

Электронный архив УГЛТУ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

УРАЛЬСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра автоматизации производственных процессов

В. Д. Денисламов

ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ
ЦИФРОАНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Методические указания по курсу "Микропроцес-
соры и управляющие ЭВМ отрасли" для студентов
спец. 2102.14

Екатеринбург 1996

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЦИФРОВАЛОГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цифровые преобразователи (ЦАП) условно можно подразделить на ЦАП с прецизионными резистивными матрицами и на безматричные. Матричные, в свою очередь, по способу формирования сигнала делятся на ЦАП с суммированием токов, с делением напряжения, с суммированием напряжения; однако в микроэлектронном исполнении нашли распространение только первые два типа.

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЦАП

Наиболее распространенными характеристиками ЦАП являются:

1. Разрешающая способность, определяемая числом разрядов N . Теоретически ЦАП, преобразующий N -разрядные двоичные коды, должен обеспечить 2^N различных значений выходного сигнала с разрешающей способностью $(2^N - 1)^{-1}$.

2. Абсолютное значение минимального выходного кванта напряжения определяется предельным принимаемым выходным напряжением ЦАП, иначе называемым напряжением шкалы. К примеру, при числе разрядов 12 количество независимых квантов (ступенек) выходного напряжения ЦАП составляет $(2^{12} - 1) = 0,0245\%$. Это значит, что при максимальном напряжении шкалы, равном 10 В, абсолютная разрешающая способность преобразователя

$$\delta_{\text{ш}} = U_{\text{шк}} / (2^N - 1) = 10^3 \text{ мВ} / (2^{12} - 1) = 2,45 \text{ мВ. (I)}$$

Точность процесса преобразования определяется значениями абсолютной погрешности и нелинейностями характеристик приборов.

3. Абсолютная погрешность $\delta_{\text{ли}}$ представляет отклонение значения выходного сигнала от номинального (расчетного),

Электронный архив УГПТУ

соответствующего конечной точке характеристики преобразования (рис. 1).

4. Нелинейность δ_{Δ} преобразования определяется как наибольшее отклонение выходного сигнала от прямой линии абсолютной точности, проведенной через нуль и точку максимального значения выходного сигнала.

5. Дифференциальная нелинейность $\delta_{\Delta, \text{диф}}$ характеризует идентичность соседних приращений сигнала. Она определяется как минимальная разность погрешности двух соседних квантов в выходном напряжении (токе).

Для монотонного преобразования значение нелинейности не должно выходить за пределы $\pm 0,5$ значения младшего разряда, а значение $\delta_{\Delta, \text{диф}}$ не должно быть больше младшего значащего разряда.

Из динамических параметров наиболее существенными являются время установления выходного напряжения (тока) и максимальная частота преобразования.

6. Время установления $t_{уст}$ - интервал времени от подачи входного кода до вхождения выходного сигнала в пределы требуемого аналогового уровня с наперед заданной зоной ошибки.

7. Максимальная частота преобразования $f_{пр}$ - наибольшая частота дискретизации, при которой параметры ЦАП соответствуют заданным значениям.

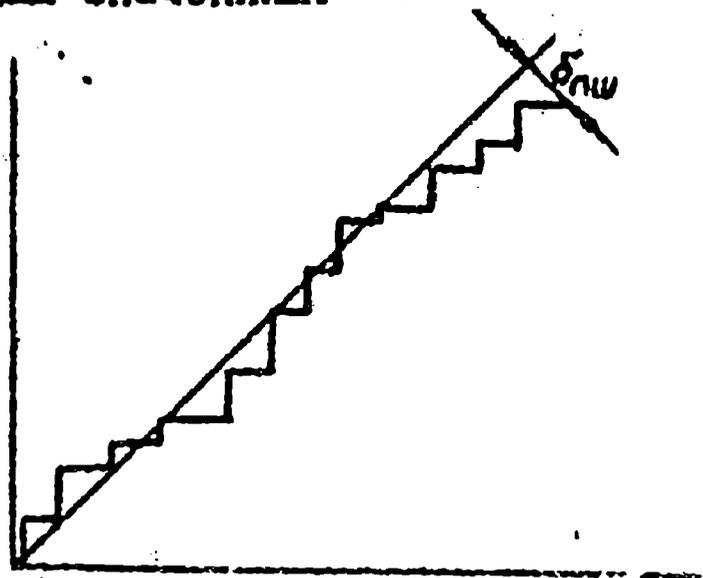


Рис. 1.

В таблице 1 приведены основные типы интегральных ЦАП и их параметры.

Наиболее быстродействующие ЦАП имеют токовые аналоговые ключи. Для преобразования суммарного тока в выходное напряжение ($0 \dots U_{шк}$) используются внешние, выполненные в отдельном корпусе, операционные усилители, что существенно усложняет монтаж и наладку, увеличивает стоимость и габариты преобразователя. Однако такой путь вынуждены применять, потому что выполнить на одном кристалле с преобразованием сверхскоростные операционные усилители пока сложно.

В цифровых преобразователях используют три основных двоичных кода: прямой, смещенный, дополнительный. Графики соответствия цифровых кодов $X_{вх}$ и аналогового напряжения $U_{вых}$ при прямом (а), смещенном (б) и дополнительном (в) кодах показаны на рис.2.

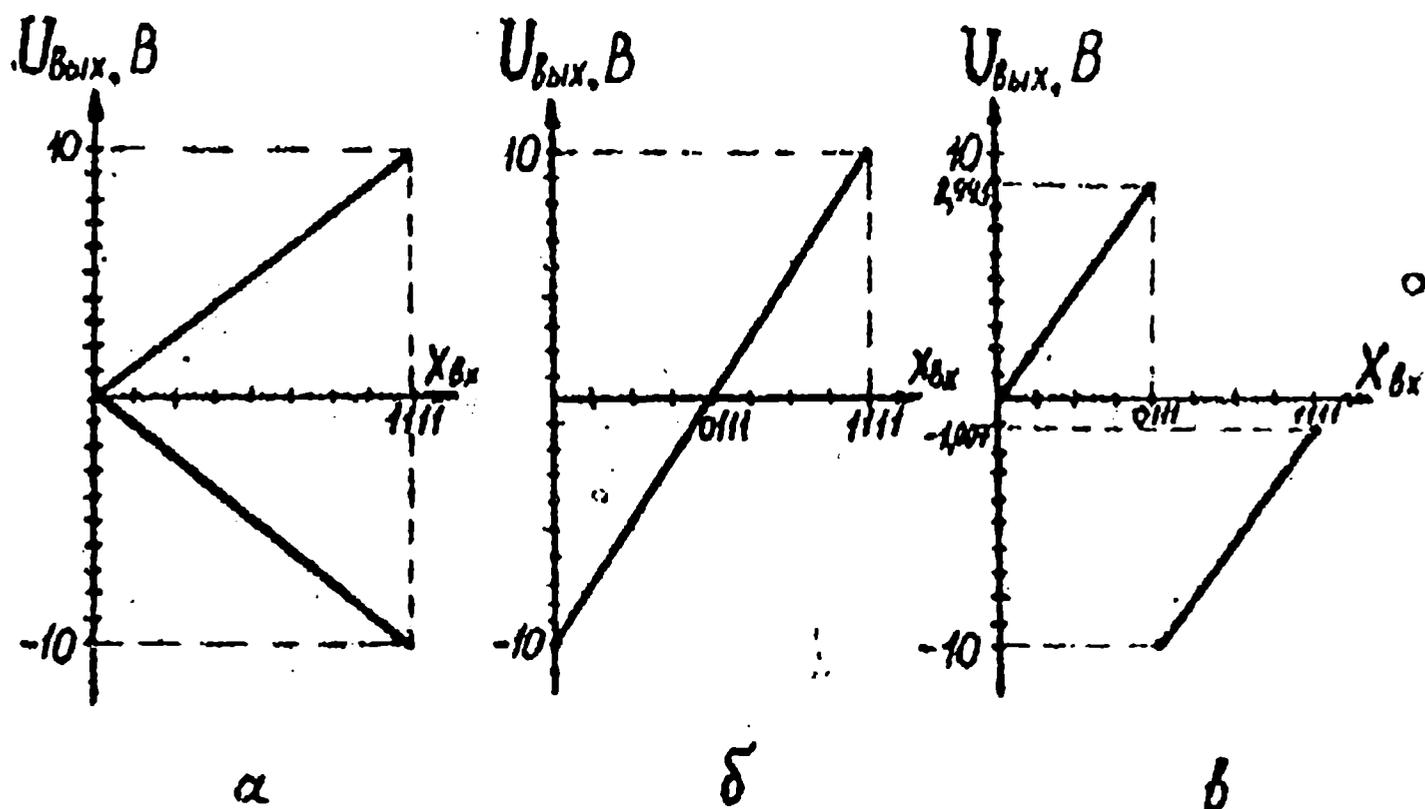


Рис.2. Графики соответствия цифровых кодов и аналоговых напряжений

Табл. 1. Основные типы интегральных ЦАП и их параметры

Тип ИС	Электрические параметры													
	Число разрядов	$t_{уст.}$, мкс	$\delta_{л.}$, %	$\delta_{нл.}$, %	$U_{пит.}$, В	$U_{оп.}$, В	$I_{пот.}$, мА	Технология	$I_{вх.}$, мкА	$I_{вых}$ при $U_{оп.} = 10В$, мА	$U_{вх.}^{\circ}$, В	$U_{вх.}'$, В	T , °C	Сопротивление элемента матрицы, кОм
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K572ПAI (А-Г)	10	5	А+0,1 В+0,2 Г+0,4 Г+0,8	±3	5...17	±17	2	ТТЛ I	2		0+0,8	9,6	-10 + +70°C	10

Примечания: 1. Порядок подключения напряжений:

- 1) $U_{пит.}$;
- 2) $U_{оп.}$;
- 3) $U_{цифр.входов.}$

2. При работе с ТТЛ рекомендуется использовать ИС с открытым коллектором К155ЛА8.

Наиболее просто определяется соответствие цифровых и аналоговых величин при прямом коде. Этот код удобен при преобразовании сигналов следящих систем, так как при переходе через нуль не меняются старшие разряды кода, что позволяет реализовать линейный переход от малых положительных к малым отрицательным входным напряжениям. Для преобразования как положительных, так и отрицательных кодов используют знаковый разряд, который управляет переключением выходного напряжения ЦАП.

Для исключения коммутирующих элементов из схемы ЦАП используют смещенный код, являющийся наиболее простым в схеме преобразователя.

При применении дополнительного кода положительные числа преобразуются так же, как для прямого кода, а отрицательные — двоичным дополнением соответствующего положительного числа (инверсия всех разрядов с последующим добавлением единицы в младший разряд).

3. БАЗОВЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ЦАП

Схема ЦАП, реализующего выражение, однозначно описывающее соответствие двоичного кода и значение аналогового сигнала

$$U_{\text{вых}} = E_0 (x_1 2^{-1} + x_2 2^{-2} + \dots + x_n 2^{-n}), \quad (2)$$

где E_0 — опорное напряжение;

$X \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — цифровой код;

x — принимают значение 0 или 1.

Изображение схемы ЦАП на рис. 3.

Схема содержит источник опорного напряжения E_0 , матрицу двоично-взвешенных регуляторов, набор ключей и дифференциальный операционный усилитель.

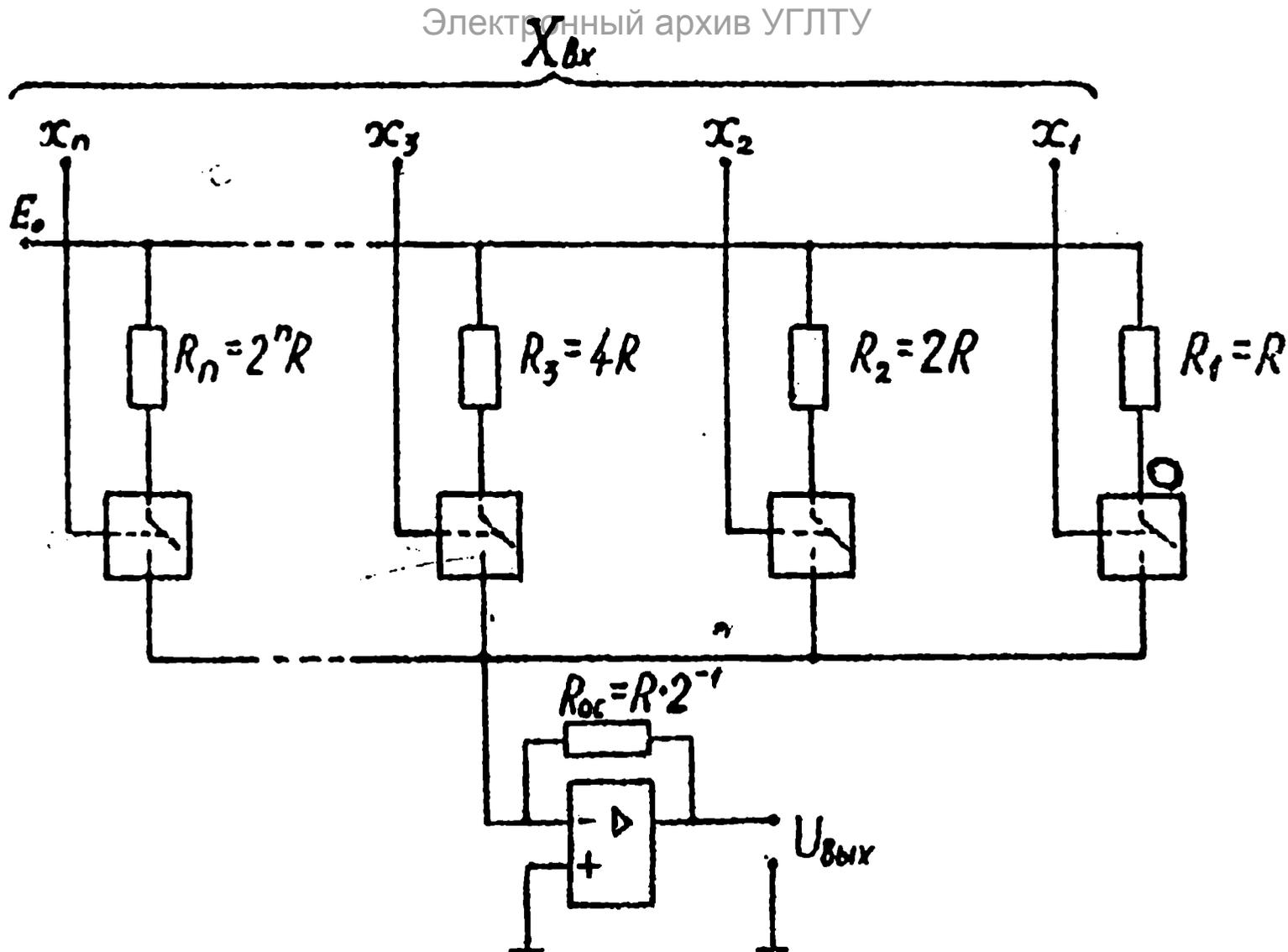


Рис. 3. Схема ЦАП с двоично-взвешенными сопротивлениями

Основные недостатки этой схемы определяются необходимостью применения резисторов с большим диапазоном номиналов. Например, для 10-разрядного ЦАП диапазон номиналов составит $1R-1024R$, что создает существенные трудности в реализации такой конфигурации.

Рациональным способом уменьшения количества номиналов резисторов является использование резистивной (лестничной) матрицы $R-2R$, изображенной на рис. 4.

Схема ЦАП на основе матрицы $R-2R$ также реализует приведенное ранее выражение (2). Действительно, так как потенциал суммирующей точки операционного усилителя ра-

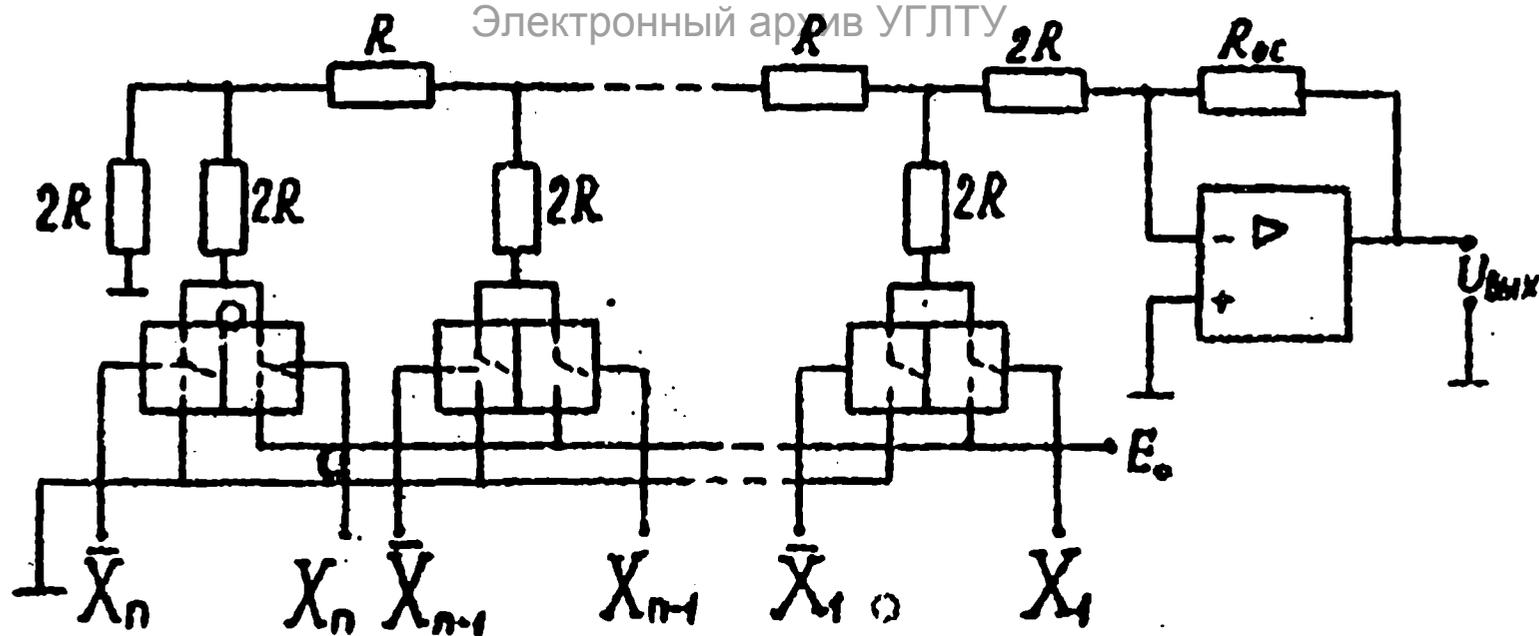


Рис.4. Схема ЦАП на основе резистивной матрицы R-2R

вен нулю, то анализируя эквивалентную схему, изображенную на рис.б, для точки α можно записать

$$U_\alpha = E_0 x_1 K_1 + E_0 x_2 K_2 + \dots + E_0 x_n K_n, \quad (3)$$

где K_i - коэффициент передачи E_0 в точку α от разряда цифрового кода с соответствующим индексом.

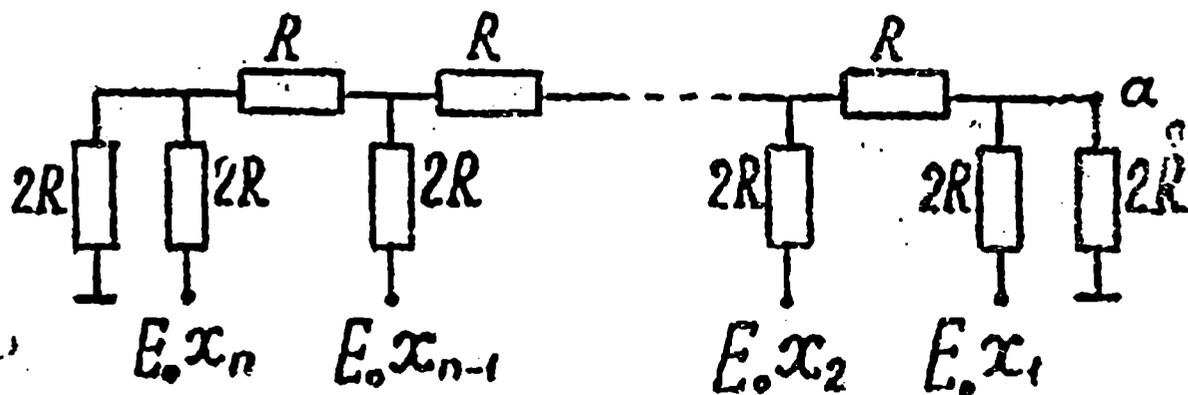


Рис.5. Схема резистивной матрицы R-2R

Для того чтобы разобраться в принципе действия такой матрицы, рассмотрим изменения конфигурации эквивалентной схемы, при условии равенства единице только одного разряда цифрового кода. На рис. 6 приведены эти изменения для четырех случаев.

Из анализа эквивалентных схем следует, что

$$K_1 = 1/3; K_2 = (1/3)2^{-1}; K_3 = (1/3)2^{-2}; \dots; K_n = (1/3)2^{-n} \quad (4)$$

На основании (3) и (4) можно записать

$$U_a = (1/3)E_0(x_1 2^{-1} + x_2 2^{-2} + x_3 2^{-3} + \dots + x_n 2^{-n}). \quad (5)$$

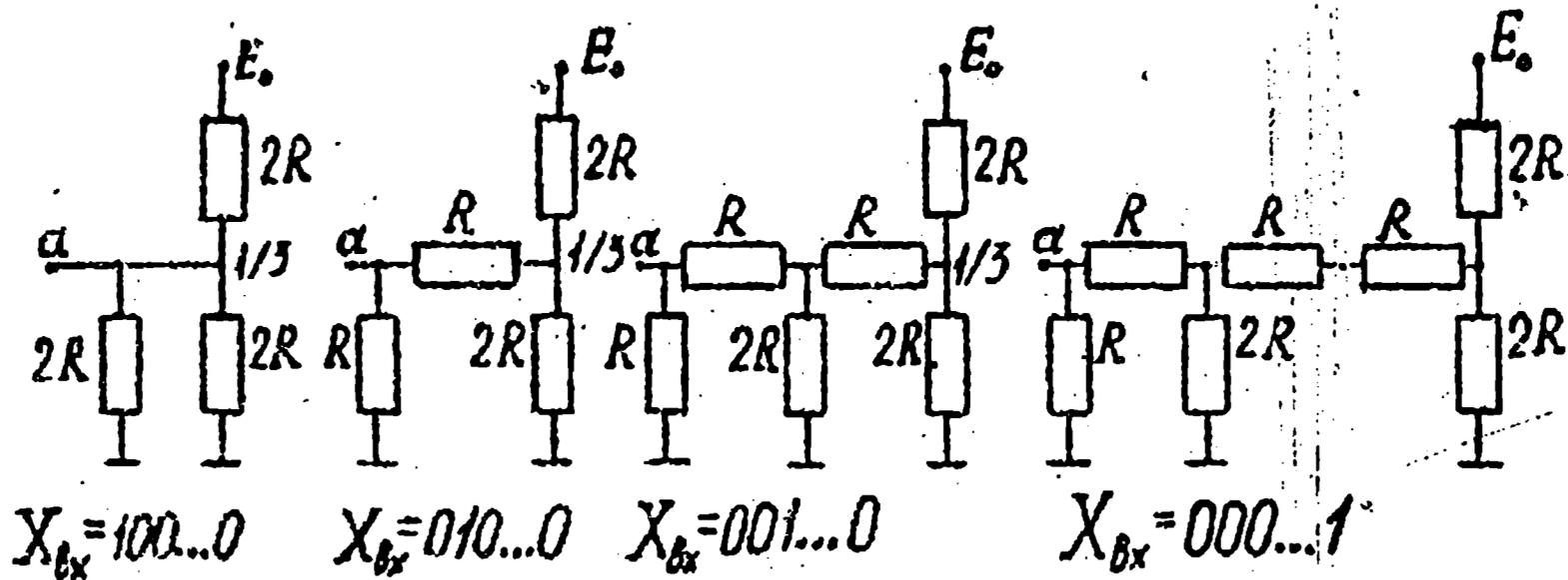


Рис. 6. Схемы резистивной (лестничной) матрицы R-2R

Используемые в ЦАП источники опорного напряжения E_0 , как правило, строятся на основе полупроводниковых стабилитронов. На рис. 7 приведены схемы источников опорного напряжения: на основе операционного усилителя с параллельной обратной связью (а) и с последовательной обратной связью (б). Отношение сопротивлений резисторов R_2/R_1 определяется требуемыми значениями E_0 и U_c .

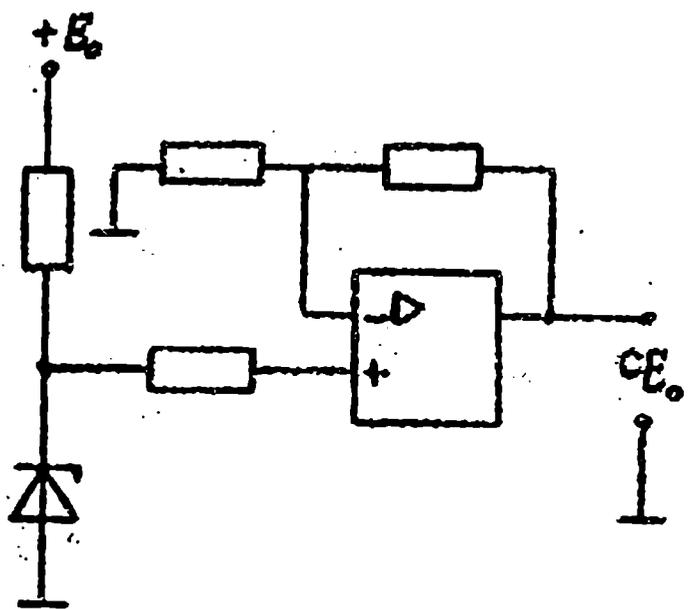
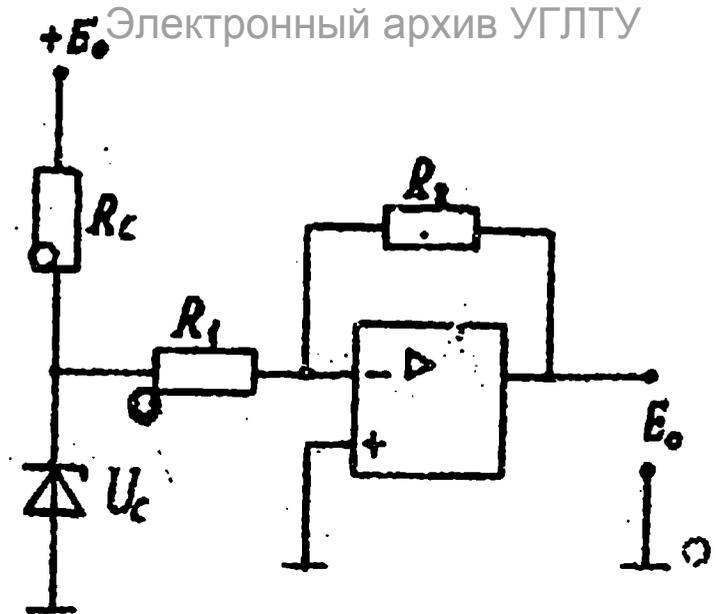


Рис.7. Схемы источников опорного напряжения

Построение высокоточных ($\delta \leq 0,1\%$) источников опорного напряжения связано с введением в схему реализации элементов, обеспечивающих температурную и временную стабилизацию тока опорного стабилитрона.

Практическая схема реализации высокоточного источника приведена на рис.8. В качестве опорного здесь применен температурно-стабилизированный стабилитрон КС191Ф; транзисторы 1НТ251 введены для обеспечения необходимого тока стабилизации при максимальных изменениях температуры окружающей среды $\pm 50^\circ\text{C}$ и повышенной выходной мощности.

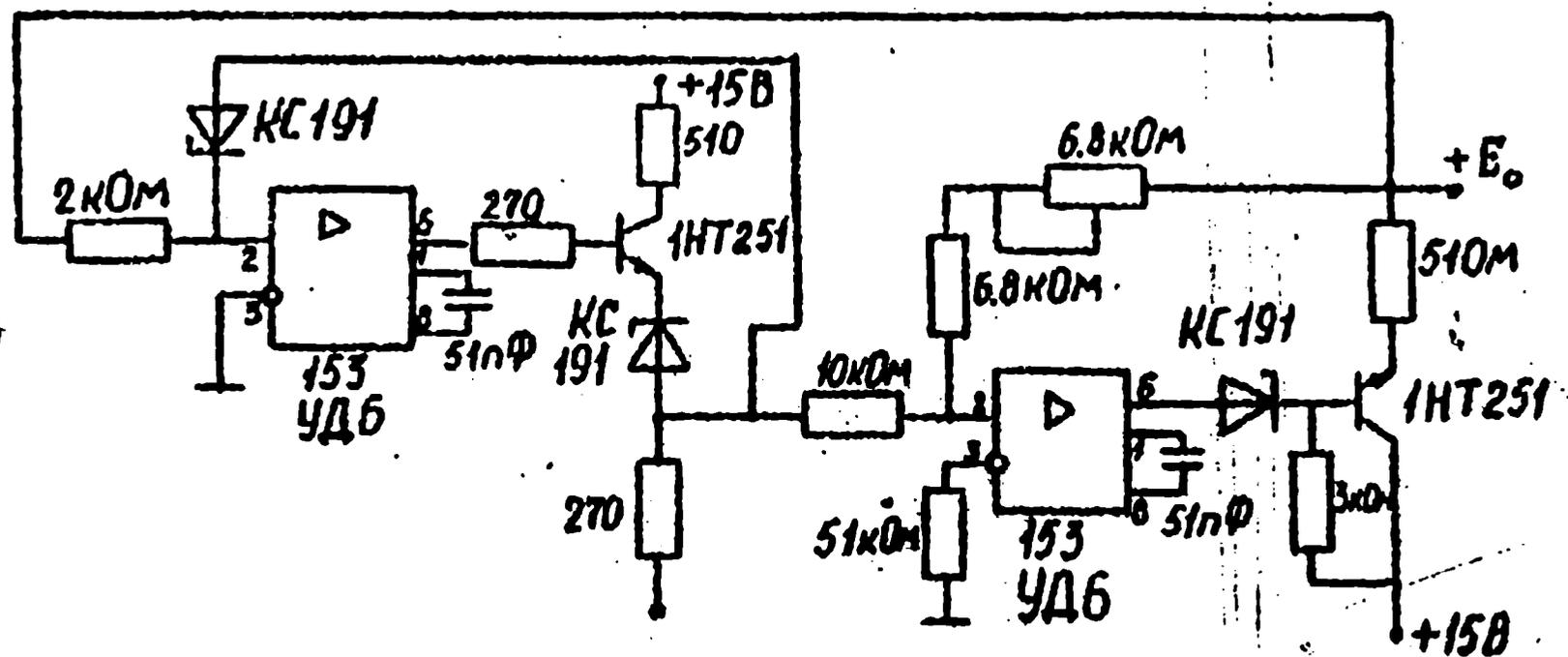


Рис.8. Пример схемы прецизионного источника опорного напряжения

Рекомендуемая схема подключения ЦАП К572ПА1 приведена на рис.9 .

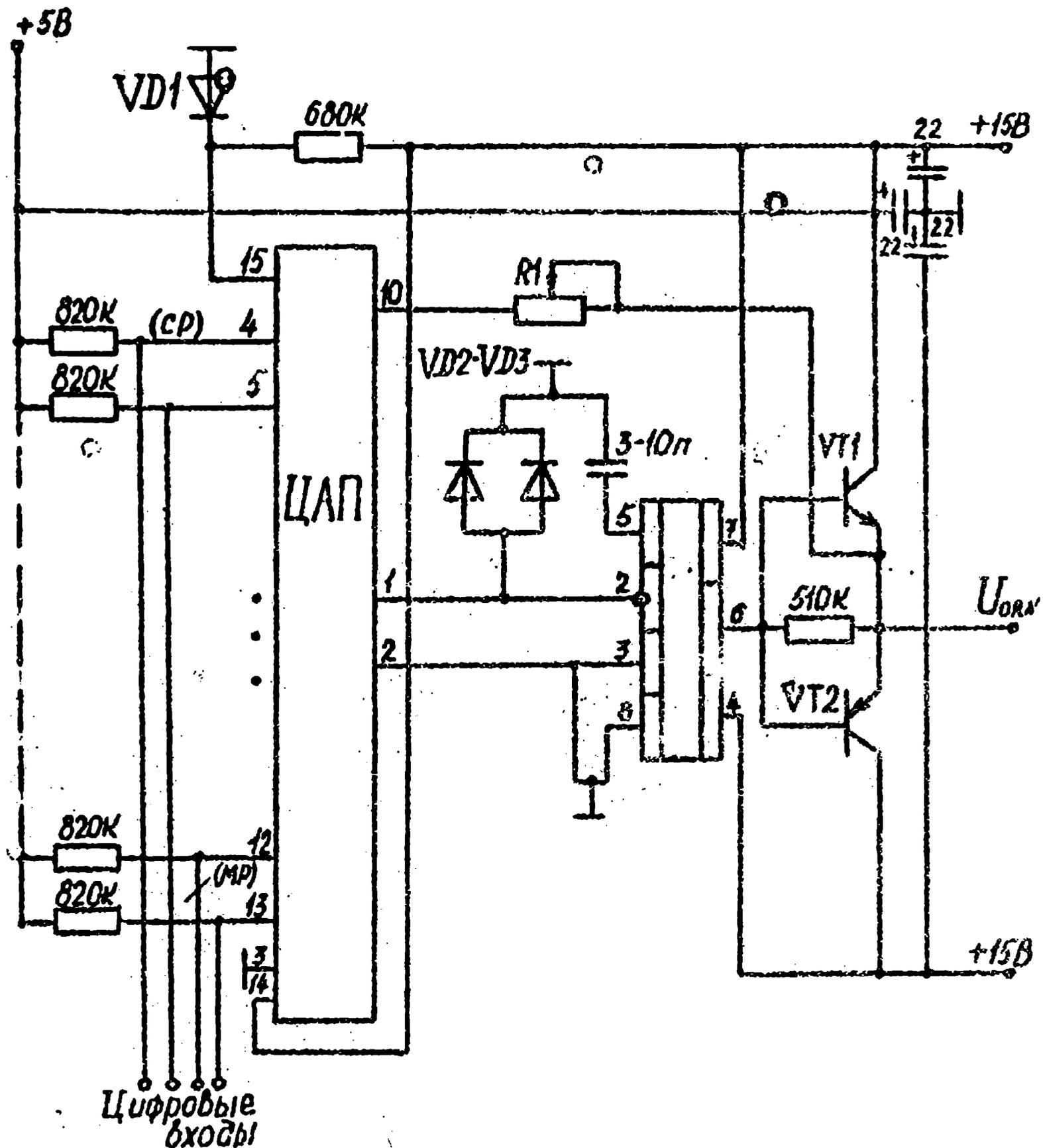


Рис.9. Схема включения ЦАП К572ПА1