

# Цифроаналоговое преобразование

Цифроаналоговое преобразование состоит в том, что устройство (ЦАП) преобразует цифровой код в напряжение или ток, значения которых пропорциональны цифровому сигналу.

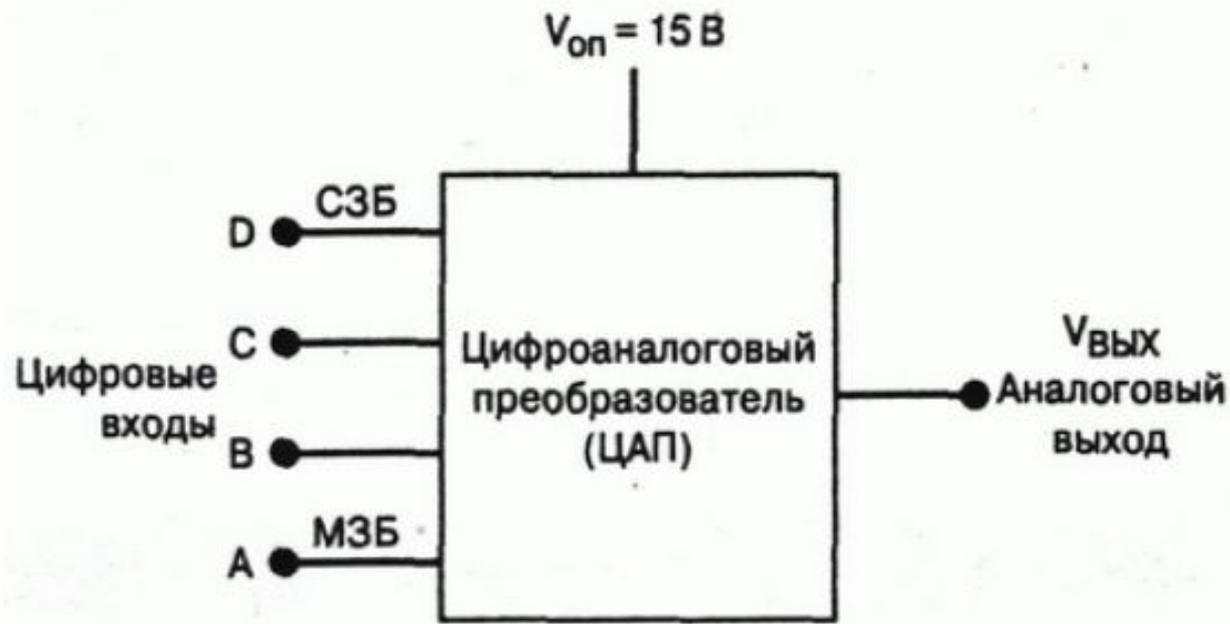


Рис. 1

D	C	B	A	$V_{ВЫХ}$
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	0	1	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

Четырехбитовый ЦАП и значения напряжения выходного сигнала

В общем случае **Аналоговый сигнал = К \* цифровой сигнал**

К – коэффициент пропорциональности, постоянная величина для заданного ЦАП, подключенного к фиксированному источнику опорного напряжения. Информация аналогового выходного сигнала может быть представлена или током, или напряжением. Если это напряжение, то коэффициент К будет иметь размерность вольт, в случае с током – ампер.

Разрешающей способностью цифроаналогового преобразователя называется наименьшее изменение аналогового сигнала на выходе в ответ на изменение цифрового сигнала на входе. Разрядность ЦАП всегда равна весу младшего значащего бита. Этот параметр также называют величиной шага квантования, так как она представляет собой наименьшую величину выходного напряжения(или тока), на которую изменится выходной сигнал устройства при изменении входного значения на один шаг.

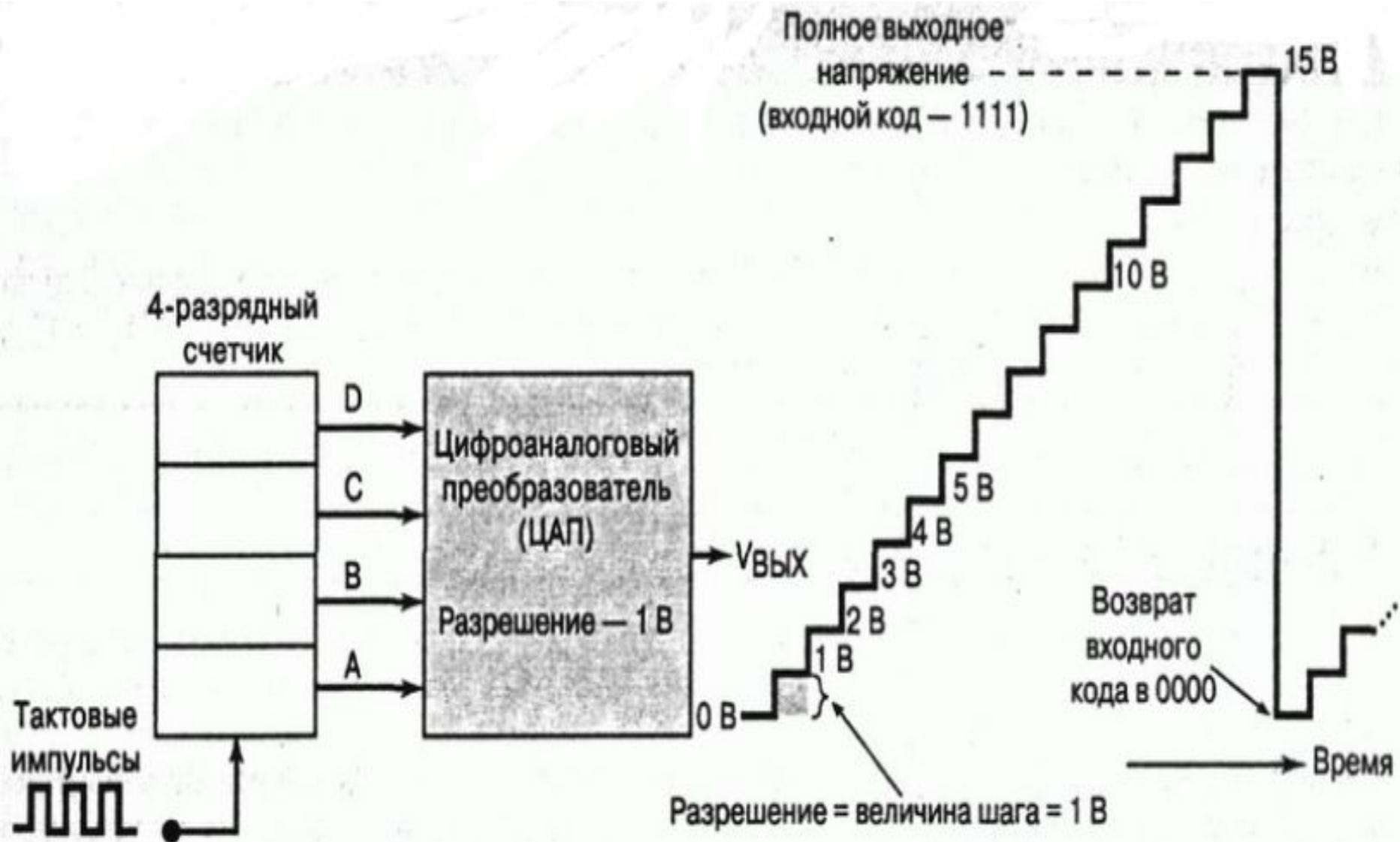


Рис. 2

Разрешающая способность представляет собой тот же параметр, что и коэффициент пропорциональности между входным и выходным сигналами преобразователя:

$$\text{аналоговый сигнал} = K * \text{цифровой сигнал}$$

Новая интерпретация этого выражения заключается в том, что входной цифровой сигнал равен количеству шагов, где  $K$  – напряжение или ток каждого шага, аналоговый сигнал будет произведением этих двух параметров

$$\text{Разрешающая способность} = K = \frac{A_{\text{п.с.}}}{2^n - 1}$$

$A_{\text{п.с.}}$  - величина полномасштабного аналогового сигнала, а  $n$  – количество бит.

Часто разрешающую способность удобно выразить в процентах относительно полномасштабной величины напряжения.

**Процентная разрешающая способность =  
величина шага квантования/полномасштабный сигнал\*100%**

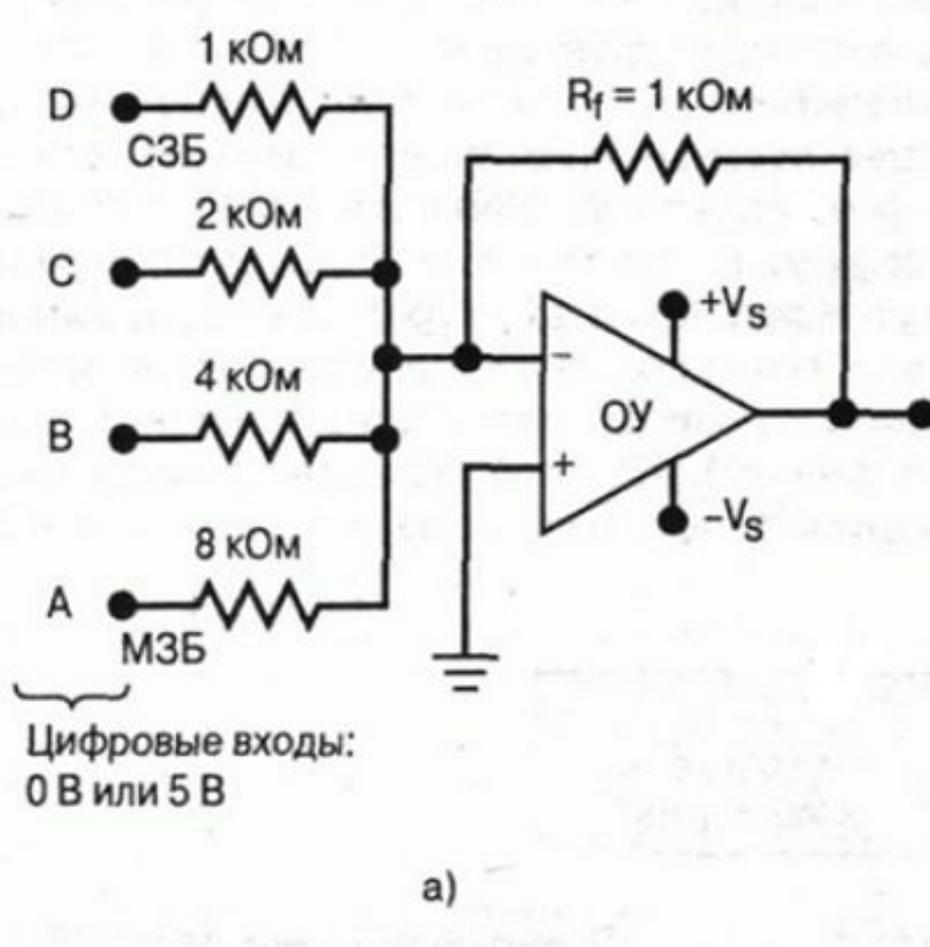
**Процентная разрешающая способность =  
1/полное количество шагов\*100%**

Физический смысл разрешающей способности - цифровой преобразователь не может формировать выходной сигнал, значения которого будут лежать в непрерывном диапазоне величин. ЦАП выделяет конечный набор дискретных выходных значений.



Рис. 3

Помимо цифроаналоговых преобразователей, управляемых только двоичным кодом, существуют ЦАП, которые используют двоично-десятичный входной код.



D	C	B	A	$V_{\text{ВЫХ}}$ (ВОЛЬТ)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0,625
0	0	1	0	-1,250
0	0	1	1	-1,875
0	1	0	0	-2,500
0	1	0	1	-3,125
0	1	1	0	-3,750
0	1	1	1	-4,375
1	0	0	0	-5,000
1	0	0	1	-5,625
1	0	0	1	-6,250
1	0	1	1	-6,875
1	1	0	0	-7,500
1	1	0	1	-8,125
1	1	1	0	-8,750
1	1	1	1	-9,375

Рис. 4

Простейший ЦАП на основе суммирующего усилителя с весовыми резисторами.

На входы А, В, С, D подаются двоичные коды, а напряжение на входах может меняться от 0 до 5 В. В качестве усилителя применяется операционный усилитель, на выходе которого формируется взвешенная сумма входных напряжений.

Сигнал с выхода усилителя:  $V_{\text{вых}} = -(V_D + 1/2V_C + 1/4V_B + 1/8V_A)$

Как видно из таблицы рисунка 4, напряжение аналогового сигнала увеличивается на 0,625 В с каждым изменением входного двоичного кода на единицу.

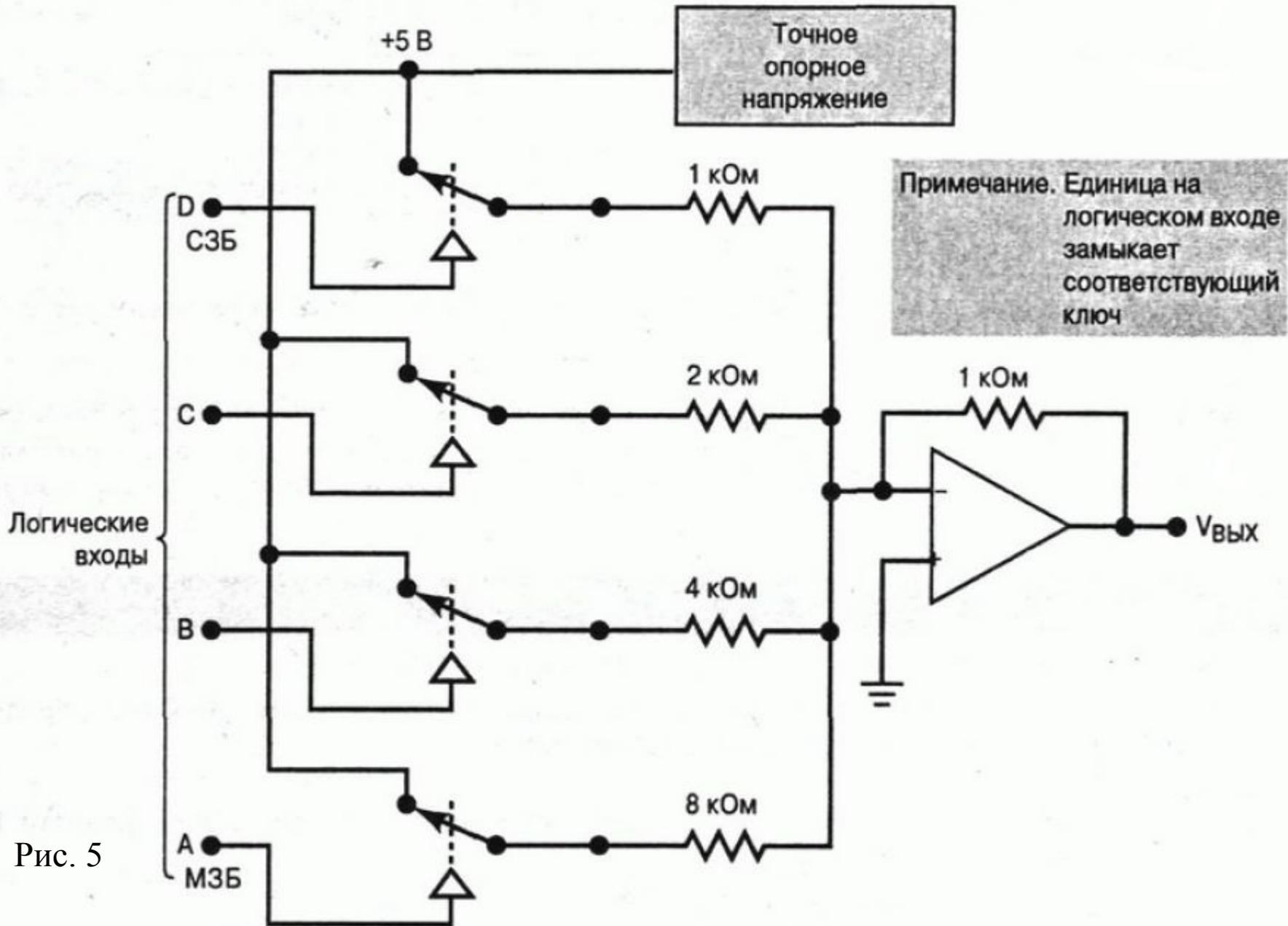


Рис. 5

Полная схема четырехбитового ЦАП с прецизионным источником опорного напряжения

Цифровые коды не могут подаваться непосредственно с выходов триггеров или логических элементов, потому что выходные уровни напряжения таких устройств не отвечают требованиям точности и не равняются конкретно 0 или 5 В, а лишь лежат в определенном диапазоне значений. Поэтому между входами и входными резисторами необходимо вводить дополнительные схемные элементы.

Сигнал, поступающий на каждый цифровой вход, управляет полупроводниковым ключом. Когда на вход подается сигнал с высоким уровнем напряжения, ключ замыкается и подключает ко входному резистору прецизионный источник опорного напряжения; когда подается сигнал с низким уровнем, ключ разомкнут. Прецизионный источник опорного напряжения формирует очень стабильное, прецизионное напряжение, необходимое для формирования точных уровней аналоговых сигналов.

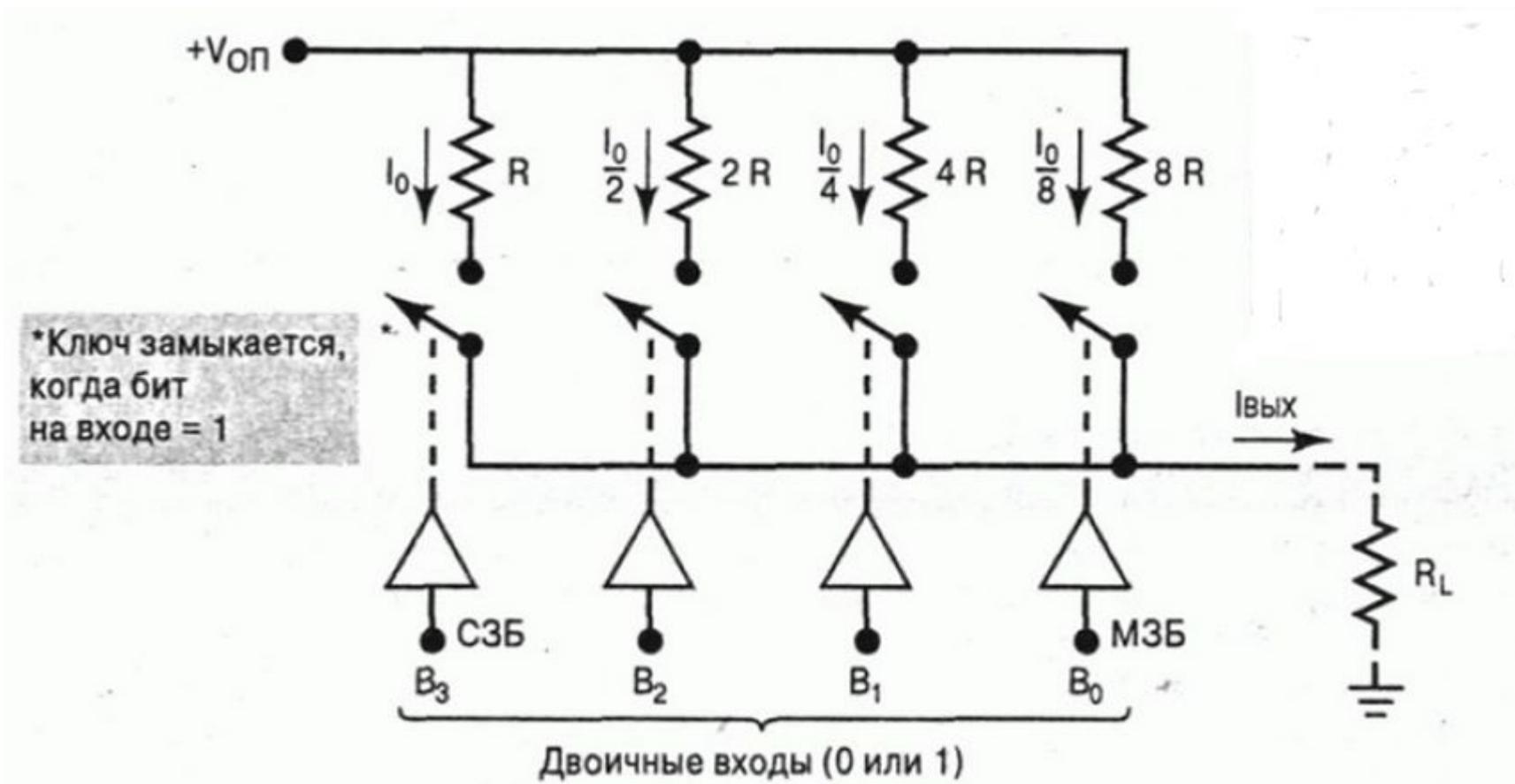
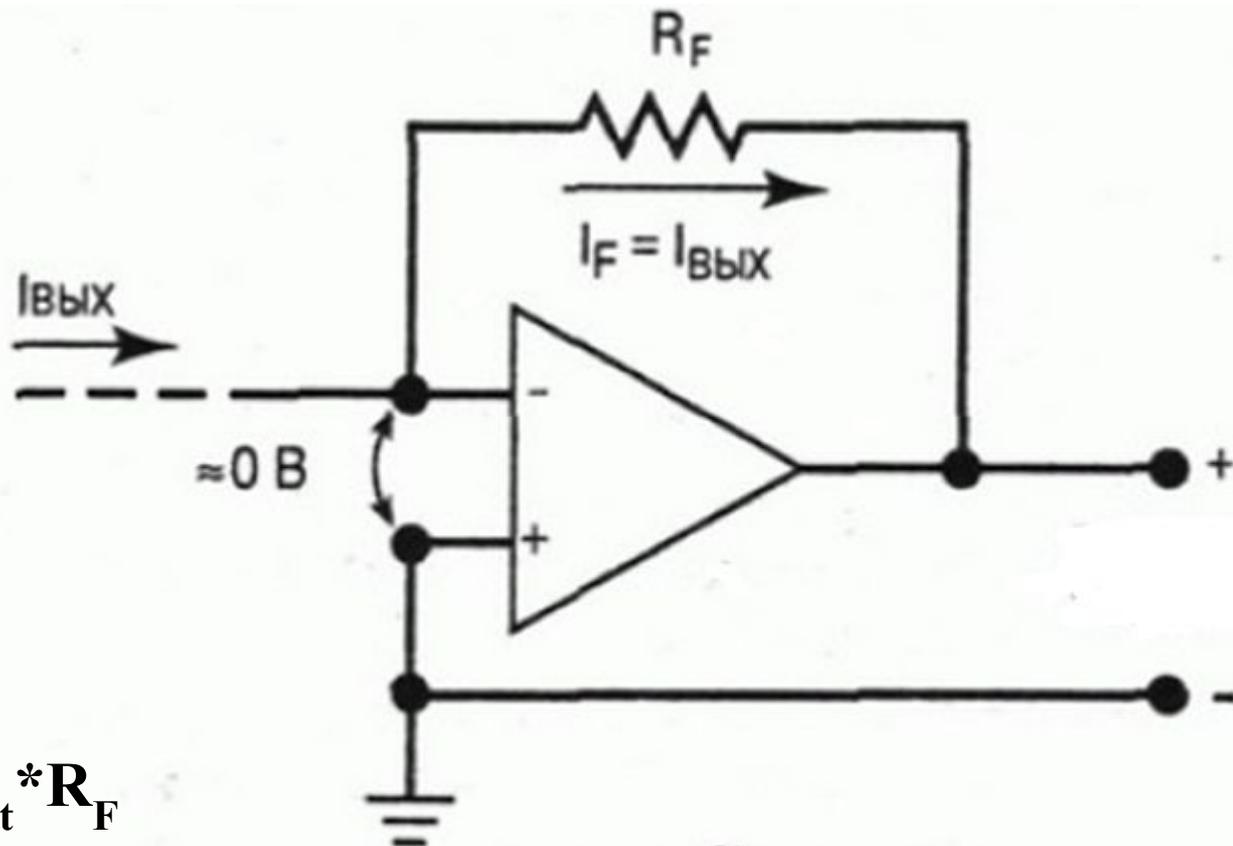


Рис. 6

$$I_{\text{ВЫХ}} = B_3 \cdot I_0 + B_2 \cdot I_0/2 + B_1 \cdot I_0/4 + B_0 \cdot I_0/8 \quad I_0 = \frac{V_{\text{оп}}}{R}$$

Простейший ЦАП с выходным сигналом, оцениваемым по току.



$$V_{\text{ВЫХ}} = -I_{\text{out}} * R_F$$

б)

Рис. 7

Операционный усилитель, работающий в качестве преобразователя ток-напряжение

Сигнал  $I_{\text{вых}}$  с ЦАП подается на вход “-” операционного усилителя, который является точкой с нулевым потенциалом. Обратная связь приводит к тому, что через сопротивление  $R_f$  течет ток, равный  $I_{\text{вых}}$ , в результате появляется напряжение  $V_{\text{вых}}$ , которое будет представлять собой аналоговый сигнал, пропорциональный двоичному коду на входе ЦАП.

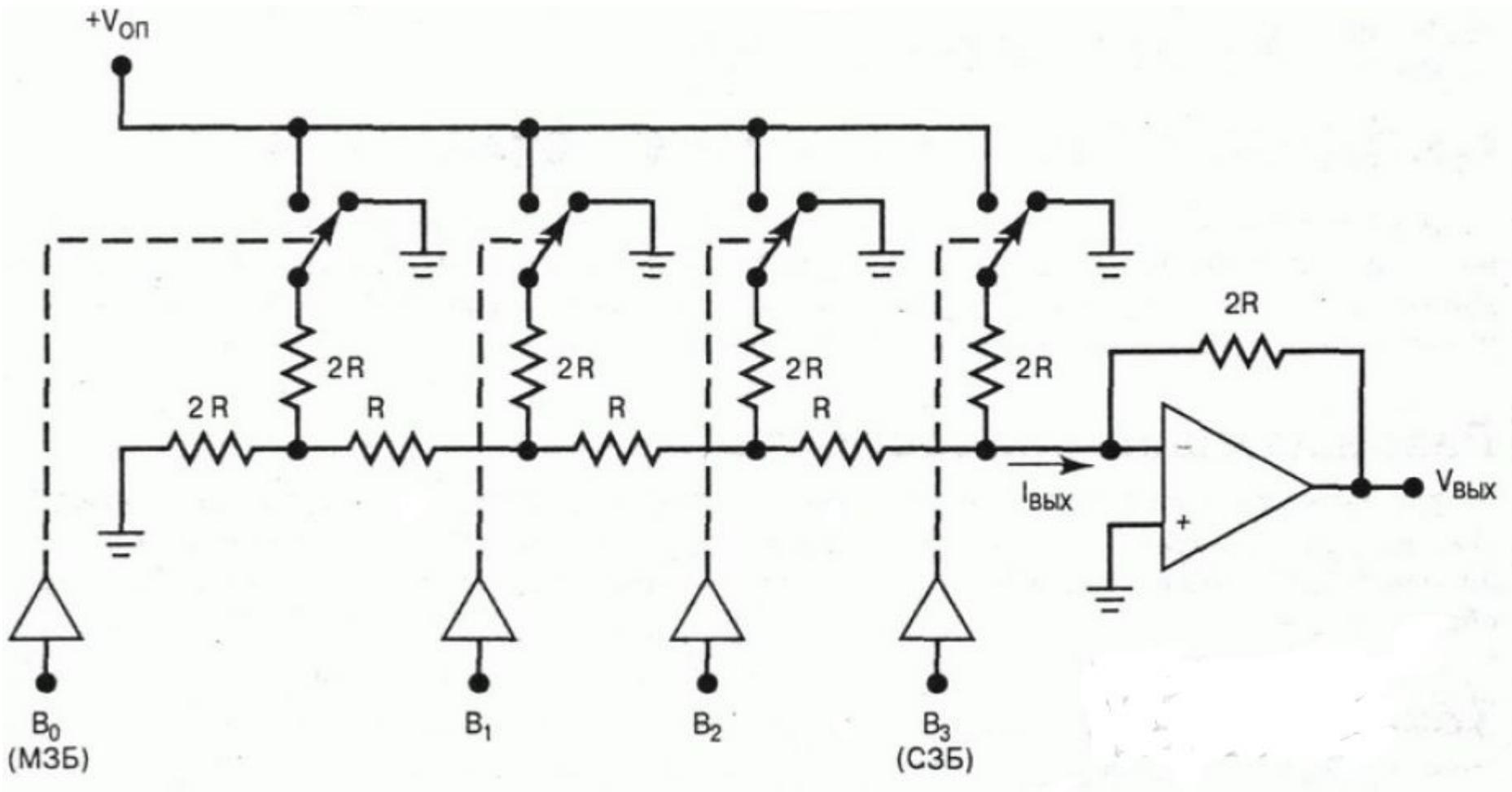


Рис. 8

$$V_{\text{ВЫХ}} = \frac{-V_{\text{ОП}}}{8} * \mathbf{B}$$

Простейший ЦАП, использующий резистивную цепь типа R/2R

Один из наиболее часто используемых в ЦАП видов схем – резистивная цепь типа R/2R, сопротивления элементов которой относятся друг к другу как 2 к 1.

В данной схеме применяются только резисторы с двумя значениями сопротивлений: R и 2R. Ток I<sub>вых</sub> зависит от положения переключателей, которыми управляют состояния на входах B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub> и B<sub>0</sub>. Этот ток протекает через операционный усилитель, выполняющий функцию преобразователя ток-напряжение, и формирует напряжение V<sub>вых</sub>, значение которого выражается по формуле:

$$V_{\text{вых}} = \frac{-V_{\text{оп}}}{8} * B$$

где B – величина входного кода, которая может принимать значения от 0000 до 1111.

# Характеристики ЦАП

Разрешающая способность – количество бит.

Точность – погрешность максимального показания и погрешность вследствие нелинейности выходного сигнала.

Погрешность смещения нуля – на выходе должен установиться сигнал с напряжением 0 В.

Время установки сигнала – скорость работы ЦАП.

Монотонность – ЦАП монотонный, если его выходной сигнал возрастает при увеличении двоичного числа, поданного на его входы.

# Применение ЦАП

- Управление
- Автоматический контроль
- Восстановление сигнала
- Аналого-цифровые преобразования
- ЦАП с последовательной передачей данных