

ШЕСТИРАЗРЯДНЫЕ АЦП К1107ПВЗ С ЧАСТОТОЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 100 И 50 МГц

Полупроводниковые микросхемы К1107ПВЗ представляют собой 6-разрядные аналого-цифровые преобразователи параллельного типа с ЭСЛ выходами и частотой преобразования 100 МГц (тип А) и 50 МГц (тип Б) [6, 7].

Функция, выполняемая микросхемой, — преобразование аналогового напряжения в диапазоне от $-2,5$ до $2,5$ В в эквивалентное 6-разрядное цифровое слово в виде параллельного двоичного кода.

Микросхема К1107ПВЗ отличается от 6-разрядного АЦП К1107ПВ1 более высоким быстродействием и наличием разряда переполнения, что значительно расширяет область применения данной микросхемы. Увеличение быстродействия достигнуто благодаря применению выходных каскадов ЭСЛ и упрощению системы шифрации АЦП. Однако упрощение структурной схемы ИС К1107ПВЗ привело к некоторым особенностям ее работы и применения по сравнению с микросхемой К1107ПВ1. Высокое быстродействие также обеспечивается применением эпитаксиально-планарной технологии изготовления кристалла АЦП, позволяющей формировать транзисторные структуры с граничной частотой усиления порядка 1,5 ГГц.

Особенностью ИС К1107ПВЗ является низкая нелинейность ХП. Даже при уменьшении входного диапазона аналогового сигнала $U_{REF1} - U_{REF2}$ до 1,5 В нелинейность ХП не превышает значения $\pm 0,25$ ЕМР, а при входном диапазоне 0,6 В нелинейность ХП увеличивается до $\pm 0,5$ ЕМР. Хорошая нелинейность ХП и наличие разряда переполнения в ИС К1107ПВЗ дают возможность наращивать разрядность преобразования до 7-го и 8-го разрядов путем несложного параллельного соединения микросхем при параллельном способе преобразования [1, 7].

Конструктивно ИС К1107ПВЗ выполнена в металлокерамическом 16-выводном корпусе 201.16-13. Диапазон рабочих температур микросхем составляет $-10...+70$ °С.

Назначение выводов ИС К1107ПВЗ

Общий («аналоговая» земля)	1
Опорное напряжение U_{REF1} (+2,5 В)	2
Вход (аналоговый сигнал)	3
Опорное напряжение U_{REF2} (−2,5 В)	4
Напряжение контроля гистерезиса U_H	5
Вход (тактовый сигнал)	6
Напряжение питания U_{cc1} (+5,0 В)	7
Напряжение питания U_{cc2} (−5,2 В)	8
Выход 6 (младший разряд)	9
Выход 5	10
Выход 4	11
Выход 3	12
Выход 2	13
Выход 1 (старший разряд)	14

Выход 7 (разряд переполнения)	15
Общий («цифровая» земля)	16

Номинальные значения напряжений питания $U_{cc1}=5,0$ В и $U_{cc2}=-5,2$ В. Потребляемая мощность 0,5 Вт.

Основные электрические параметры ИС К1107ПВ3А, Б

Максимальная частота преобразования $f_{c\max}$, МГц:

К1107ПВ3А	Не менее 100
К1107ПВ3Б	Не менее 50
Диапазон входного напряжения U_{IRN} , В	-2,5...+2,5
Входной ток (аналогового входа) I_{IA} , мА, не более:	
К1107ПВ3А	0,5
К1107ПВ3Б	0,8
Ток потребления от источника положительного напряжения питания I_{cc1} , мА	Не более 60
Ток потребления от источника отрицательного напряжения питания I_{cc1} , мА	Не более 80
Ток потребления от источника положительного опорного напряжения I_{REF1} , мА	Не более 60
Ток потребления от источника отрицательного опорного напряжения I_{REF2} , мА	Не более 60
Входной ток тактового входа, мкА, не более:	
высокого уровня I_{IH}	100
низкого уровня I_{IL}	100
Выходное напряжение высокого уровня U_{OH} , В	-1,1...-0,7
Выходное напряжение низкого уровня U_{OL} , В	-2,0...-1,5
Нелинейность δ_L , ЕМР	-0,25...+0,25
Дифференциальная нелинейность δ_{LD} , ЕМР	-0,5...+0,5
Абсолютная погрешность преобразования в конечных точках шкалы $\delta_{FS1}, \delta_{FS2}$, мВ	-100...+100
Время преобразования t_c , нс	Не более 20
Апертурное время t_a , нс	Не более 2
Апертурная неопределенность Δt_a , пс	Не более 25
Входная емкость аналогового входа C_I , пФ	Не более 35
Положительное напряжение питания U_{cc1} , В	4,75...5,25
Отрицательное напряжение питания U_{cc2} , В	-5,46...-4,94

Ниже приведен предельный режим ИС К1107ПВ3.

Положительное напряжение питания U_{cc1} , В	Не более 6
Отрицательное напряжение питания U_{cc2} , В	Не менее -6
Входное напряжение U_{IA} , В	-3...+3
Напряжение контроля гистерезиса, U_H , В	0...3
Опорное напряжение, В:	
U_{REF1}	0...3
U_{REF2}	-3...0

Преобразователь построен по параллельной схеме, структурная схема которого приведена на рис. 1.6. Микросхема К1107ПВ3 состоит из резисторного делителя эталонных опорных напряжений, блока 64 стробируемых компараторов, логических схем шифрации, и семи выходных каскадов. Роль регистра в ИС выполняют триггеры-защелки компараторов, и поэтому, когда компараторы застробированы, на выходе АЦП информация не изменяется.

В ИС К1107ПВ3 отсутствует выходной регистр, из-за чего временная диаграмма работы (рис. 4.19) данного АЦП значительно отличается от диаграммы работы ИС К1107ПВ1. Работой преобразователя управляет тактовый сигнал, поступающий на компараторы. При низком уровне тактового сигнала компараторы работают в режиме сравнения. Аналоговый сигнал, поступая одновременно на входы всех компараторов, сравнивается с опорными напряжениями, формируемыми резисторным делителем. Часть компараторов (см. рис. 1.5), у которых аналоговый сигнал превышает эталонные опорные напряжения, срабатывают, меняя свое состояние на выходах, а другая часть компараторов, у которых аналоговый сигнал меньше эталонных опорных напряжений, не меняет своего состояния. При положительном перепаде тактового сигнала на стробирующих входах компараторов срабатывают их триггеры-защелки, фиксируя состояние выходов компараторов. Число переключившихся компараторов зависит от амплитуды аналогового сигнала, т. е. состояние всех выходов компараторов содержит информацию о величине аналогового сигнала. Получаем так называемый «термометрический» код. Информация со всех компараторов, поступая на шифратор, состоящий из логики И и ИЛИ, превращается в 6-разрядный двоичный код. Фиксация мгновенного значения аналогового напряжения происходит при положительном перепаде тактового сигнала. При высоком уровне тактового сигнала компараторы не реагируют на аналоговый сигнал, храня зафиксированную ин-

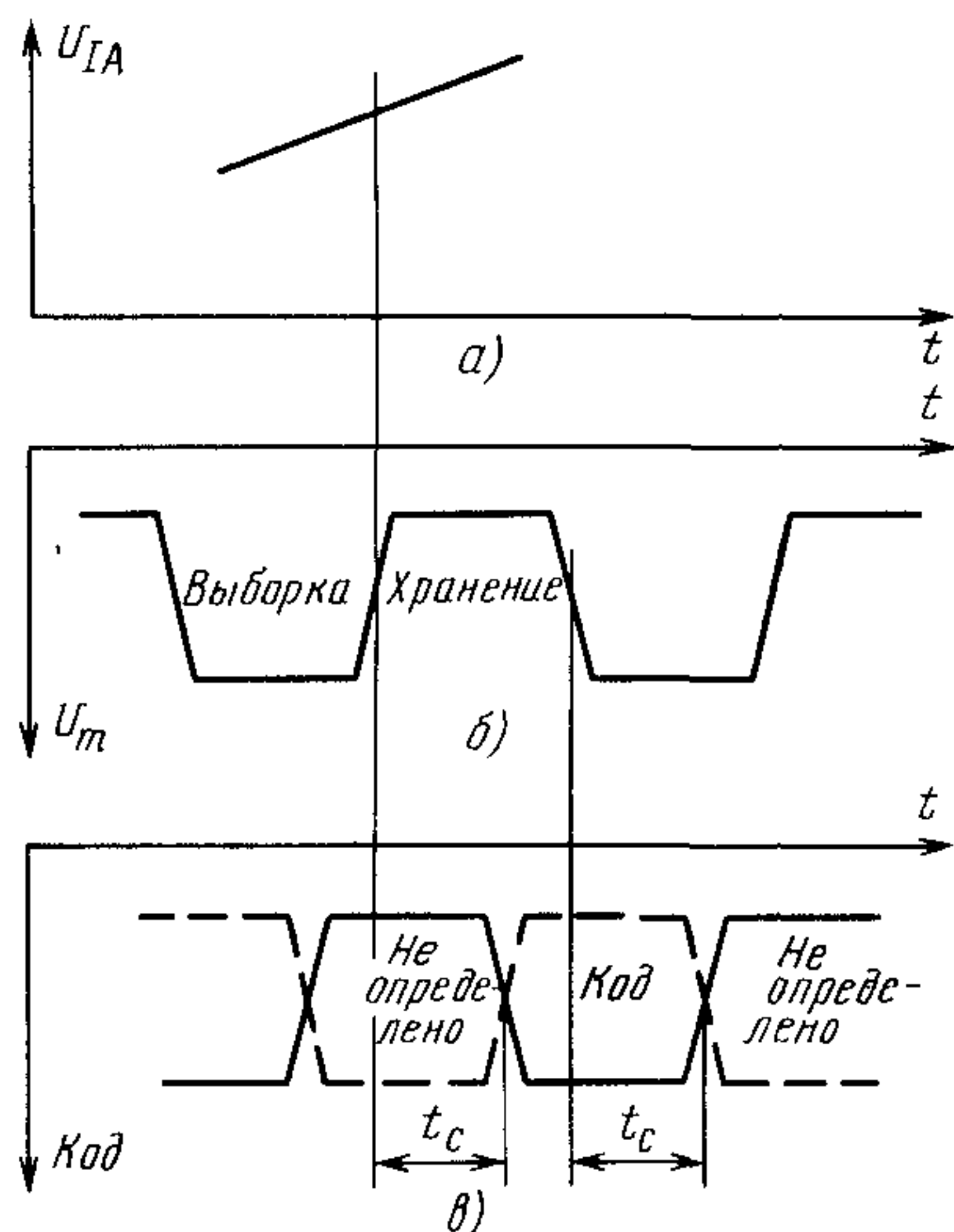


Рис. 4.19 Временные диаграммы работы ИС К1107ПВ3

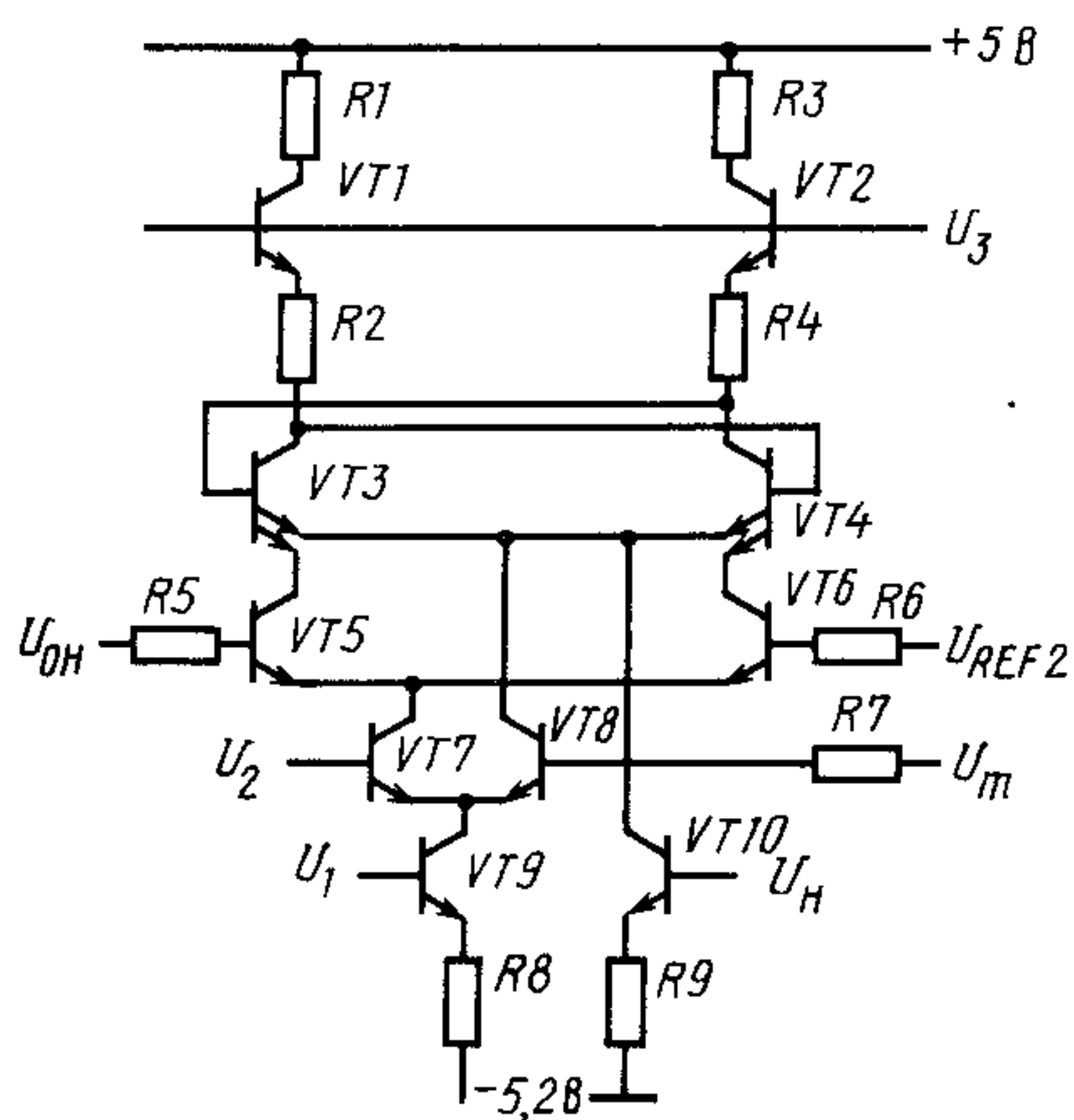


Рис. 4.20 Принципиальная электрическая схема компаратора АЦП К1107ПВ3

формацию результата сравнения. Код на цифровых выходах микросхемы, соответствующий зафиксированному значению аналогового сигнала, появляется спустя время преобразования t_c (см. рис. 4.19.). В среднем время преобразования $t_c = 12—17$ нс. Оно состоит из времени перехода компараторов в режим хранения и времени обработки информации в шифраторе.

При поступлении низкого уровня тактового сигнала компараторы вновь переводятся в режим сравнения аналогового сигнала с набором эталонных опорных напряжений, и прежняя информация на выходах компараторов пропадает. Потеря информации в компараторе влечет за собой пропадание кода на цифровых выходах микросхемы после t_c (на рис. 4.19). Дальше идет режим неопределенности кода на выходе, что связано с отсутствием регистра на выходе АЦП, так как во время режима сравнения прежняя информация в компараторах не сохраняется. Из временной диаграммы работы микросхемы видно, что время нахождения на цифровых выходах кода, соответствующего зафиксированному значению аналогового сигнала, равно времени хранения и сдвинуто на t_c относительно начала режима хранения (фронта тактового сигнала). Остальную часть времени код на цифровых выходах неопределен, поэтому считывание цифровой информации с микросхемы должно происходить с задержкой относительно положительного фронта тактового сигнала на время t_c . Минимальное время выборки для ИС К1107ПВ3А составляет 5 нс, а для К1107ПВ3Б 10 нс. Апертурная неопределенность микросхем порядка 25 пс. Упрощение схемы АЦП К1107ПВ3 приводит к некоторым сложностям применения, однако при этом получается выигрыш по максимальной рабочей частоте преобразования и мощности по сравнению с микросхемой К1107ПВ1.

Резисторный делитель эталонных опорных напряжений микросхемы представляет собой цепочку из 64 низкоомных резисторов, общее сопротивление которой 100...200 Ом. При подаче на выводы 2 и 4 микросхемы внешних опорных напряжений U_{REF1} и U_{REF2} резисторный делитель формирует для компараторов набор эталонных опорных напряжений, определяющих ХП АЦП.

В ИС К1107ПВ3 для компенсации дополнительных падений напряжения на резисторном делителе, вызванных протеканием входного тока компараторов, изменены номиналы нескольких резисторов делителя на 10—20%, что обеспечивает нелинейность в пределах $\pm 0,25$ ЕМР.

Важнейшим элементом, как и во всех преобразователях, является компаратор. Особенностью компаратора ИС К1107ПВ3 являются минимальное число компонентов и минимальная потребляемая мощность при заданном быстродействии. Это особенно важно при реализации преобразователя в интегральном исполнении.

На рис. 4.20 представлена принципиальная электрическая схема компаратора АЦП. Компаратор состоит из четырех каскадов [8]:

входного дифференциального усилителя, каскада с общей базой; триггера-защелки; переключателя тока. Входным дифференциальным усилителем является усилитель постоянного тока (УПТ), выполненный на транзисторах $V15$ и $V16$. В коллекторные цепи этих транзисторов включены двухэмиттерные транзисторы $V13$ и $V14$, выполняющие двойную функцию: каскада с общей базой для устранения эффекта Миллера в режиме выборки, триггера-защелки в режиме хранения.

Для уменьшения числа компонентов и тем самым потребляемой мощности компаратора во входном усилителе отсутствуют входные эмиттерные повторители. Это привело к зависимости входного тока аналогового входа от входного напряжения, а также к частичному уменьшению помехоустойчивости аналогового входа. В режиме сравнения (выборки) коэффициент усиления компаратора составляет около 4.

Триггер-защелка выполняет те же функции, что и в компараторах АЦП К1107ПВ1. Он, во-первых, резко увеличивает коэффициент усиления компаратора в режиме стробирования (запоминания), во-вторых, играет роль регистра АЦП. Принцип работы триггера-защелки подробно описан в § 4.1

Переключатель тока построен на транзисторах $V17$ и $V18$. В зависимости от уровня тактового сигнала на базе транзистора $V18$ переключатель тока коммутирует ток от ИТ на транзисторе $V19$, либо в эмиттеры транзисторов $V15$, $V16$ (при этом компаратор работает в режиме сравнения), либо в эмиттеры транзисторов $V13$ и $V14$ (при этом компаратор работает в режиме стробирования). Использование одного коммутируемого ИТ позволило уменьшить потребляемую мощность компаратора. Нагрузкой компаратора являются резисторы $R2$ и $R4$, на которых формируется разностный сигнал входного и опорного напряжений. Включение в схему компаратора триггера-защелки с положительной обратной связью обеспечивает большое быстродействие компаратора при фиксации аналогового сигнала. В режиме стробирования входы компараторов не отключаются от источника аналогового сигнала, что также способствует увеличению быстродействия компаратора.

Дополнительный ИТ на транзисторе $V110$ постоянно обеспечивает триггер-защелку током в 4 раза меньшим, чем основной ток от транзистора $V19$, и работу триггера-защелки в режиме сравнения (выборки) компаратора. Этим увеличивается коэффициент усиления компаратора в режиме сравнения, а главное, повышается быстродействие триггера-защелки.

От дополнительного тока, вернее, от соотношения коллекторных токов транзисторов $V110$ и $V19$ зависит напряжение гистерезиса компаратора. В ИС К1107ПВ3 предусмотрена возможность управления напряжением гистерезиса внешним напряжением U_H в пределах 0 ... 2 В, подаваемым на базу транзистора $V110$

через вывод 5 микросхемы. При отсутствии внешнего напряжения на базе транзистора $VT10$ имеется напряжение $U_H = 1,6$ В, при этом напряжение гистерезиса составляет 8 мВ. Изменения внешнего напряжения U_H в пределах 0...2 В приводит к изменению времени преобразования АЦП на 5...10%.

В каждом компараторе (см. рис. 4.20) на резисторах нагрузки $R1$ и $R2$ одновременно выполняется и первая ступень шифрации. На резисторе $R1$ суммируются токи правого плеча $(n-1)$ -го компаратора и левого плеча n -го компаратора, а на резисторе $R2$ — токи правого плеча n -го компаратора и левого плеча $(n+1)$ -го компаратора. Как видим, по сравнению с ИС К1107ПВ1 здесь значительно упрощена первая ступень шифрации, что позволило уменьшить потребляемую мощность. Информация на следующую ступень шифрации снимается с тех же резисторов $R1$ и $R2$ каждого компаратора, однако при этом помехоустойчивость снижается.

Вторая ступень шифрации выполнена на логике ИЛИ, часто применяемой в шифраторах АЦП (аналогично шифратору второй ступени ИС К1107ПВ1). Выходные каскады (рис. 4.21) ИС К1107ПВ3 построены на ЭСЛ-элементах и содержат на выходах эмиттерные повторители. Стабилитроны $VD1$ служат для сдвига уровней, напряжения U_1 , U_2 формируются в микросхеме в качестве опорных напряжений. При включении микросхемы цифровые выходы подключаются к внешнему источнику (-2 В) через резисторы сопротивлением 100 Ом.

В микросхеме дополнительно имеется цифровой выход переполнения (вывод 15), управляемый 64-м компаратором. Он служит для индикации превышения аналоговым сигналом диапазона входного напряжения АЦП. Когда аналоговое напряжение превышает значение U_{REF1} , на цифровом выходе переполнения появляется напряжение низкого уровня.

Микросхемы К1107ПВ3 изготовлены по эпитаксиально-планарной технологии с применением двухуровневой металлизации. Резисторный делитель эталонных опорных напряжений выполнен в диффузионном слое глубокого коллектора. Для формирования базовых и

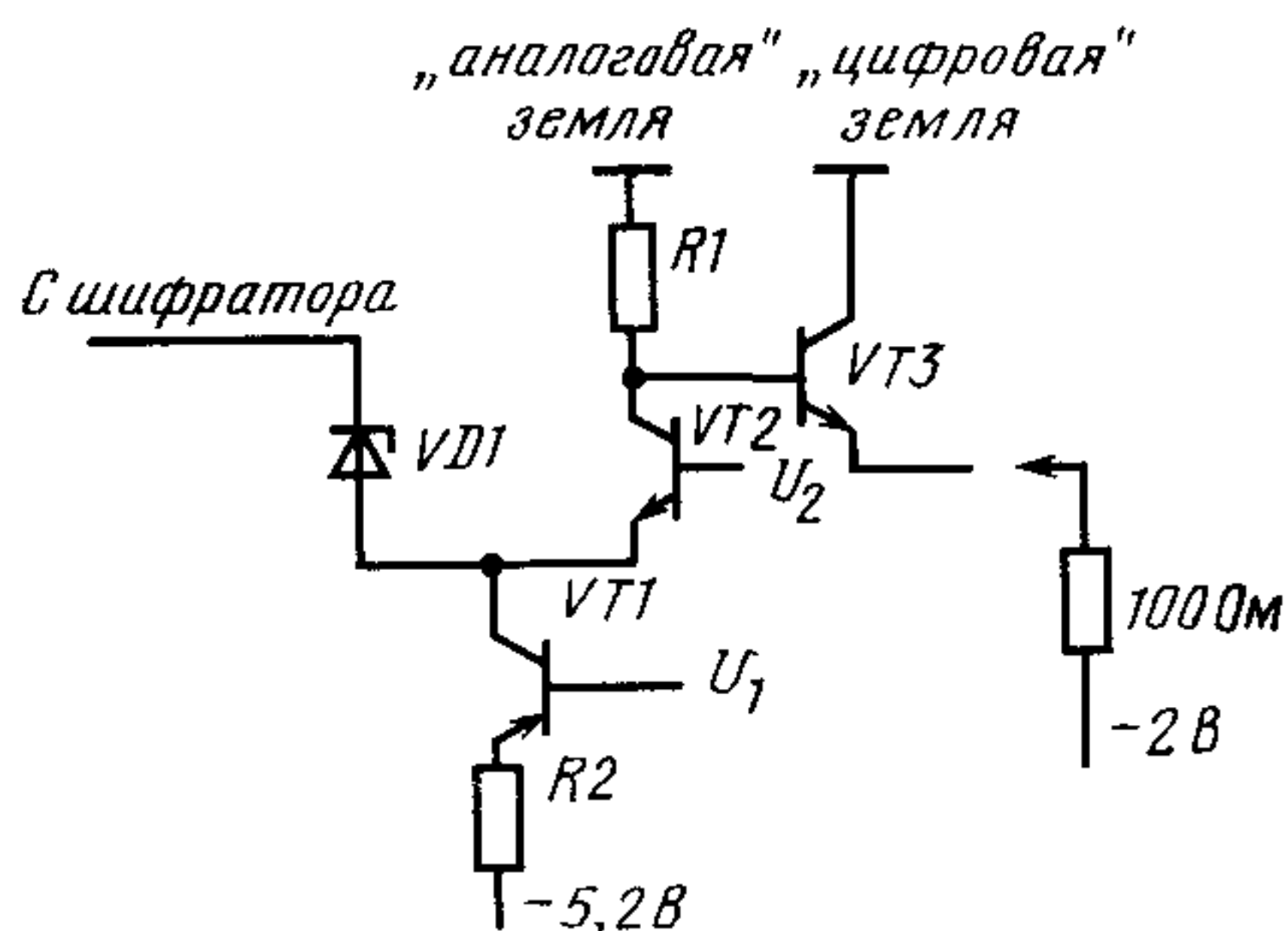


Рис 4.21 Выходной каскад ИС К1107ПВ3

p_+ -областей на кристалле применена ионная имплантация. Общее число компонентов на кристале АЦП составляет около 1500 шт.

На рис. 4.22—4.25 приведены зависимости некоторых электрических параметров микросхемы К1107ПВЗ, а на рис. 4.26, 4.27—

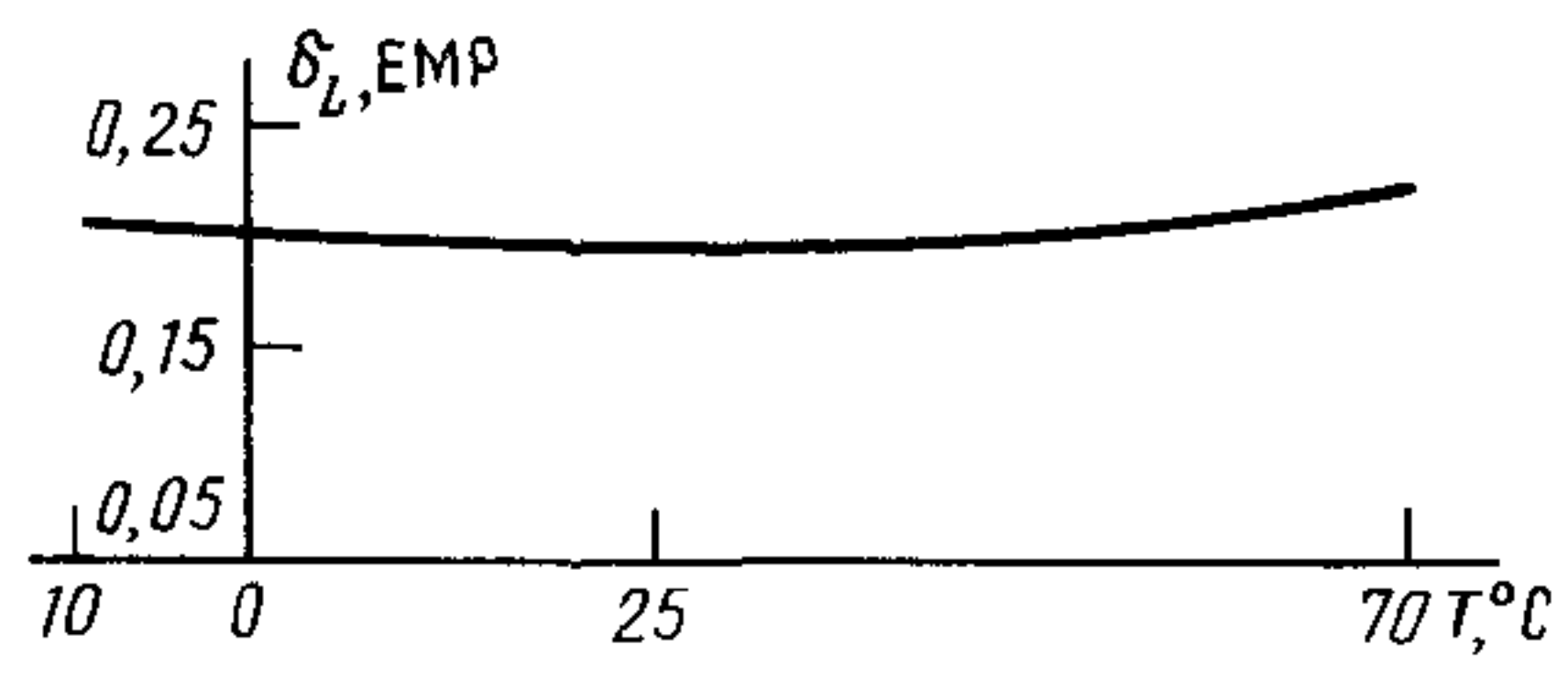


Рис. 4.22. Зависимость нелинейности от температуры при $U_{cc1}=5$ В, $U_{cc2}=-5,2$ В

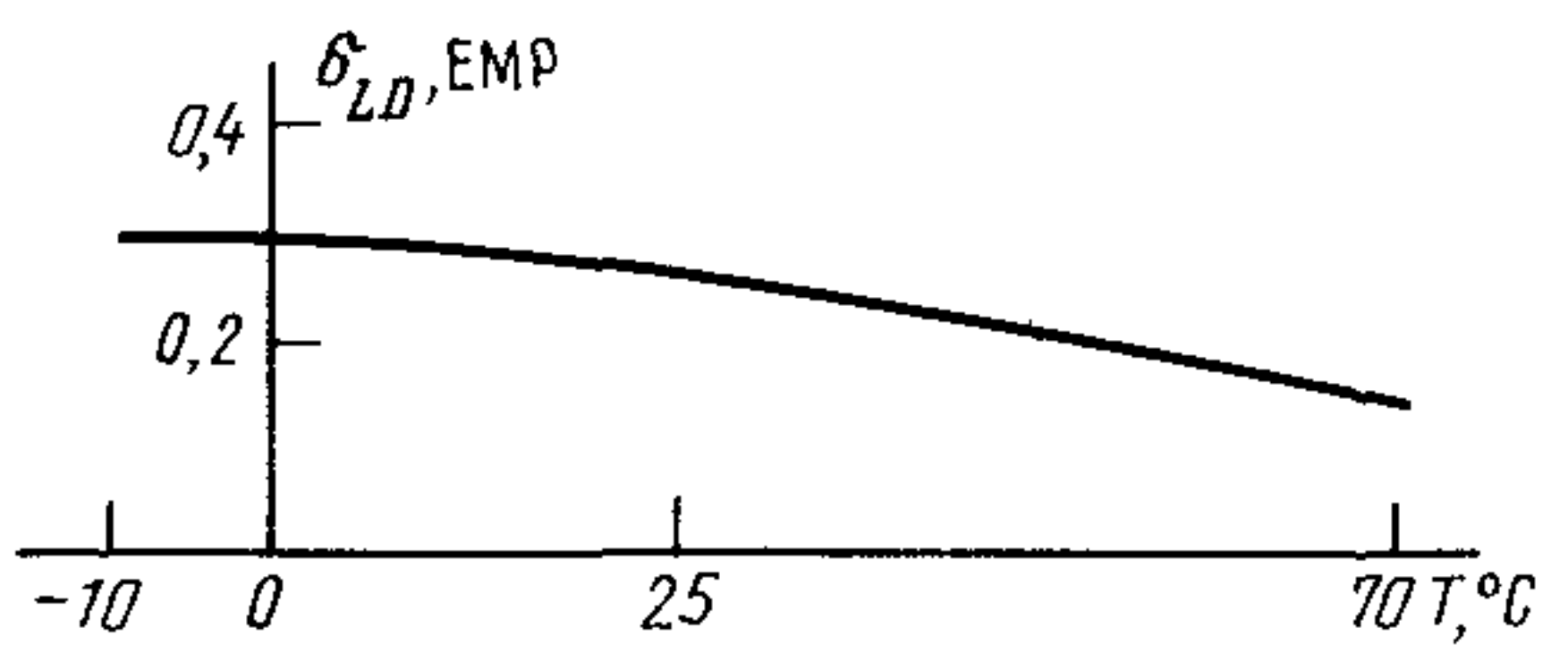


Рис. 4.23. Зависимость дифференциальной нелинейности от температуры при $U_{cc1}=5$ В, $U_{cc2}=-5,2$ В

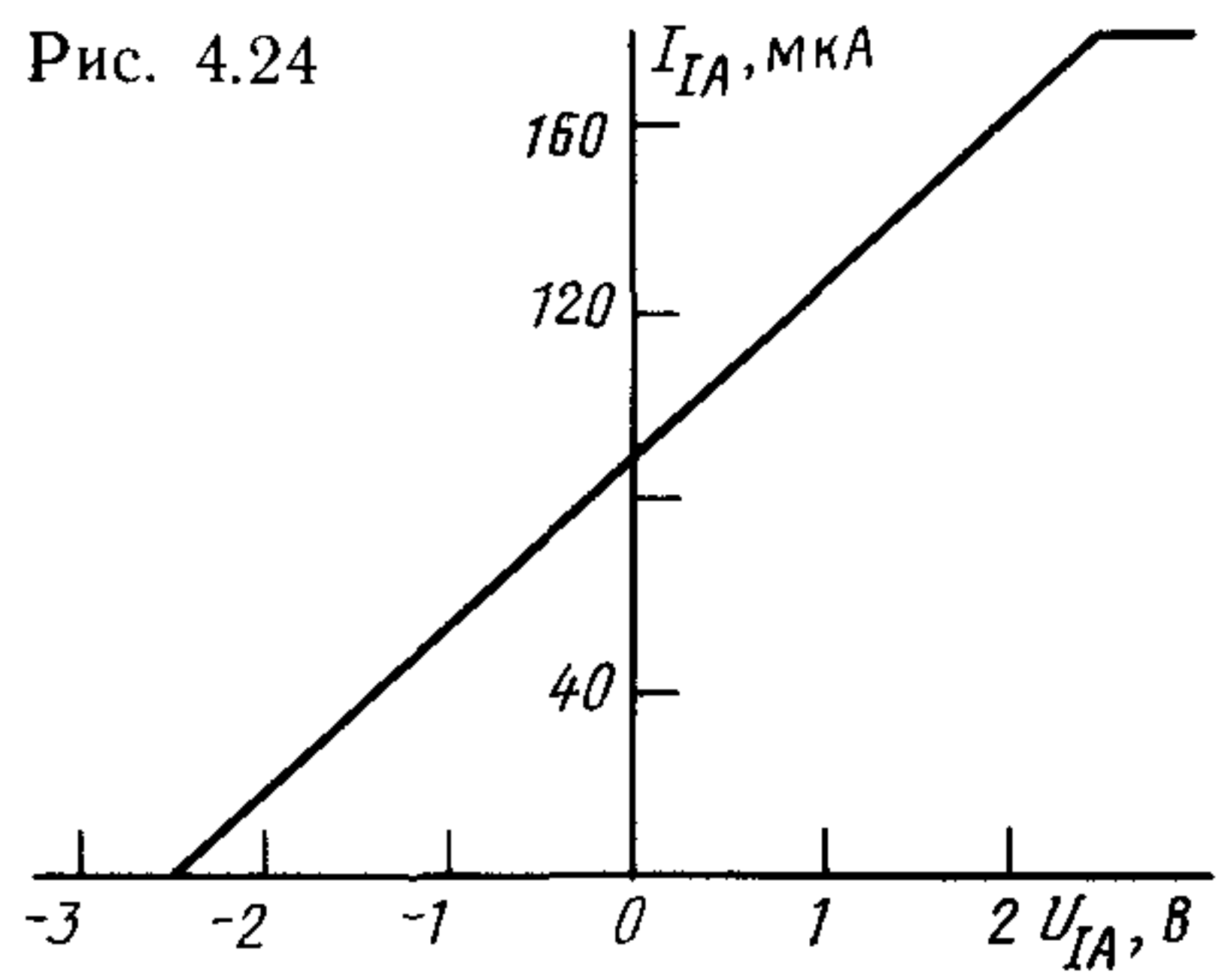


Рис. 4.24

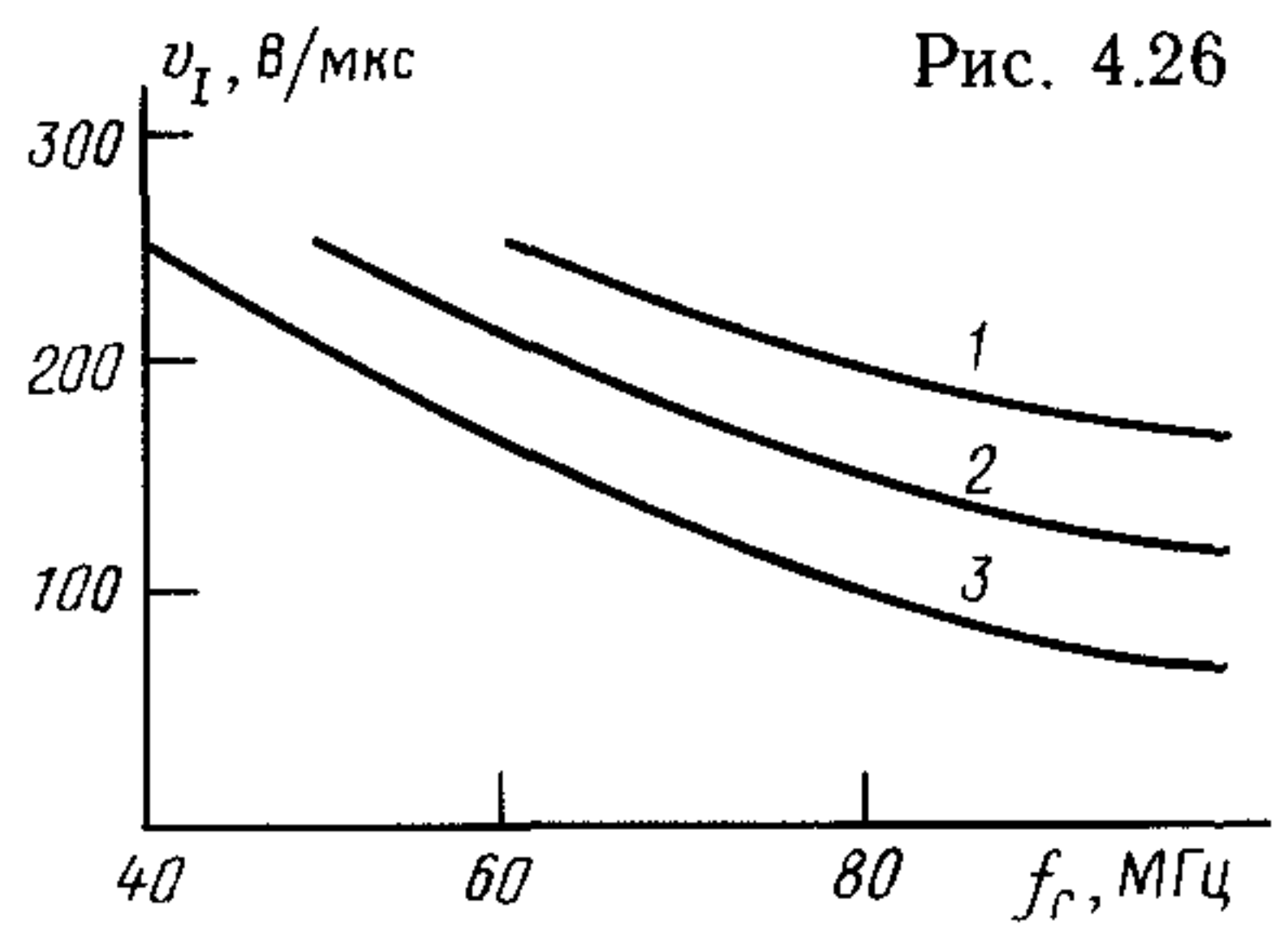


Рис. 4.26

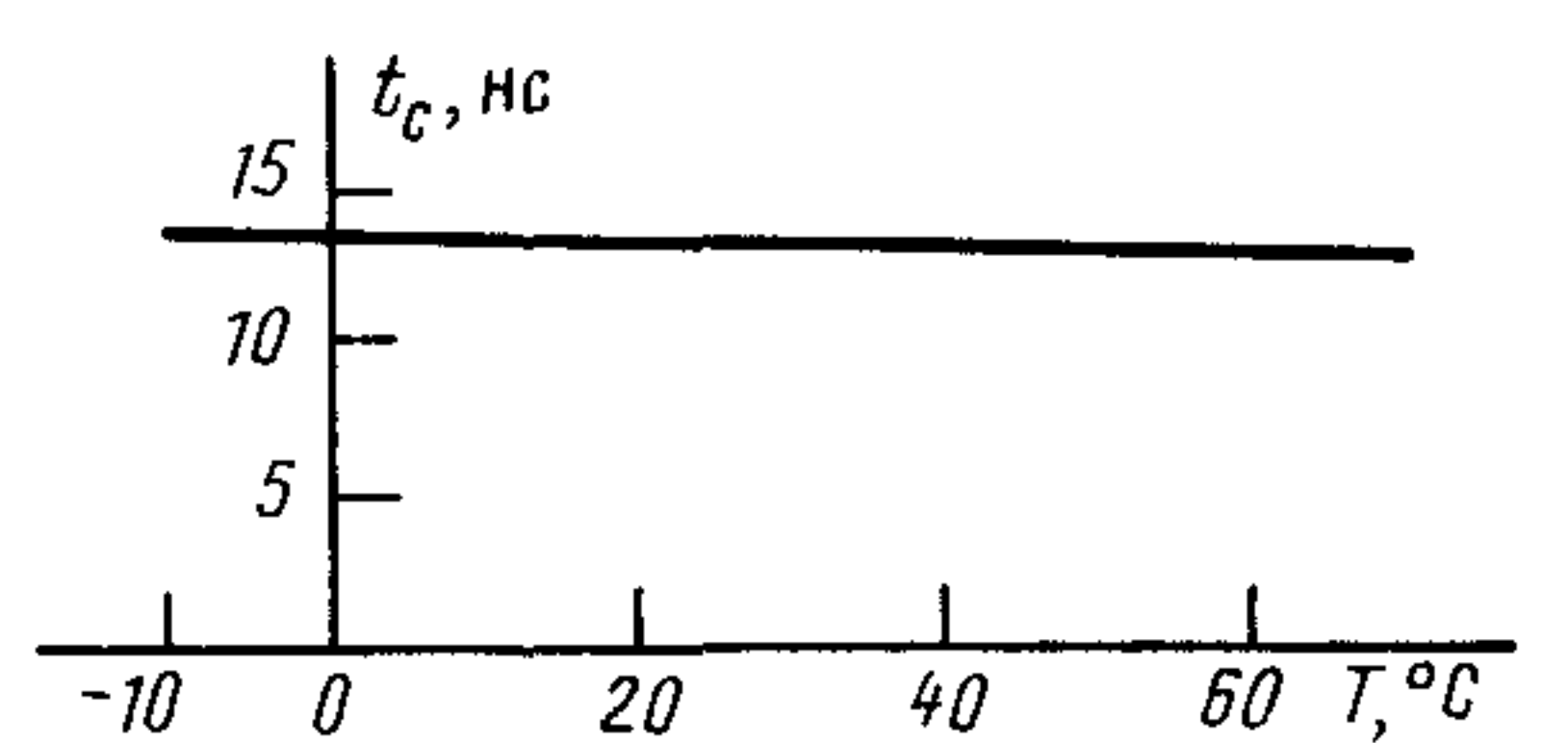


Рис. 4.25

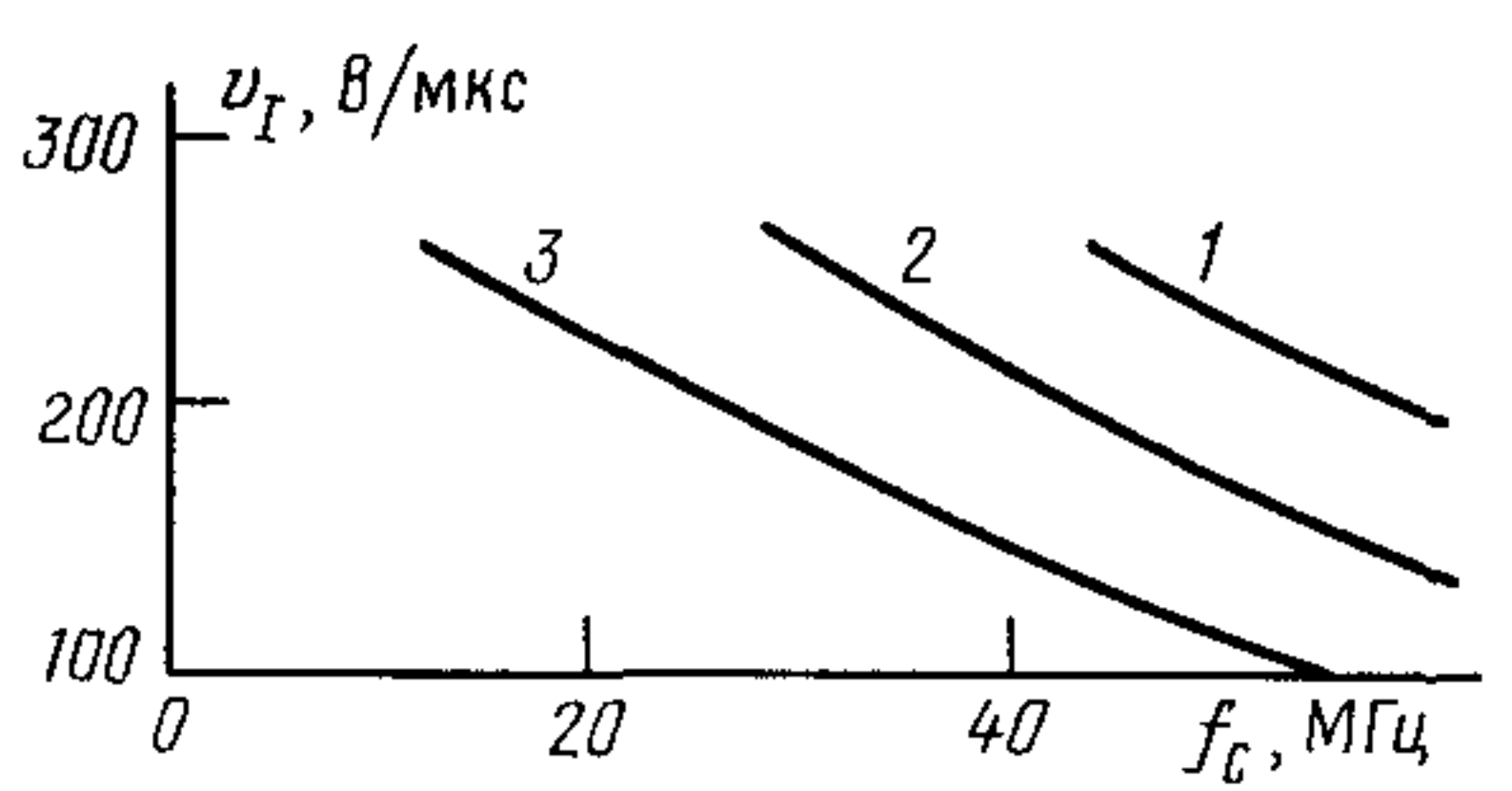


Рис. 4.27

Рис. 4 24. Зависимость входного тока от входного напряжения при $T=+25^{\circ}$ С

Рис 4.25 Зависимость времени преобразования от температуры окружающей среды при $U_{cc1}=5$ В, $U_{cc2}=-5,2$ В

Рис. 4.26. Типовая зависимость максимальной скорости изменения входного напряжения от частоты преобразования ИС К1107ПВЗА при $U_{cc1}=5$ В, $U_{cc2}=-5,2$ В: 1) $U_{REF1}=2,5$ В, $U_{REF2}=-2,5$ В, 2) $U_{REF1}=1,5$ В, $U_{REF2}=-1,5$ В, 3) $U_{REF1}=0,75$ В, $U_{REF2}=-0,75$ В

Рис 4 27 Типовая зависимость максимальной скорости изменения входного напряжения от частоты преобразования микросхем К1107ПВЗБ при $U_{cc1}=5$ В, $U_{cc2}=-5.2$ В. 1) $U_{REF1}=2,5$ В, $U_{REF2}=-2,5$ В, 2) $U_{REF1}=1,5$ В, $U_{REF2}=-1,5$ В, 3) $U_{REF1}=0,75$ В, $U_{REF2}=-0,75$ В

зависимости допустимой максимальной скорости изменения входного сигнала от частоты преобразования и опорных напряжений, при которых сохраняется монотонность ХП.

Один из вариантов включения ИС К1107ПВЗ представлен на рис. 4.28. Схема формирует регулируемые опорные напряжения, напряжение контроля напряжения гистерезиса. Изменяя напряжения U_{REF1} и U_{REF2} с помощью подстроечных резисторов $R23$, $R25$, компенсируют абсолютные погрешности преобразования в конечных точках шкалы АЦП. Напряжение U_{KH} управляется резистором $R29$. Входной усилитель аналогового сигнала построен на дискретных компонентах. Полоса пропускания усилителя около 20 МГц, коэффициент усиления 4. Серийно выпускаемые микросхемы ОУ не пригодны для работы с ИС К1107ПВЗ.

На рис. 4.29 представлена схема включения двух ИС К1107ПВЗ для увеличения разрядности до семи разрядов. Соответствующие разряды обеих микросхем соединены и нагружаются общими резисторами, на которых выполняется функция ИЛИ. В диапазоне аналогового сигнала от $-2,5$ до 0 В работает нижняя микросхема, а в диапазоне от 0 до $2,5$ В — верхняя. Требования к обрамлению обеих микросхем для обеспечения точностных параметров аналогичны требованиям к обрамлению одной микросхемы. Для уменьшения динамических погрешностей, вносимых конструкцией схемы, важно, чтобы сигнальные шины к микросхемам были одинаковой длины и цифровые выходы соединялись дорожками в виде согласованных микрополосковых линий.

На рис. 4.30. показана структурная схема включения четырех ИС К1107ПВЗ для достижения 8-разрядного разрешения. Диапазон опорных напряжений резисторами R поровну делится между каждой микросхемой. Необходимо помнить, что значения опорных напряжений U_{REF1} и U_{REF2} не должны превышать предельно допустимые, т. е. соответственно $+2,5$ и $-2,5$ В. Каждая микросхема работает в диапазоне напряжений $(U_{REF1} - U_{REF2})/4 = 1,25$ В, где обеспечивается нелинейность до 0,5 ЕМР. Для получения 8-разрядного кода применяются три цифровые схемы ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Работоспособность указанной схемы и точностные параметры преобразователя сильно зависят от конструктивного исполнения. Требуется обеспечить одновременное поступление сигналов к отдельным микросхемам, исключение отражения сигналов в шинах, согласование цифровых выходов. Надо учесть, что входная емкость четырех параллельно соединенных микросхем по аналоговому входу увеличивается в четыре раза по сравнению с одной микросхемой, что предъявляет дополнительные требования к входному усилителю.

При использовании ИС К1107ПВЗ следует учитывать, что:

для обеспечения максимального быстродействия необходимо согласование цифровых выходов АЦП с нагрузкой с применением дорожек печатной платы в виде микрополосковых линий;

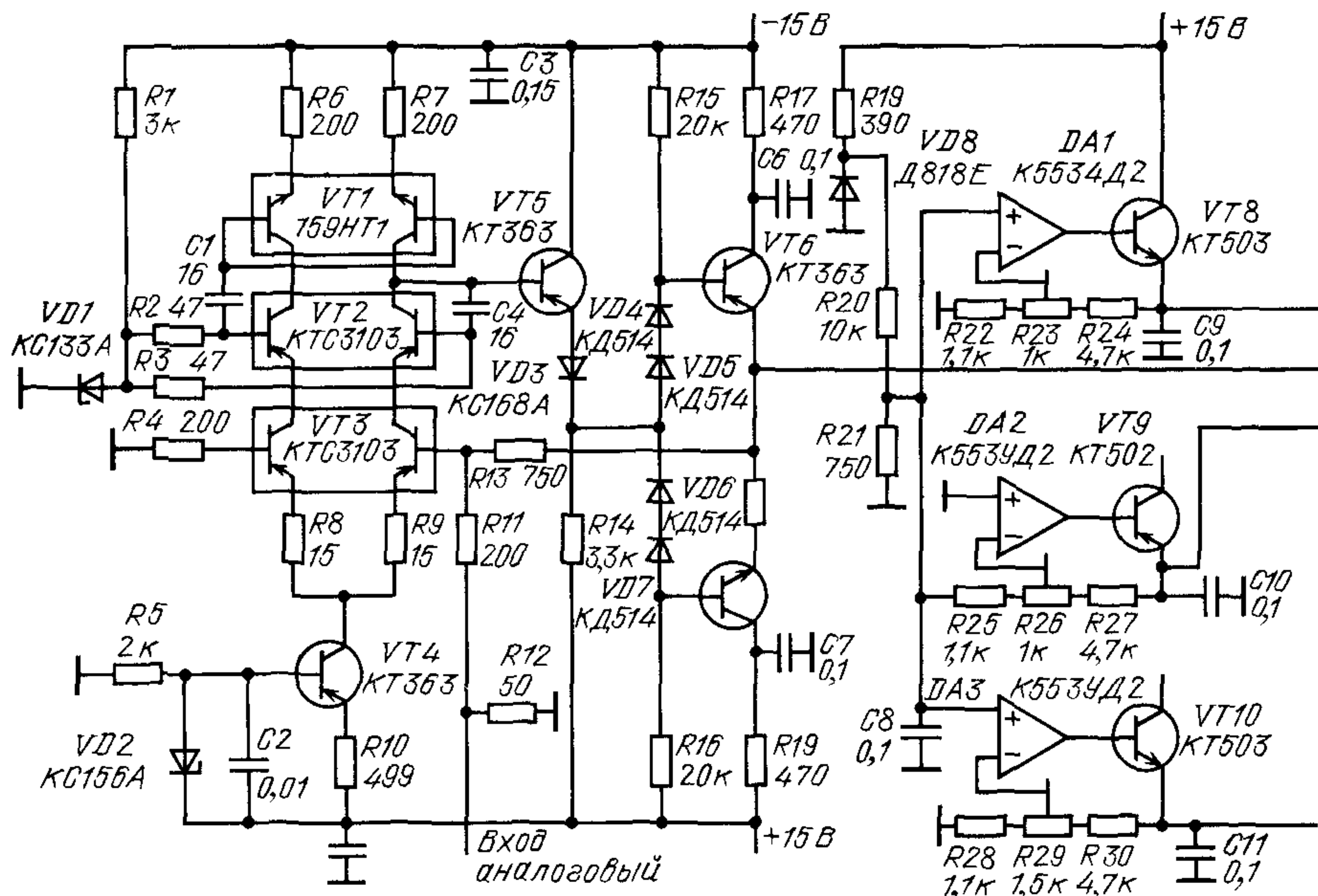


Рис. 4.28. Схема включения ИС К1107ПВЗ (левая часть схемы)

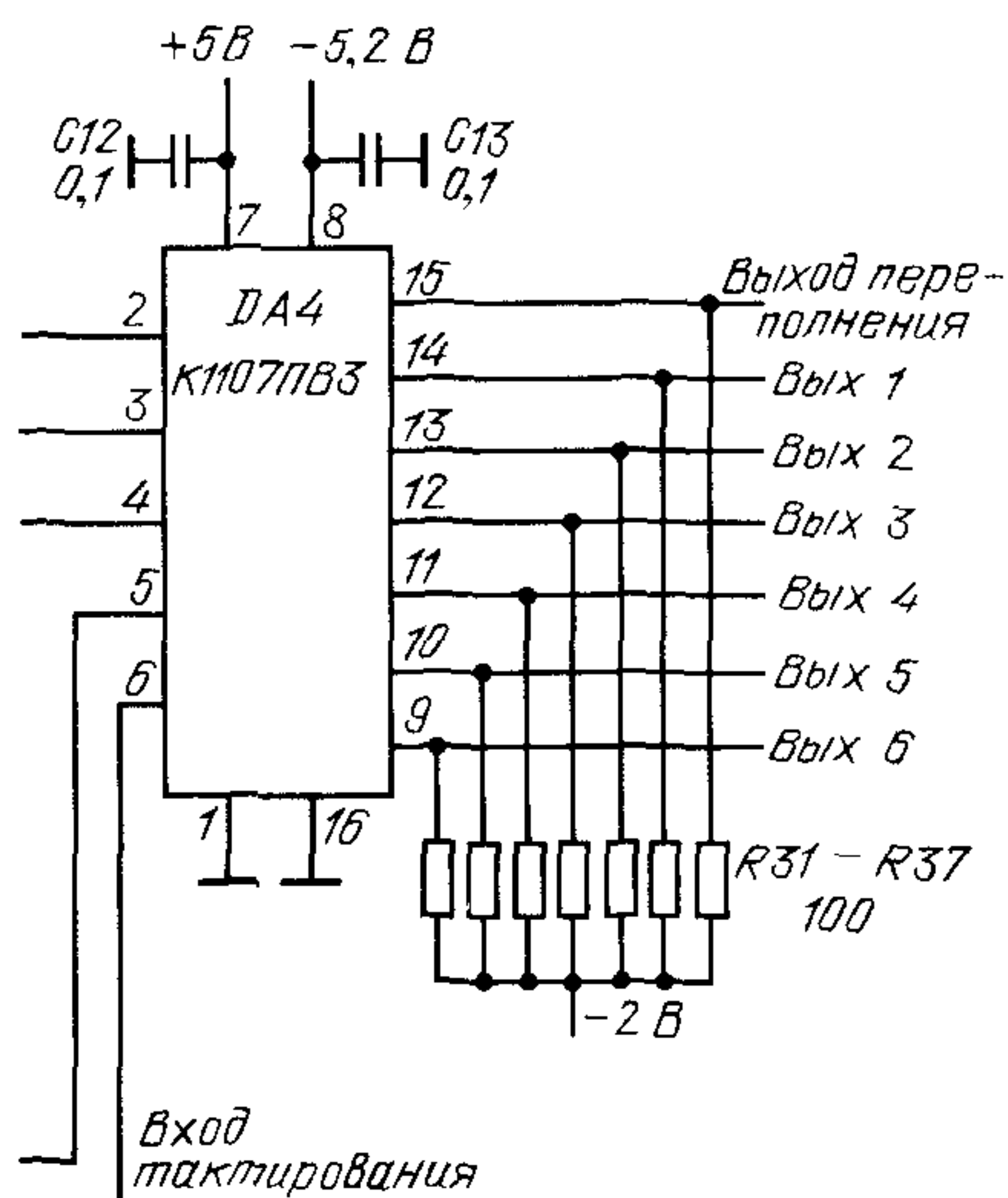


Рис. 4.28. (правая часть схемы)

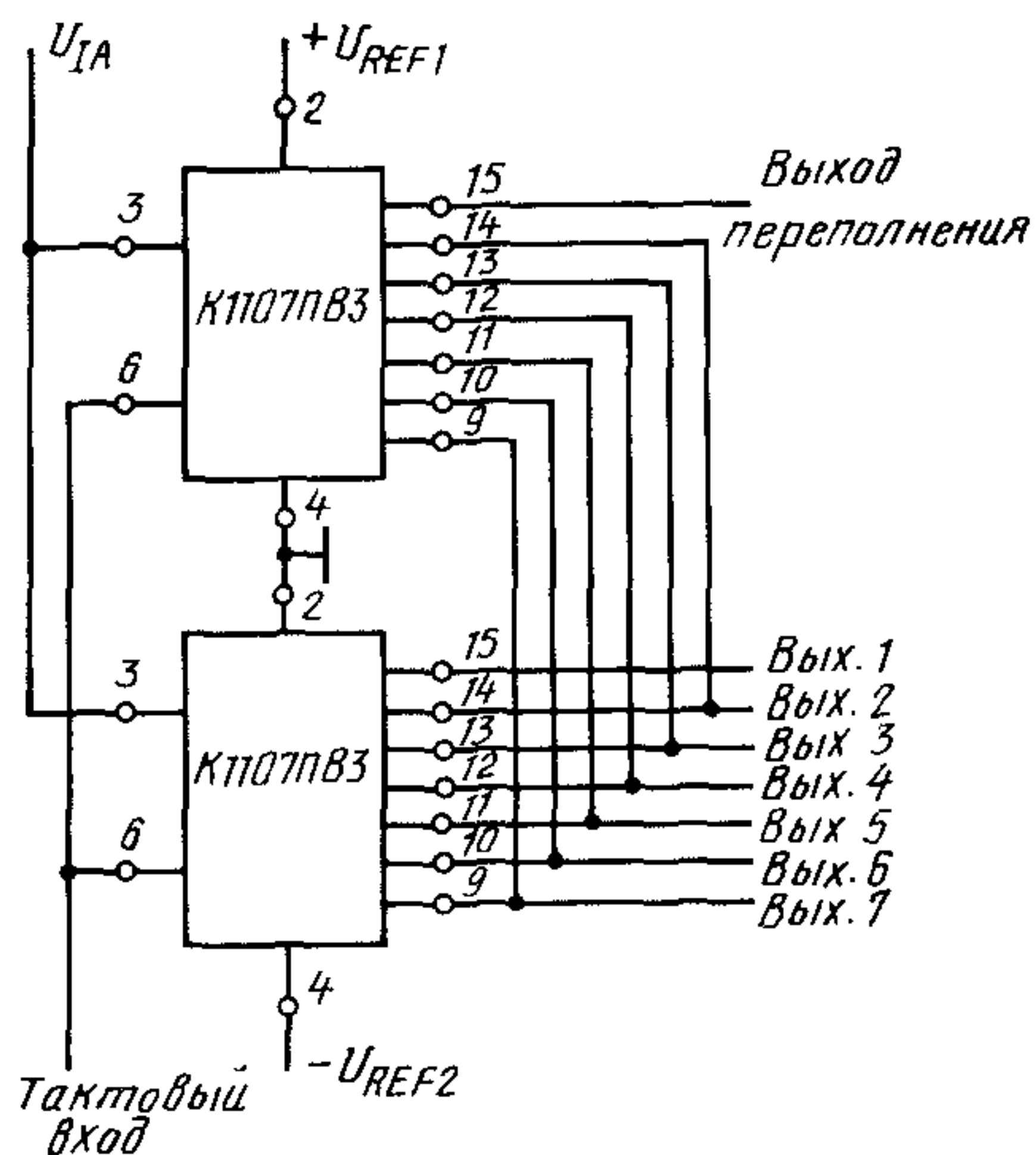


Рис. 4.29. Схема включения ИС К1107ПВЗ для увеличения разрядности до семи (резисторы нагрузки цифровых выходов не показаны)

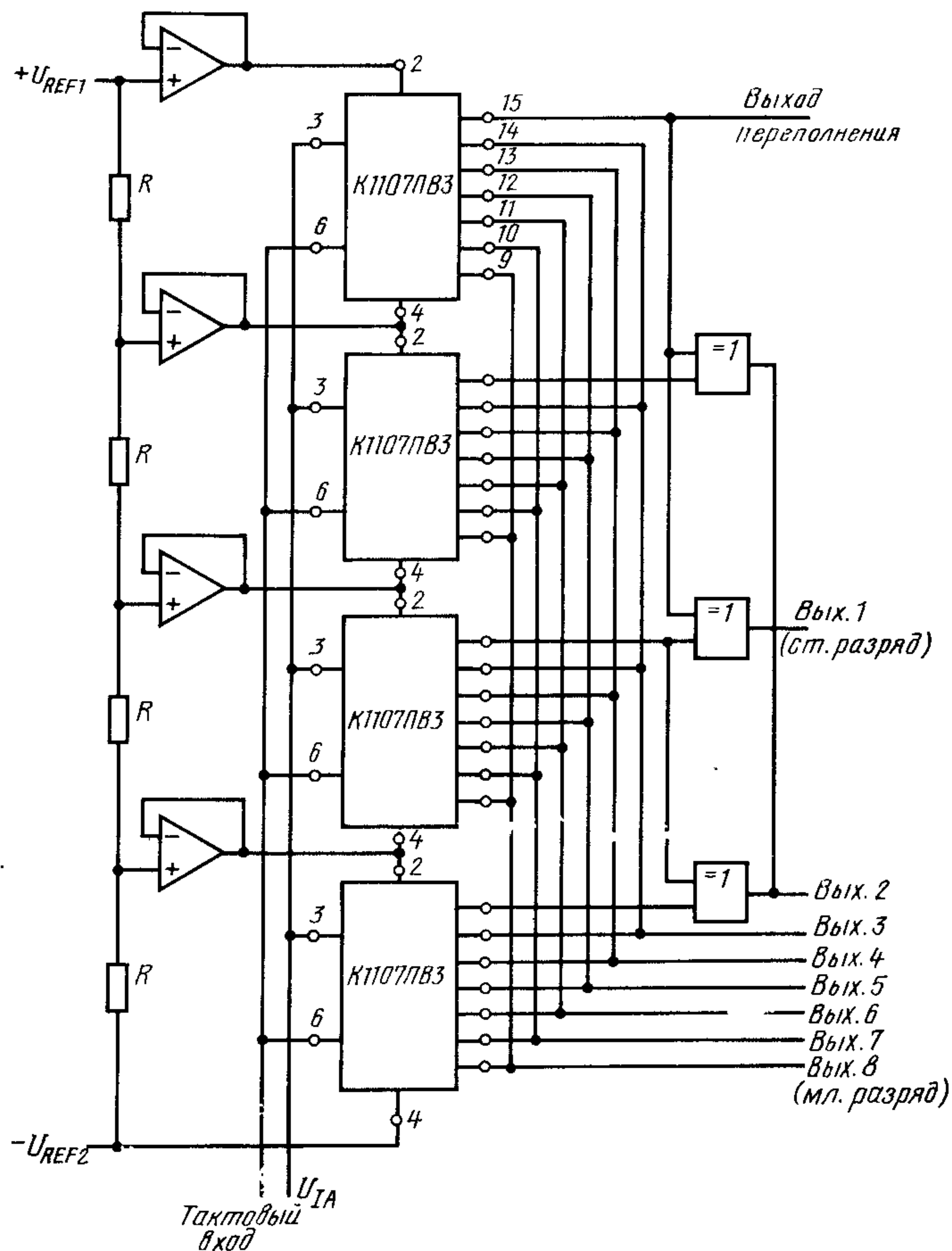


Рис. 4.30. Схема включения четырех ИС К1107ПВЗ для увеличения разрядности до восьми (резисторы нагрузки цифровых выходов не показаны)

при проектировании плат с АЦП требуется предусмотреть отдельные шины «цифровая» земля и «аналоговая» земля с соединением их на зажимах источников питания;

цифровые выходы микросхем нагружаются резисторами 100 Ом, подключенными к источнику напряжения — 2 В;

выходное сопротивление источника аналогового сигнала должно быть не более 25 Ом;

съем информации с микросхемы должен проводиться согласно временной диаграмме работы АЦП (см. рис. 4.19);

отклонение опорных напряжений U_{REF1} и U_{REF2} от номинальных величин вызывает появление дополнительных погрешностей, эквива-

лентных абсолютным погрешностям преобразования в конечных точках шкалы;

к выводам микросхемы «Питание U_{cc1} », «Питание U_{cc2} », «Опорное напряжение U_{REF1} », «Опорное напряжение U_{REF2} » и «Напряжение контроля напряжения гистерезиса U_H » необходимо подключением конденсаторов емкостью 0,1 мкФ (см. рис. 4.28);

вывод 5 микросхемы применяется для управления напряжением гистерезиса компараторов АЦП подачей внешнего постоянного напряжения 0...2 В. Возможна работа микросхемы и без внешнего напряжения. Управление напряжением гистерезиса рекомендуется при использовании микросхемы на высокой частоте для повышения стабильности работы АЦП.