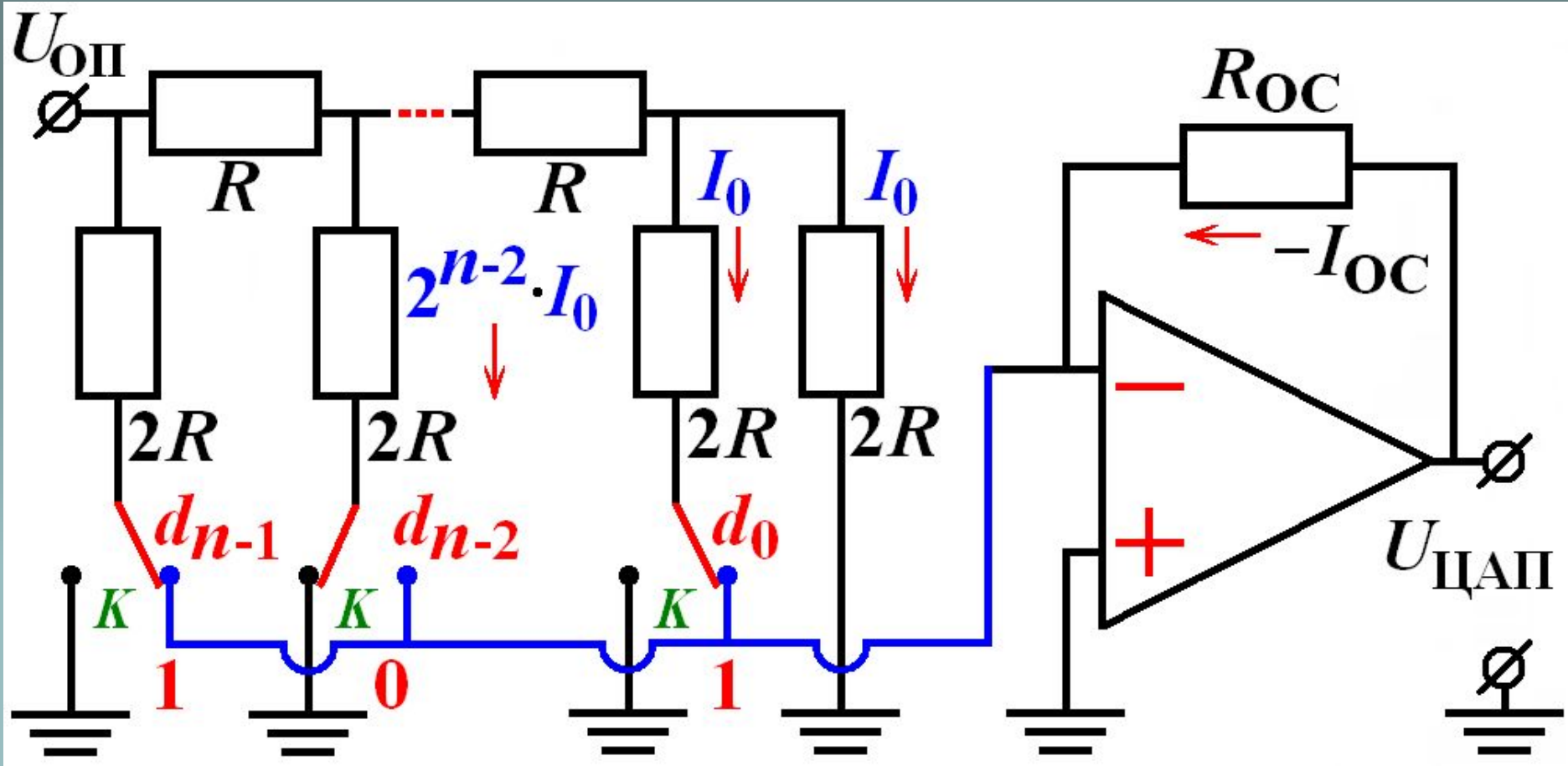
с учетом последовательно включенного резистора:

$$R_{\text{Э}} = R + R = 2R.$$

Эквивалентное сопротивление цепи узла S_{n-1} :

$$R_{\text{Э}} = 2R \parallel 2R = R,$$

это полное R цепи со стороны входа (U_0).



Ток в каждом резисторе $2R$, ток I_0 пропорционален весовому коэффициенту 2^i .

Электронные ключи K управляются входными сигналами d_i цифрового кода.

$$\sum_{i=0}^{n-1} I_0 \cdot 2^i \cdot d_i = -I_{OC};$$

так как: $I_0 \cdot 2^n = U_{OP}/R;$

$$-I_{OC} = \frac{U_{OP}}{2^n \cdot R} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (2^i \cdot d_i);$$

$$U_{ЦАП} = -I_{OC} \cdot R_{OC} = -I_{OC} \cdot R.$$

$$U_{ЦАП} = -\frac{U_{ОП}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} (2^i \cdot d_i) = -\frac{U_{ОП} D}{2^n} =$$

$$\frac{R_{ОС}}{R} \left(\frac{U_{ОП}}{2 \cdot 2^0} d_0 + \frac{U_{ОП}}{2 \cdot 2^1} d_1 + \dots + \frac{U_{ОП}}{2 \cdot 2^{n-1}} d_{n-1} \right) =$$

$$U_{ОП} \left(\frac{1}{2} d_0 + \frac{1}{4} d_1 + \dots + \frac{1}{2^n} d_{n-1} \right), \text{ если } R_{ОС} = R.$$

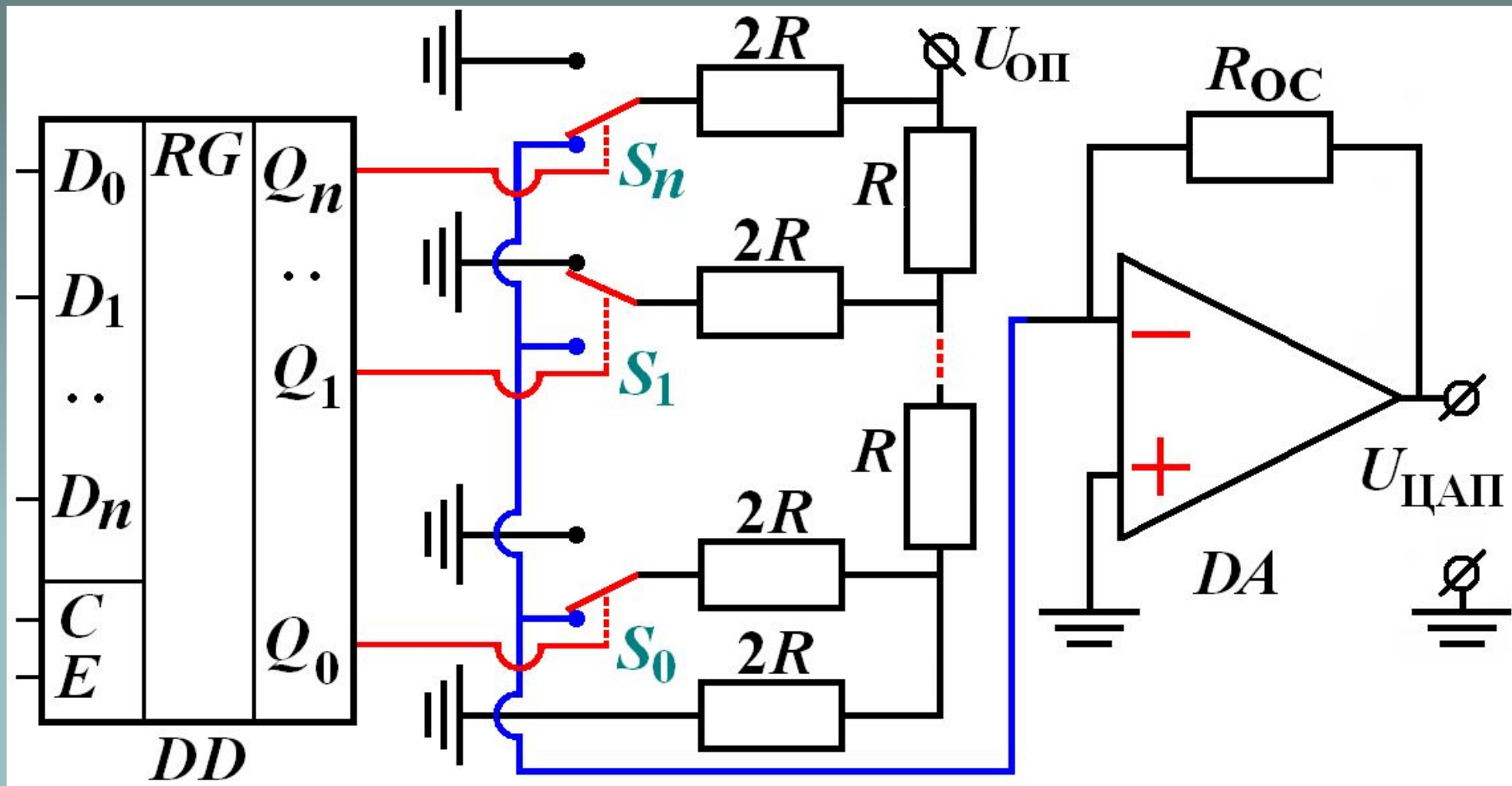
Десятичный эквивалент цифрового кода
на входах **ЦАП**:

$$D = \sum_{i=0}^{n-1} (2^i \cdot d_i).$$

Шаг квантования выходного напряжения ЦАП:

$$\Delta U = \frac{|U_{оп}|}{2^n}.$$

Обычно используется значение $U_{оп}$, кратное 2^n :
10,24 В; 5,12 В и ниже.



**Упрощенная схема умножающего ЦАП
с суммированием токов**

Пример:

Пусть число разрядов: $n = 8$;

$$U_{\text{оп}} = -2,56 \text{ В}; D = 100.$$

Тогда:

$$U_{\text{цАП}} = - (U_{\text{оп}} / 2^n) \cdot D = \\ - (-2,56 / 256) \cdot 100 = 1,0 \text{ В};$$

$$\Delta U = 2,56 / 256 = 0,01 \text{ В}$$

и может находиться в пределах

$$(0,00; 0,01; 0,02; \dots; 2,54; 2,55) \text{ В},$$

где: D – десятичное число, значение которого
требуется получить

Такой **ЦАП** называется:

- *Униполярным*, т.к. $U_{\text{ЦАП}}$ в зависимости от полярности $U_{\text{оп}}$, либо отрицательно, либо положительно;
- *Двухквadrантным*, т.к. передаточная характеристика располагается в двух квадрантах,
- *Умножающим*, т.к. $U_{\text{ЦАП}}$ пропорционально $U_{\text{оп}} \cdot D$.

Количество разрядов **ЦАП** доходит до 20.

Некоторые **ЦАП** снабжены двумя регистрами, в одном хранится старый код, а в другой записывается новый код, который необходимо преобразовать.

Характеристики ЦАП К572ПА1А

13	D0	D/A	U_{Π}	14
12	D1		$U_{\text{ОП}}$	15
11	D2			16
10	D3			1
9	D4	$R_{\text{ос}}$	A_1	2
8	D5		A_2	3
7	D6			
6	D7		U_0	
5	D8			
4	D9			

К572ПА1А

Обозначение:

D/A или $\#/\wedge$
или DAC ;

A_1, A_2 или
 I_1, I_2 ;

$U_{\text{ОП}}$ или $U_{\text{ор}}$
или U_{ref} .

Аналог:
 $AD7520KN$

D – цифровые входы;
A – аналоговые
(токовые) выходы;
R_{ос} - вывод резистора
обратной связи.

1	1-й аналоговый выход A_1
2	2-й аналоговый выход A_2
3	Общий (земля) U_0
4	10-й цифровой вход (старший значащий разряд) D9
5	9-й цифровой вход D8
6	8-й цифровой вход D7
7	7-й цифровой вход D6
8	6-й цифровой вход D5
9	5-й цифровой вход D4
10	4-й цифровой вход D3
11	3-й цифровой вход D2
12	2-й цифровой вход D1
13	1-й цифровой вход (младший значащий разряд) D0
14	«+» питания U_{Π}
15	опорное напряжение $U_{\text{оп}}$
16	вывод резистора обратной связи $R_{\text{ос}}$

Номинальное напряжение питания	15В
Ток потребления	3 мА
Дифференциальная нелинейность	+0.1%
Погрешность коэффициента преобразования	+3%
Время установления выходного тока	5 мкс
Среднее значение входного тока по цифровым входам	1 мкА
Выходной ток при опорном напряжении 10В	2 мА
Предельные значения опорного напряжения	+17В
Предельные значения напряжения питания	5 ... 17В

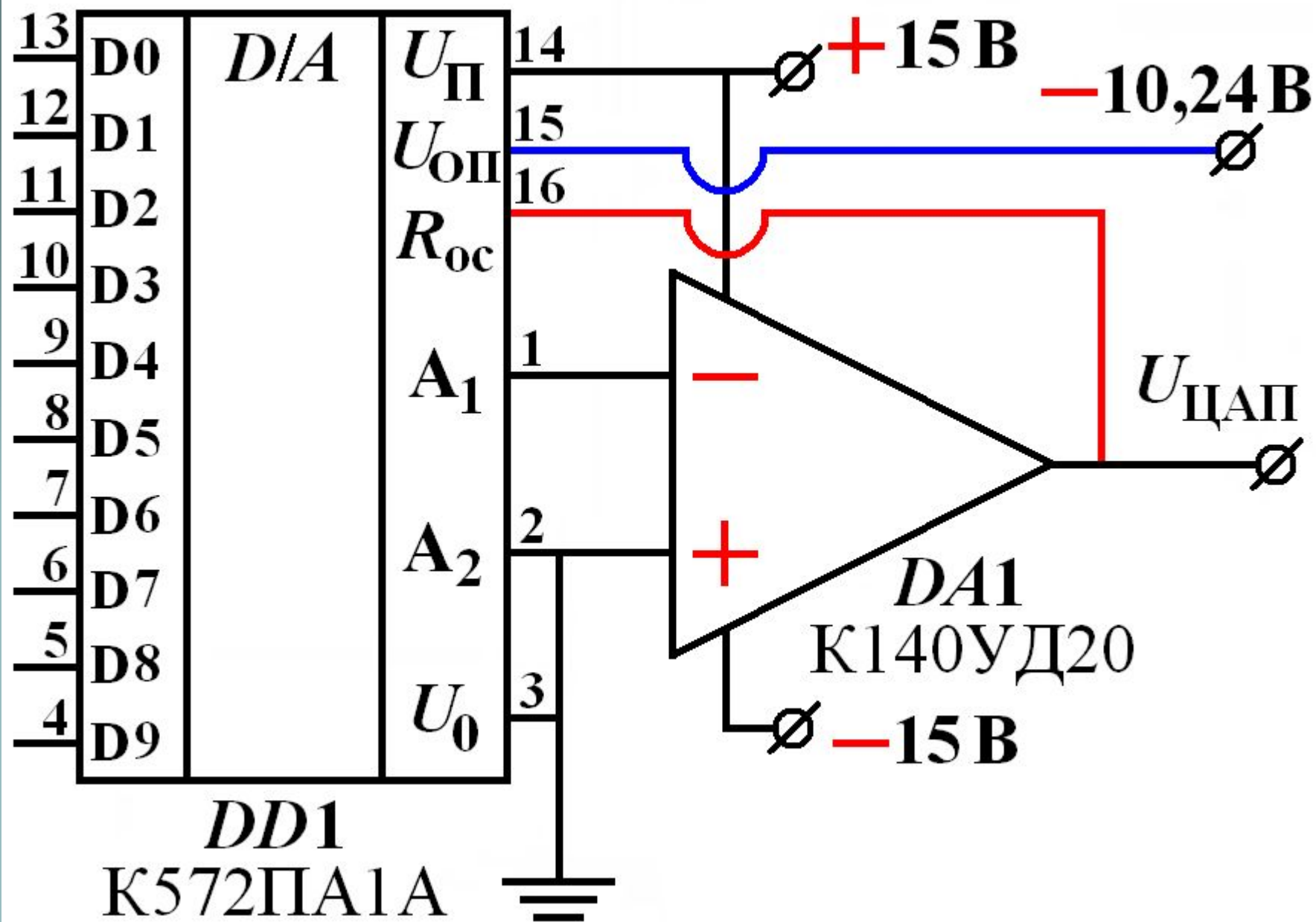


Схема включения К572ПА1А

Аналого-цифровые преобразователи

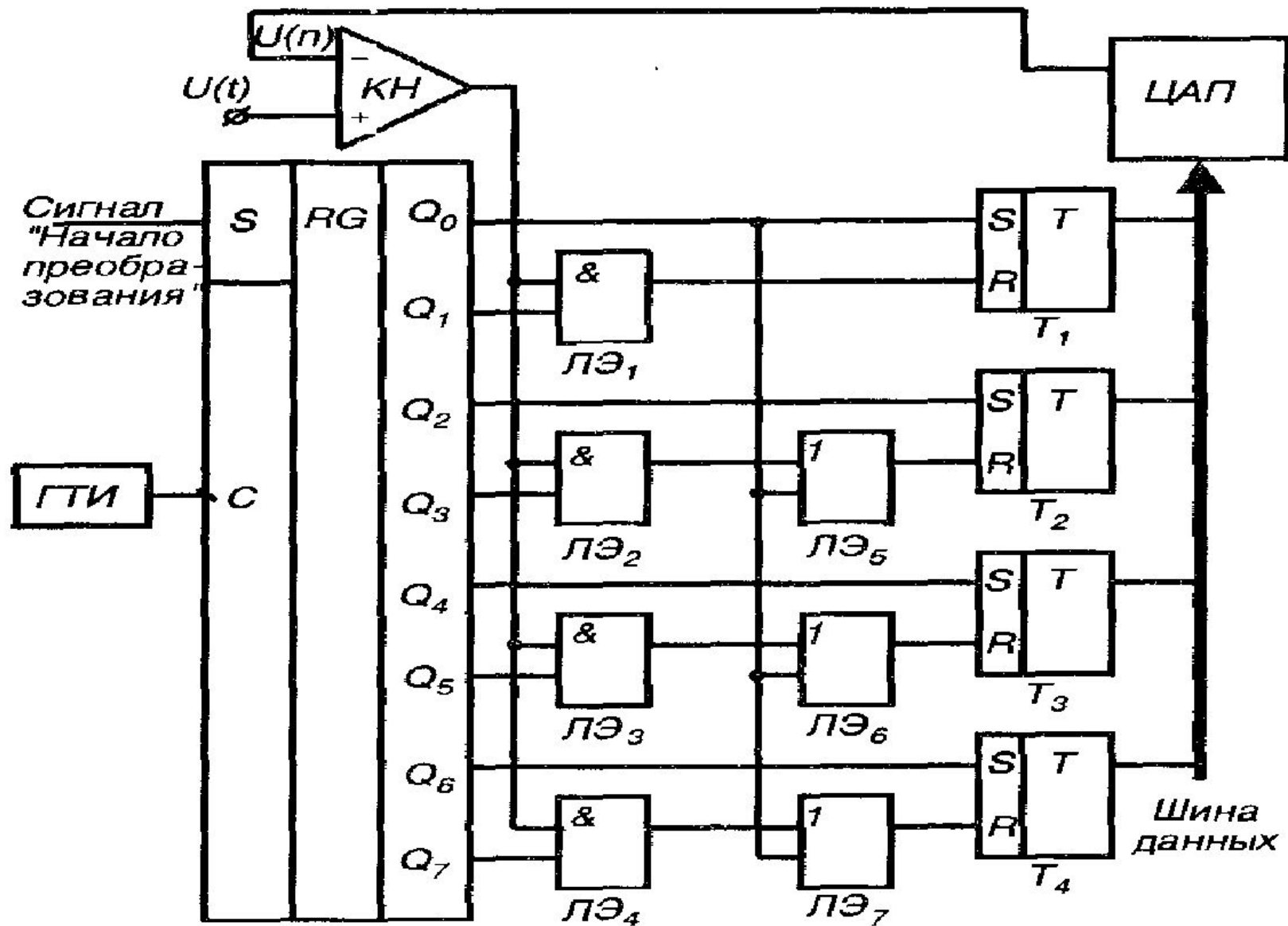
Для преобразования аналоговой информации в цифровую форму в определенные моменты времени.

Число преобразований в единицу времени — частота дискретизации (быстродействие) определяет точность АЦП, которая зависит также от разрядности (числа уровней квантования).

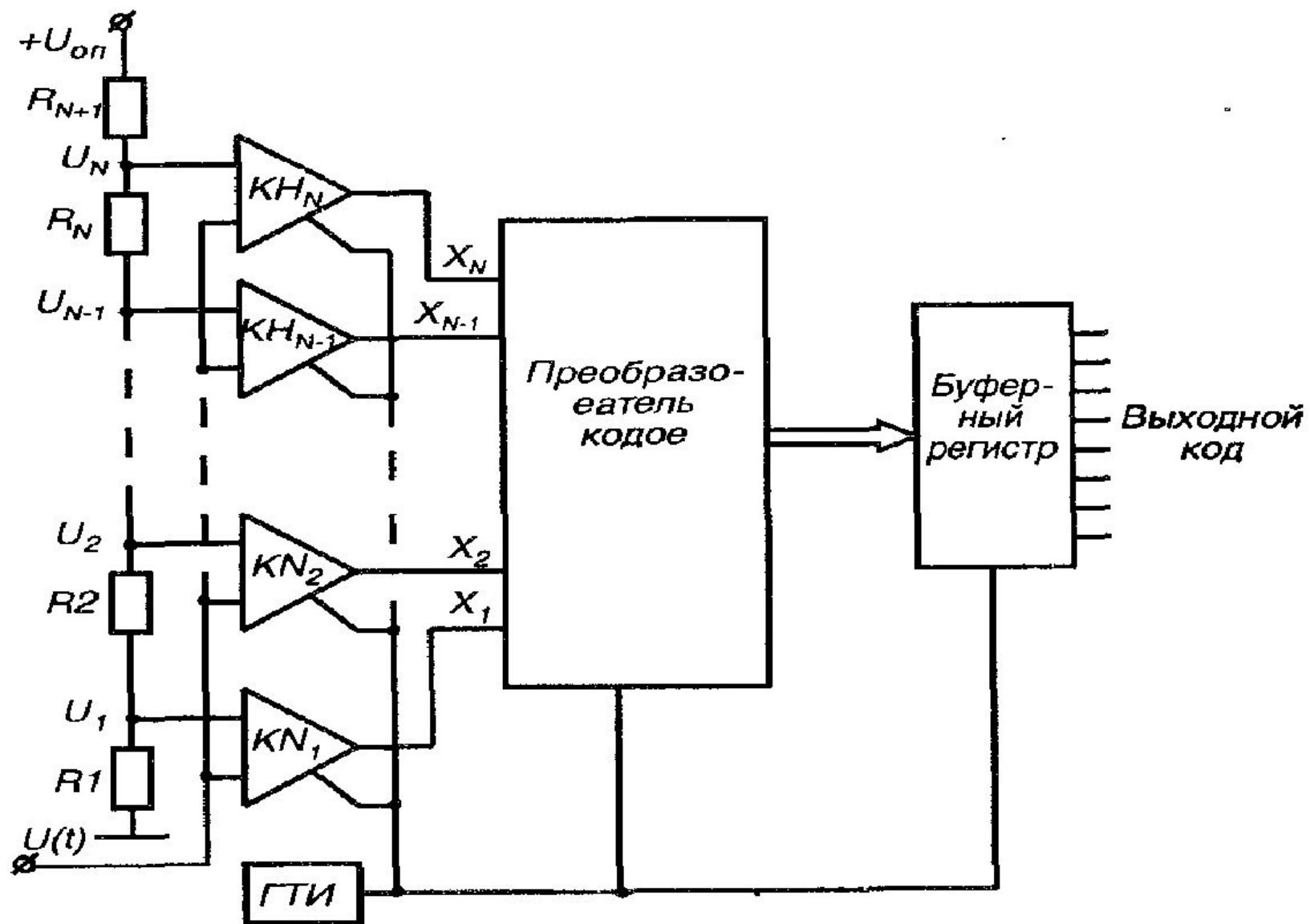
Рассмотрим следующие типы АЦП:

- последовательного приближения;
- параллельного преобразования;
- двойного интегрирования.

АЦП последовательного приближения



АЦП параллельного преобразования



АЦП двойного интегрирования

