

Глава 3

АЦП

3.1. АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ¹

3.1.1. МИКРОСХЕМЫ АЦП К572ПВ1 И КР572ПВ1

Полупроводниковые БИС 12-разрядного микромощного АЦП типа К572ПВ1 (А, Б, В) и КР572ПВ1 (А, Б, В) являются универсальными многофункциональными узлами для устройств аналогового ввода-вывода МП систем низкого и среднего быстродействия. Совместно с внешними КН или ОУ, ИОН, ГТИ микросхемы выполняют функции АЦП последовательных приближений с выводом параллельного двоичного кода через выходные каскады с тремя состояниями, а также умножающего ЦАП с параллельным и последовательным вводом информации.

Конструктивно БИС выполнены в двух вариантах герметичных корпусов: плоском металлокерамическом типа 4134.48-2 (К572ПВ1) и пластмассовом с двухрядным вертикальным расположением выводов типа 2123.40-2 (КР572ПВ1).

В состав БИС входят устройства для организации байтового обмена информацией с 8-разрядной шиной данных МП. В режиме АЦП существует возможность организации синхронной и циклической работы, произвольного уменьшения числа разрядов и вывода данных в последовательном коде. Изменение режимов работы производится коммутацией небольшого числа внешних выводов или программным путем с применением нескольких дополнительных ЦИС.

¹ Функционально завершенные АЦП в этом параграфе не рассматриваются.

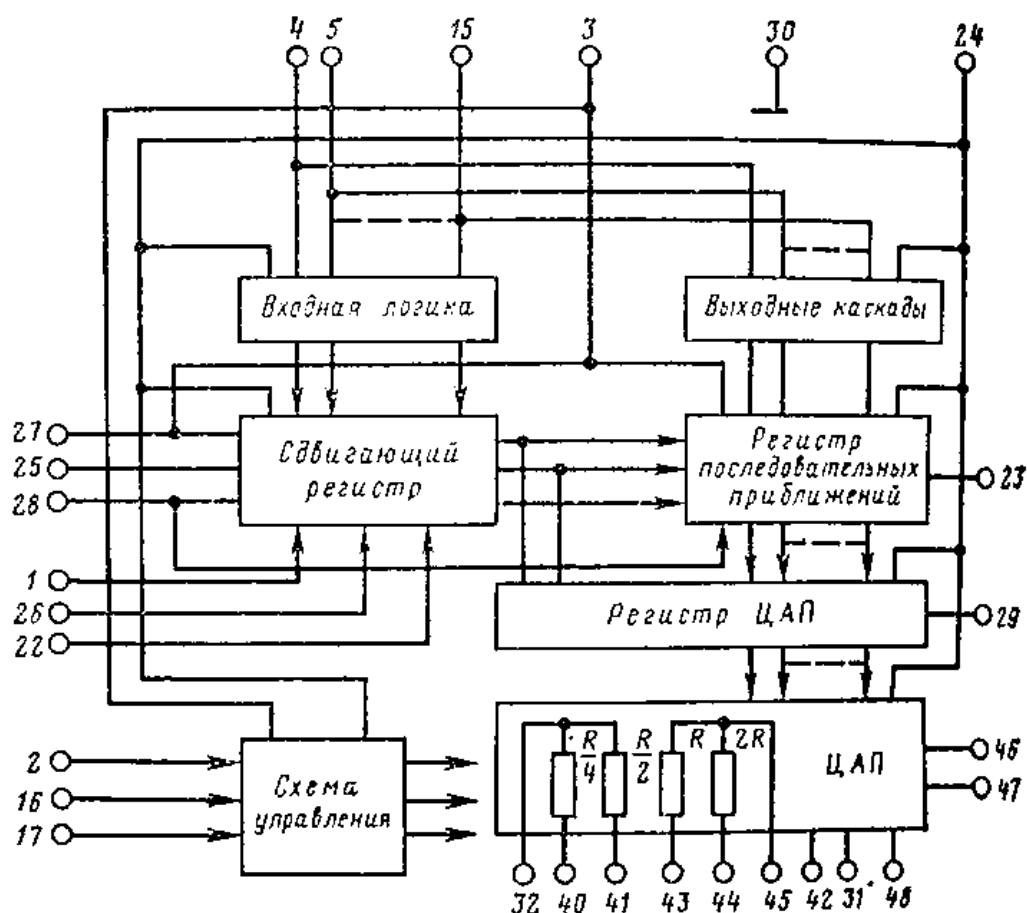


Рис. 3.1. Функциональная электрическая схема БИС АЦП К572PB1

Функциональная электрическая схема АЦП изображена на рис. 3.1.

Аналоговая часть БИС включает ЦАП и две группы прецизионных резисторов. По схмотехническому решению и топологии ЦАП подобен ИС К572ПА1, но отличается увеличенным числом КМОП ключей и звеньев $R-2R$ РМ, наличием схемы компенсации температурной нестабильности сопротивления аналоговых ключей. Две группы прецизионных резисторов предназначены для образования совместно с внешним ОУ или КН завершенных схем АЦП и ЦАП. Размещение резисторов на кристалле и топологическая их идентичность резисторам РМ обеспечивают стабильность параметров преобразователя.

Цифровая часть БИС включает необходимые для построения АЦП последовательного приближения логические узлы, а также дополнительные устройства для работы в режиме ЦАП.

Классификация АЦП по группам производится по таким параметрам, как нелинейность δ_L и дифференциальная нелинейность δ_{LD} .

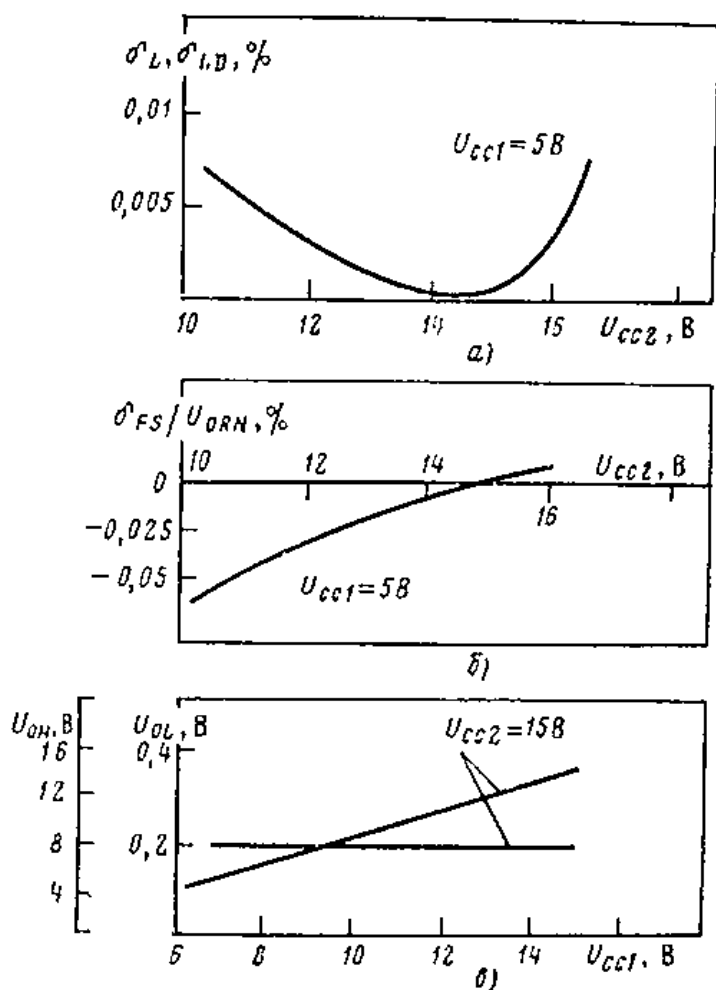


Рис. 3.2. Типовые зависимости нелинейности и дифференциальной нелинейности (а), абсолютной погрешности преобразования в конечной точке шкалы, приведенной к диапазону выходного аналогового сигнала в режиме ЦАП (б), выходных напряжений высокого и низкого уровней БИС К572ПВ1 (в) от напряжений источника питания

Основные электрические параметры микросхем при температуре окружающей среды $25 \pm 10^\circ\text{C}$

	Не менее	Не более
Число разрядов b	12	—
Нелинейность δ_L :		
К572ПВ1А	-0,05	0,05
К572ПВ1Б	-0,1	0,1
К572ПВ1В	-0,2	0,2
Дифференциальная нелинейность δ_{LD} , %:		
К572ПВ1А	-0,1	0,1
К572ПВ1Б	-0,2	0,2
К572ПВ1В	-0,4	0,4
Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы δ_{FS} , МР	-127	127
Выходное напряжение низкого уровня U_{0L} , В	—	0,3

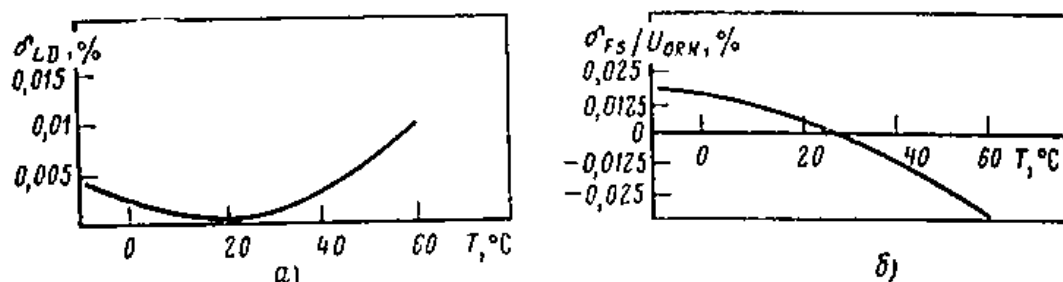


Рис. 3.3. Типовые зависимости дифференциальной нелинейности (а) и абсолютной погрешности преобразования в конечной точке шкалы, приведенной к диапазону выходного аналогового сигнала, в режиме ЦАП (б) БИС К572ПВ1 от температуры окружающей среды

Выходное напряжение высокого уровня		
$U_{он}, В$	2,4	—
Ток потребления $I_{cc1}, мА$	5	3
Ток потребления $I_{cc2}, мА$	5	—

Типовые зависимости параметров от напряжений питания и температуры окружающей среды приведены на рис. 3.2 и 3.3. Типовое значение выходного тока при $U_{REF}=10 В$ составляет 1 мА, а для выходного тока смещения нуля 50 мА. Входной ток управления не превышает 1 мкА. Нормальное функционирование БИС обеспечивается при тактовой частоте до 250 кГц.

Нумерация и назначение выводов (для КР572ПВ1 в скобках): 1 — последовательный вход; 2 — вход управления СР; 3 — напряжение питания U_{cc1} ; 4—15 — цифровой вход — выход (от СР к МР); 16 — вход управления МР; 17 — вход управления режимом; 22(18) — выход Цикл; 23(19) — вход сравнения; 24(20) — напряжение питания U_{cc2} ; 25(21) — вход ТИ; 26(22) — выход *Конец преобразования*; 27(23) — вход *Запуск*; 28(34) — вход *Цикл*; 29(26) — вход стробирования ЦАП; 30(27) — цифровая земля; 31(28) — конечный вывод РМ $R-2R$; 32(29) — общий вывод резисторов $R/2, R/4$; 40(31) — вывод резистора $R/4$; 41(32) — вывод резистора $R/2$; 42(33) — опорное напряжение U_{REF} ; 43(24) — аналоговый вход 1; 44(35) — аналоговый вход 2; 45(37) — общий вывод резисторов аналоговых входов 1 и 2; 46(38) — аналоговый выход 1; 47(39) — аналоговый выход 2; 48(40) — аналоговая земля; 18—21, 33—39 (25, 30, 36) — незадействованные выводы.

Преобразователь работает от двух источников питания $U_{cc1} = (5 \div 15) В \pm 5 \%$ и $U_{cc2} = 15. В \pm 5 \%$. При согласовании микросхемы с ТТЛ схемами напряжение питания U_{cc1} устанавливают $5 В \pm 5 \%$, а при согласовании с КМОП схе-

мами $15 \text{ В} \pm 5 \%$. При любом $U_{сст}$ напряжение высокого уровня на входе сравнения не должно быть менее 10 В.

Предельно допустимые и предельные значения электрических режимов эксплуатации

	Предельно допустимые		Предельные	
	Не менее	Не более	Не менее	Не более
Опорное напряжение U_{REF} , В	-10,29	10,29	-15	15
Входное напряжение высокого уровня U_{IH} , В	-2,4	5,25	2,4	17
Входное напряжение низкого уровня U_{IL} , В	0	0,4	0	0,4
Напряжение высокого уровня на входе сравнения и входе Цикл U_{INk} , В	10	15,75	10	17
Выходной ток высокого уровня I_{OH} , мА	—	0,04	—	0,04; 1*
Входной ток низкого уровня I_{OL} , мА	—	0,4	—	0,4; 3*

При соблюдении условия $t_{Т.н} = 0,1 \text{ мс}$ (в импульсном режиме).

При работе с микросхемой необходимо соблюдать правила подачи электрических режимов, постановки на плату и меры защиты, рекомендованные для микросхем К572ПА1 и К572ПА2.

Работа БИС в режиме АЦП проходит в соответствии с хорошо известным принципом последовательного приближения с программируемым сдвигом. Временная диаграмма АЦП приведена на рис. 3.4. Преобразование осуществляется за 12 рабочих тактов, каждый из которых по длительности равен двум импульсам ГТИ. Вспомогательный такт используется для формирования сигнала *Конец преобразования*. По этому сигналу происходит считывание цифровой информации.

В циклическом режиме работы за период считывания следует период возврата АЦП в исходное состояние (сброса) по сигналу с вывода 22 (*Цикл*).

Типовые схемы включения микросхемы К572ПВ1 в режиме 12-разрядного АЦП приведены на рис. 3.5 и 3.6. В АЦП по схеме рис. 3.5 между выходом ЦАП и входом КН А2 применен буферный ОУ А1 для достижения максимальной точности и стабильности статических параметров преобразования. В АЦП на схеме рис. 3.6 КН работает в режиме сравнения токов, что позволяет достичь максимального быстродействия. Типовое время преобразования

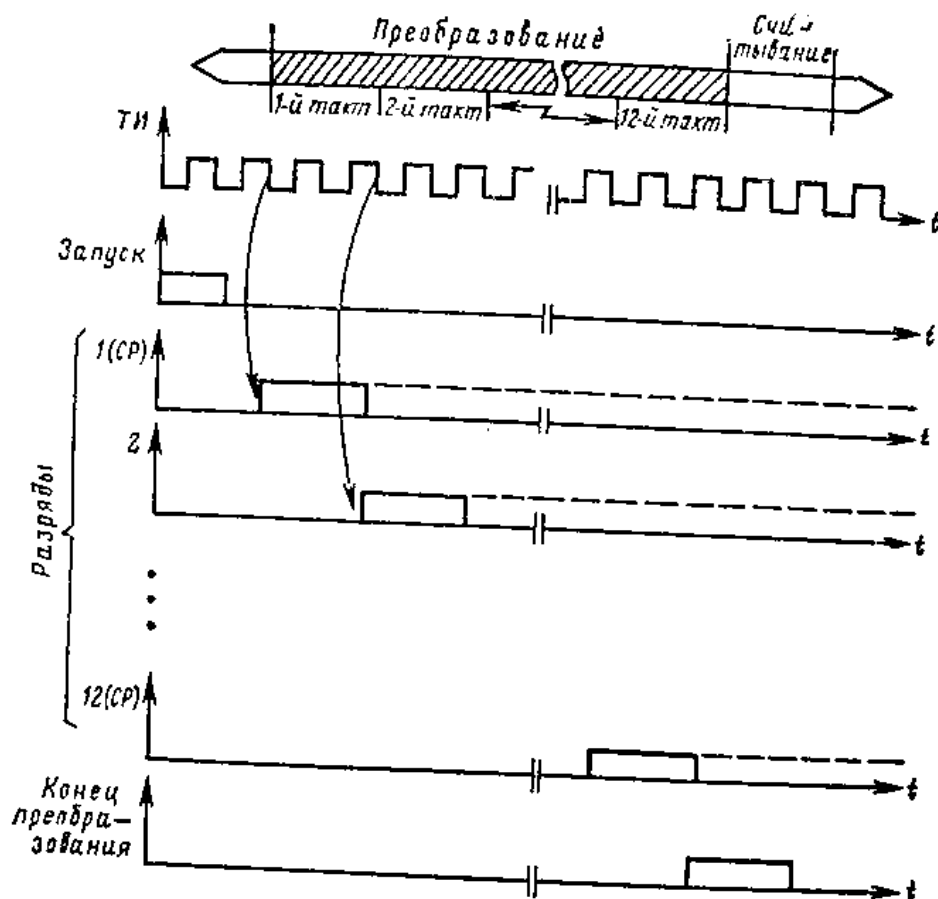


Рис. 3.4. Временная диаграмма работы БИС К572ПВ1 в режиме АЦП

составляет 110 мкс. Включение резисторов $R/2$ или $2R$ в цепь обратной связи ОУ (для схемы на рис. 3.5) или на входе компаратора А (для схемы на рис. 3.6) обеспечивает изменение U_{IRN} от $0,5$ до $2 U_{REF}$ соответственно. Полярность диапазона входного напряжения может быть любой и устанавливается выбором полярности U_{REF} .

Число разрядов преобразования может быть уменьшено до произвольного путем подачи на вход 27 повторного сигнала *Запуск* по окончании $(n+1)$ -го такта. Соединение выводов 22 и 28 переводит схему из синхронного режима работы в циклический, при этом на вход 27 подается логический 0.

Работа БИС в режиме ЦАП возможна в нескольких вариантах. Типовая схема включения в режиме ЦАП с параллельным вводом информации приведена на рис. 3.7. С поступлением на вывод 17 логической 1 сдвигающий регистр переводится в режим буферного регистра. Запись информации в буферный регистр и регистр ЦАП производится подачей на вывод 25 сдвоенного импульса при наличии логи-

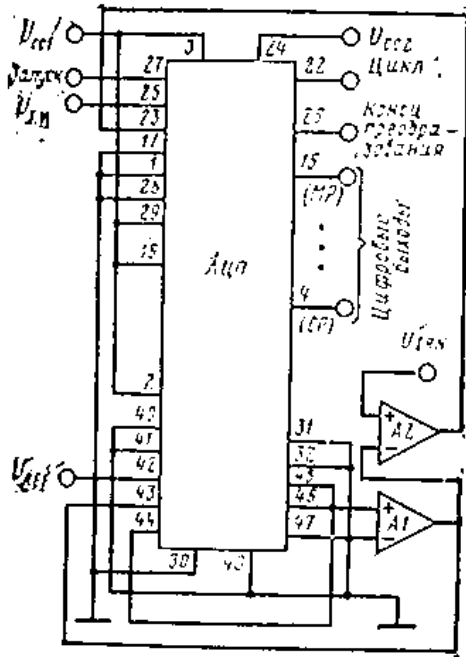


Рис. 3.5. Типовая схема включения БИС К572ПВ1 в режиме АЦП (А1 — ИС ОУ типов К574УД1, К544УД1, К140УД14; А2 — ИС КН типа К521СА3)

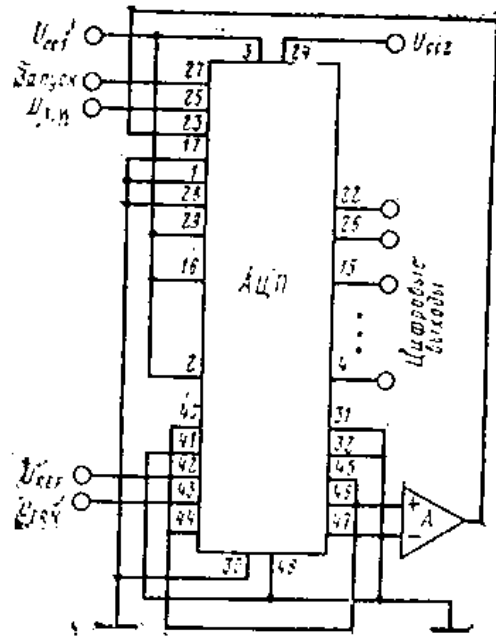


Рис. 3.6. Типовая схема включения БИС К572ПВ1 в режиме АЦП (А — ИС КН типа К521СА3)

ческого 0 на выводе 27. Минимальная длительность пары тактовых импульсов 5 мкс. Стирание информации в регистре последовательных приближений осуществляется подачей на вывод 27 логической 1, а ее запоминание в режиме ЦАП происходит при поступлении такого же сигнала на вывод 29.

Для ввода данных в последовательном коде соответствующий 12-разрядный код подается на вход 1, начиная с МР, синхронно с парами тактовых импульсов.

Типовые значения ряда дополнительных электрических параметров БИС К572ПВ1 таковы: выходной ток по аналоговому выходу $I_O = 1$ мА (при $U_{REF} = 10$ В и коде 11...11); входной ток по выводам управления $I_I = 1$ мкА; температурный коэффициент нелинейности в режиме ЦАП $\alpha_{DL} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; температурный коэффициент дифференциальной нелинейности $\alpha_{LD} = 1 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; температурный коэффициент абсолютной погрешности преобразования в конечной точке шкалы в режиме ЦАП $\alpha_{FS} = 5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С.

В табл. 3.1 приведена информация о порядке управления БИС К572ПВ1 при работе в различных режимах.

Наличие специальных резисторов 0,25R, 0,5R и 2R в БИС К572ПВ1 и возможность работы как в режиме АЦП, так

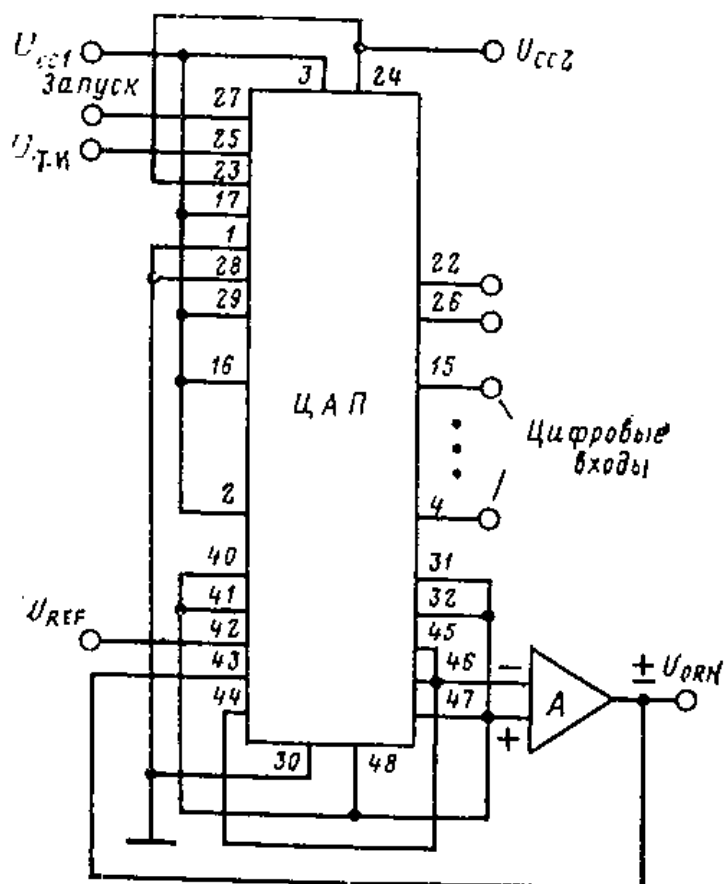


Рис. 3.7. Типовая схема включения БИС К572ПВ1 в режиме ЦАП А — ИС ОУ типов К574УД1, К544УД2, К140УД14)

Таблица 3.1. Управление режимами работы БИС АЦП К572ПВ1

Режим работы	Информационные цифровые выходы	Сигналы на входах управления			Вход стробирования ЦАП
		CP	MP	PG	
АЦП	1—12	1	1	0	1
	1—4	1	0	0	1
	5—12	0	1	0	1
	Разомкнутые	0	0	0	1
ЦАП	1—12	1	1	1	1
	1—4	0	1	1	1
	5—12	1	0	1	1
Хранение в регистре ЦАП	—	—	—	—	0

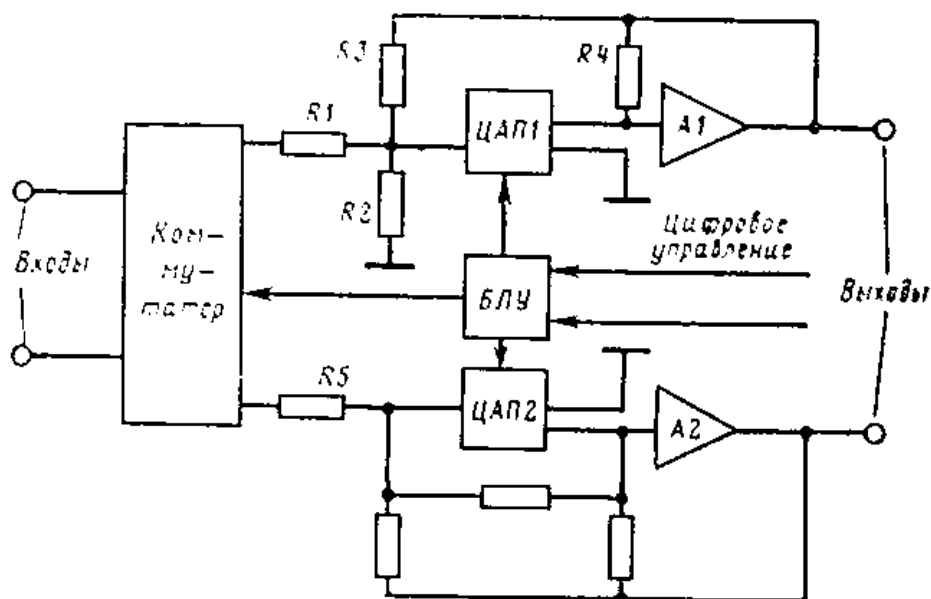


Рис. 3.8. Функциональная электрическая схема устройства для преобразования сигнала СКВТ на БИС К572ПВ1, работающих в режиме ЦАП

и умножающего ЦАП делает ее удобным элементом для построения электронной части преобразователей угол — код, синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (СКВТ) и т. п.

На рис. 3.8 показана функциональная электрическая схема устройства для преобразования сигнала СКВТ [55], в котором эффективно используются две БИС К572ПВ1, каждая из которых работает в режиме (ЦАП1, ЦАП2) совместно с ИС ОУ типов К574УД1, Д544УД1, 140УД14, К544УД2 и др. (А1, А2).

Устройство имеет два входа для подключения к СКВТ датчика или источника U_{REF} переменного тока с постоянной амплитудой. Аналоговая информация снимается с двух выходов ОУ и может быть подана на СКВТ приемник или схему сравнения напряжений.

С помощью электронных узлов на БИС К572ПВ1 реализуется зависимость

$$\theta(5,603 - \theta)(3,603 + \theta)(2 - \theta) \approx \lg n0/4,$$

где θ — относительная величина, принимающая значение в пределах от 0 до 1, пропорциональное углу от 0 до 45°.

Сопротивления используемых в устройстве резисторов связаны общим масштабным сопротивлением R : $R_1 = R_4 = R$, $R_2 = R/\theta$, $R_3 = R/(2 - \theta)$, $R_5 = 1,110186R$ (для узла ЦАП1, А1 $R_2 = R/(2 - \theta)$ и $R_3 = R/\theta$). В этом случае выход-

ное напряжение на ОУ А2 пропорционально величине $(2 - \theta)/(5,603 - \theta)$.

Устройство работает в двух режимах. В первом на его входы поступают синусно-косинусные напряжения от СКВТ датчика, а к выходам подключена внешняя схема сравнения. Цифровой выход этой схемы соединяется со входом блока логического управления БЛУ. В таком включении устройство реализует функцию преобразования угол — код в диапазоне $0 - 45^\circ$. Тогда

$$\theta = -U \sin \alpha [(2 - \theta)/(5,603 - \theta)] + U \cos \alpha [\theta/(3,603 + \theta)],$$

или

$$\theta = -U \cos \alpha [(2 - \theta)/(5,603 - \theta)] + U \sin \alpha [\theta/(3,603 + \theta)].$$

Во втором режиме на входы устройства поступает переменное напряжение U_{REF} , а к выходам подключены синусно-косинусные обмотки СКВТ приемника следящей системы. На БЛУ подается цифровая информация от ЭВМ. В таком включении устройство выполняет преобразование код — угол в диапазоне $0 - 45^\circ$ по зависимости

$$\operatorname{tg}(\pi\theta/4) = U\theta(5,603 - \theta)/U(3,603 + \theta)(2 - \theta)$$

или обратной для получения $\operatorname{ctg}(\pi\theta/4)$.

Таким образом, описанное устройство на основе БИС К572ПВ1 может быть применено в схемах преобразования угла поворота СКВТ в код и обратно.

Один из методов построения функциональных АЦП управляющих систем также предполагает использование отношения синусно-косинусных напряжений, зависящих от текущего значения цифрового эквивалента угла поворота. Например, формирование дробно-линейных зависимостей вида $\theta/(K + \theta)$ и $(1 - \theta)/(K + 1 - \theta)$, где K — некоторый коэффициент, осуществляется с помощью именно таких функциональных преобразователей. Вопросы их построения на основе БИС К572ПВ1 рассмотрены в [56].

В схеме на рис. 3.9 сопротивления резисторов связаны общим сопротивлением R , как и в предыдущем примере. Через выход 1 ЦАП протекает ток I_1 , значение которого пропорционально значению цифрового кода, а через выход 2 — ток I_2 , пропорциональный дополнению кода до единицы. При таком включении ЦАП его сопротивление, приведенное к аналоговому выходу, может быть представлено как R/θ или $R/(1 - \theta)$, что позволяет реализовать необходимую зависимость.

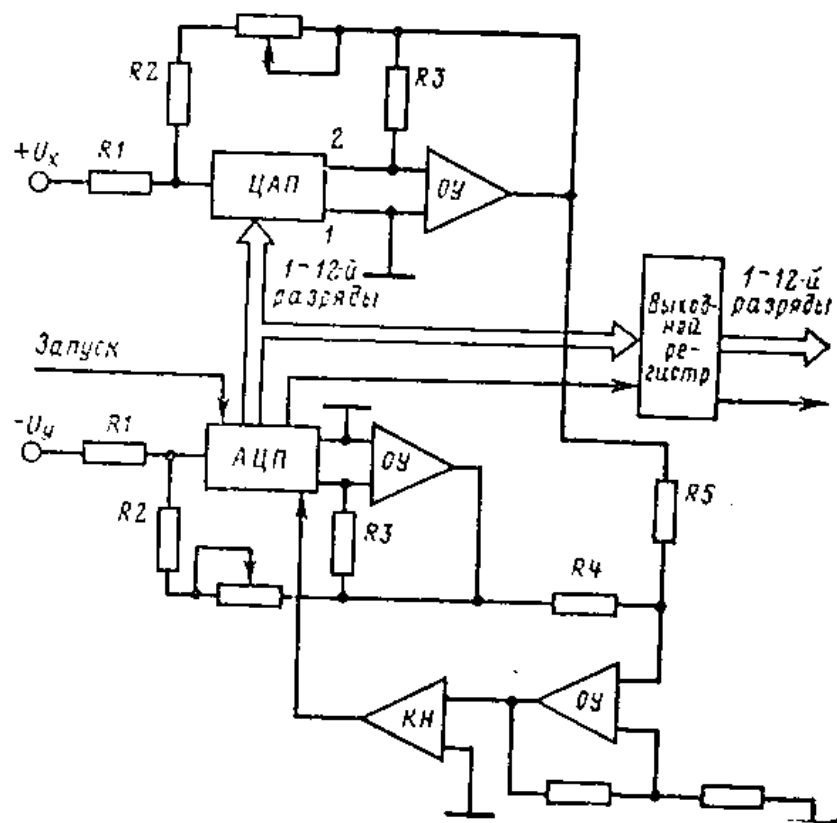


Рис. 39. Функциональная электрическая схема преобразователя дробно-линейных зависимостей на БИС К572ПВ1

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к аппаратуре для бурения глубоких скважин, являются температурная стабильность, малые мощность потребления, масса и размеры. Ее основным узлом считается преобразователь синфазной составляющей (ПСС) вектора переменного напряжения в код (рис. 3.10) [57]. Переменные напряжения U_x , синфазные с U_{REF} (током I_{REF}) и являющиеся составляющими напряжений датчика U_d , несут информацию о сопротивлении и угле наклона скважины.

Основу ПСС составляет БИС К572ПВ1, с помощью которой реализуется принцип импульсного фазочувствительного детектирования. Суть принципа заключается в уравнении мгновенного значения напряжения на выходе датчика электродов U_d со значением синфазной составляющей U_x в момент прохождения квадратурной составляющей U_y через нуль.

Тактовые импульсы подаются на вход 25 БИС К572ПВ1 с выхода интегратора на А1-1 и А1-2 (ОУ на ИС К14ОУД20). Срезы ТН совпадают с переходом составляющей U_y через нуль. Преобразование в ПСС начинается с по-

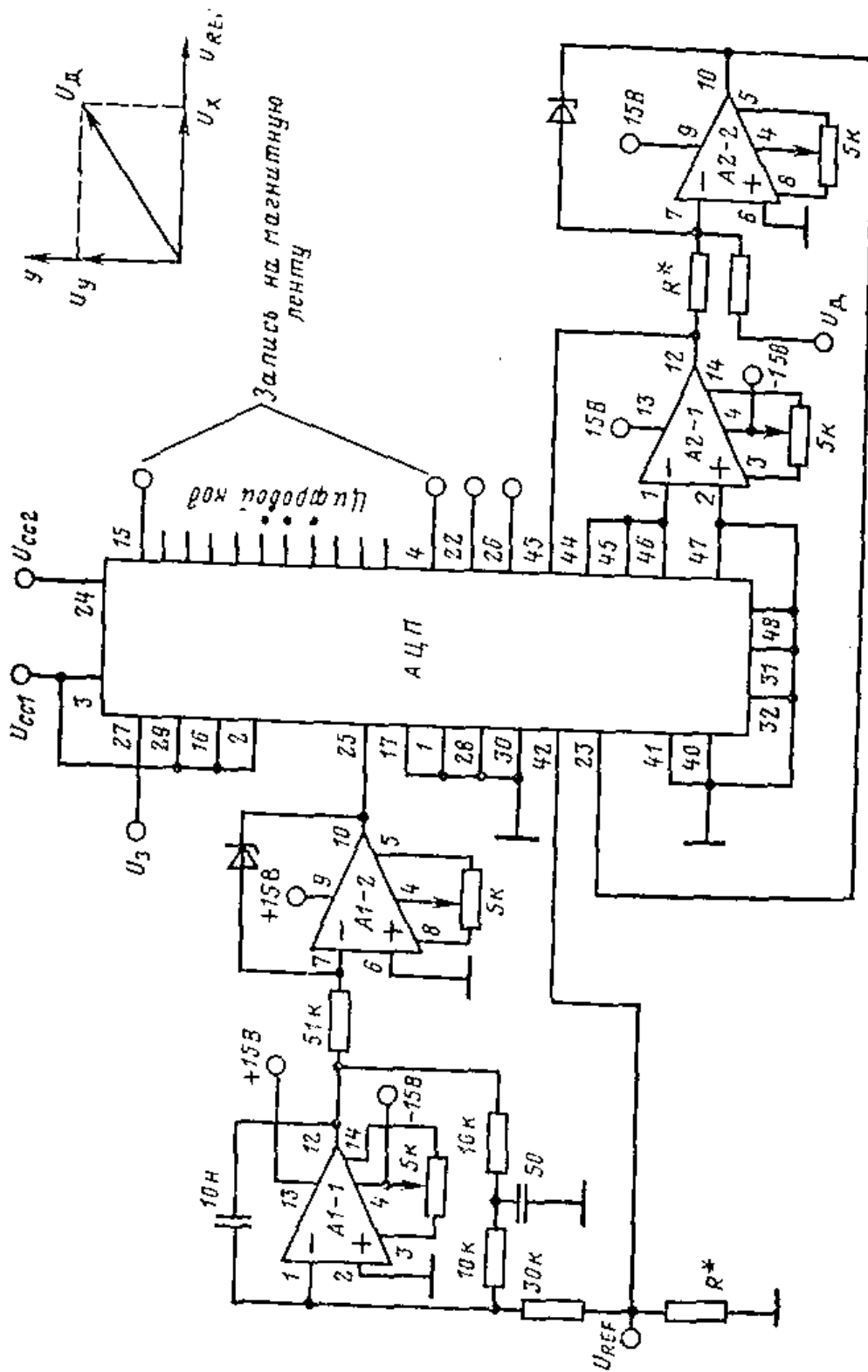


Рис. 3.10. Принципиальная электрическая схема электронной части преобразователя синфазной составляющей

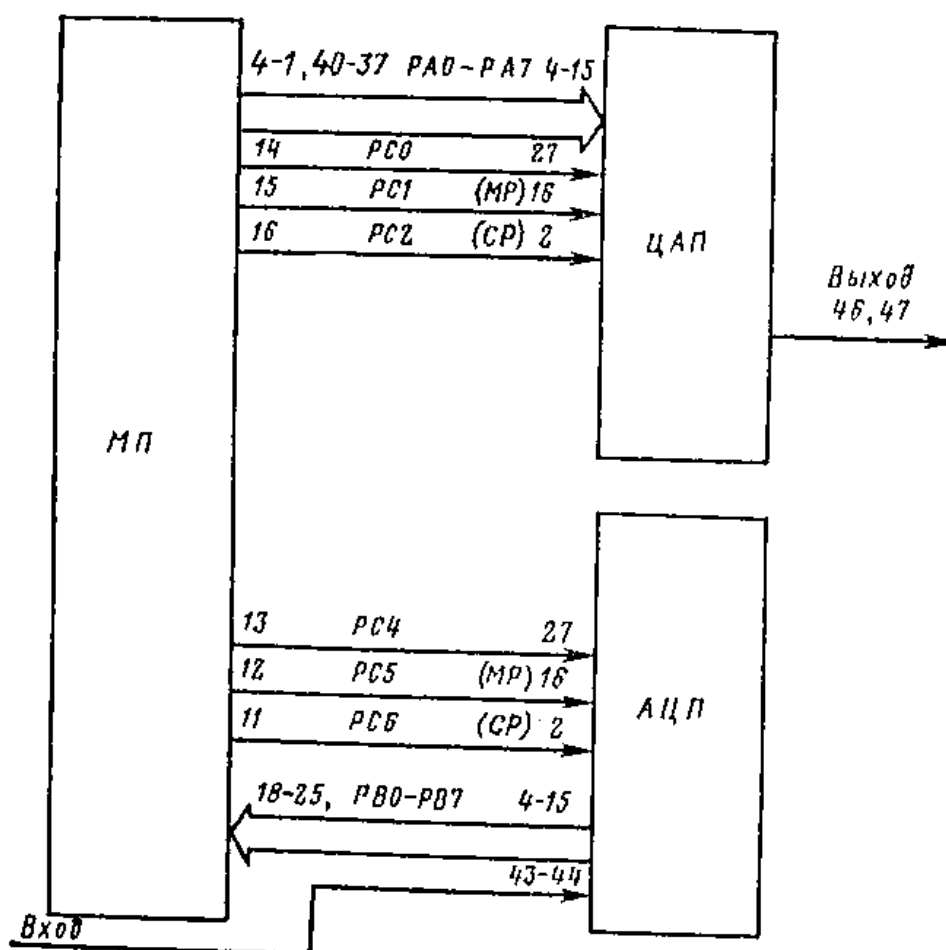


Рис. 3.12. Схема подключения БИС К572ПВ1 в режимах АЦП и ЦАП к МП БИС КР580ИК55

В первом случае управление режимом работы АЦП осуществляется подачей на вывод 17 соответствующего сигнала от МП. Запуск БИС в режиме АЦП производится подачей от МП в регистр режима *РР* сигнала *Разрешение запуска*, а затем через схему управления *СУ* — на вывод 27 сигнала *Запуск* микросхемы. После прихода с вывода 26 АЦП сигнала *Конец преобразования* МП считывает 8-разрядное слово, содержащее младшие информационные разряды преобразователя, путем подачи через дешифратор команд *ДШК* и схему управления *СУ* сигнала *Чтение* на вывод 16 АЦП *Вход управления МР*. Аналогично считывается 4-разрядное слово старших разрядов путем подачи МП-сигнала *Чтение* на вход 2 АЦП *Вход управления СР*. Командой МП *Чтение СР* одновременно осуществляется очередной запуск АЦП.

Запуск ЦАП производится по сигналам *Запись СР* и *Запись МР*, прошедшим через *ДШК* и *СУ*. Сигнал стробиро-

вания ЦАП поступает от PP на вывод 29 АЦП *Вход стробирования*.

На рис. 3.12 показано одновременное подключение микросхем К572ПВ1, работающих в режимах АЦП и ЦАП к МП КР580ИК55. Управление преобразователями в этом случае осуществляется через порт C ($PCO-PC2$ и $PC4-PC6$). Цифровая информация в ЦАП передается через порт A ($PA0-PA7$) и принимается от АЦП через порт B ($PB0-PB7$) БИС МП.

Точностные свойства и малая потребляемая мощность БИС АЦП К572ПВ1 позволяют использовать ее в сейсмической аппаратуре для цифровой обработки геофизических сигналов. Наличие управляющих входов облегчает организацию многоканальной обработки. Четырехканальный 13-разрядный АЦП на основе БИС К572ПВ1Б [58] обрабатывает сигналы сейсмоприемников амплитудой ± 9 В в диапазоне частот от 0 до 20 Гц. Частота опроса каждого из каналов составляет 100 Гц, 13-й разряд АЦП (знаковый) используется для определения полярности входного сигнала и выбора необходимого режима работы.

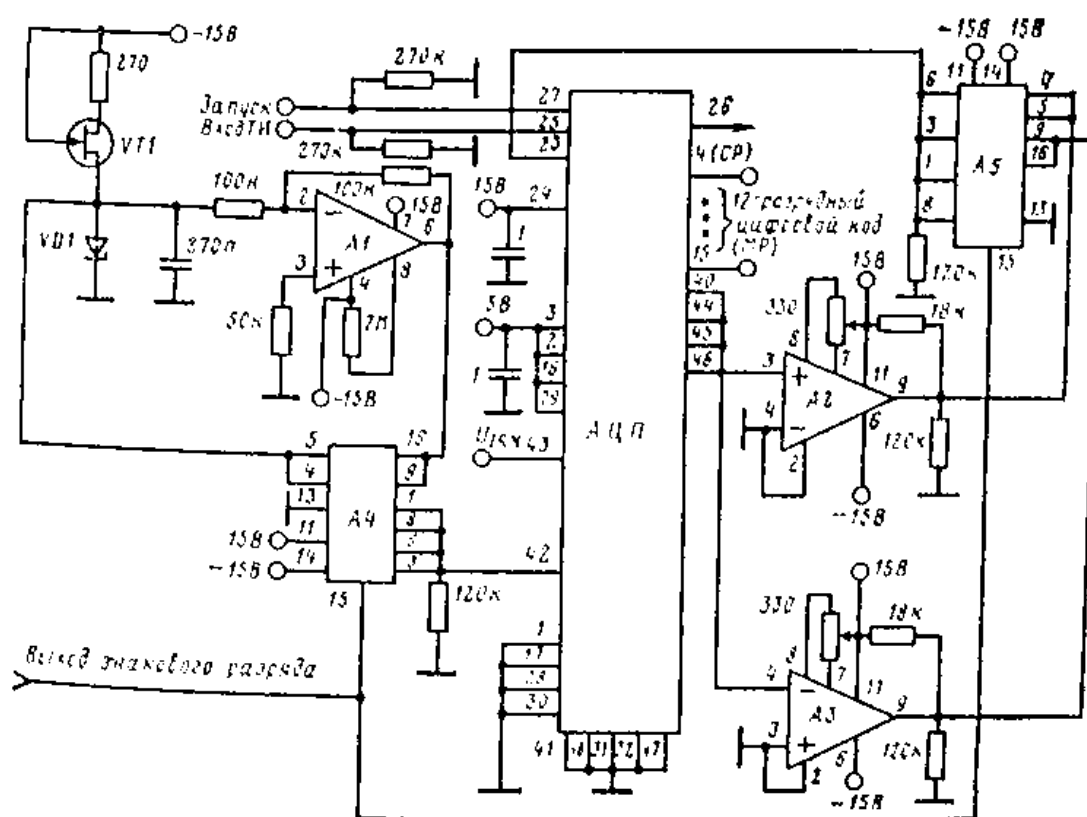


Рис. 3.13. Принципиальная электрическая схема узла АЦП на БИС К572ПВ1 для проведения многоканальной цифровой обработки сигналов

В состав устройства АЦП входят коммутатор каналов (четыре ИС КР590КН7), стробируемая схема определения знакового разряда (на триггере К561ТМ2 и двух ОУ К154УД1), переключаемый ИОН (на ИС ОУ К140УД12 и переключателе КР590КН7), БИС К572ПВ1Б со схемой переключения режимов КР590КН7, КН К554СА2, ЦИС управления серии К561.

На рис. 3.13 показана основная часть принципиальной схемы преобразователя, включающая БИС АЦП с ИОН на ОУ А1 и элементами переключения режимов А2—А5. Особенностью схемы является применение двух КН А2 и А3 с переключением выходного сигнала вместо одного КН с переключаемым входом. Этот схемотехнический прием позволяет в полной мере реализовать точностные характеристики БИС К572ПВ1 при работе с сигналами на уровне 10 мВ, несмотря на большое напряжение гистерезиса КН.

В узле ИОН АЦП, выполненном на А1 и А4, применены транзистор VT1 (КП302АМ) и стабилизатор VD1 (КС191Т).

3.1.2. МИКРОСХЕМА МИКРОМОЩНОГО 8-РАЗРЯДНОГО АЦП

Микросхема представляет собой сопрягаемый с МП АЦП последовательных приближений, выполненный по технологии КМОП. Конструктивно ИС размещена в керамическом герметичном 18-выводном корпусе с вертикальным расположением выводов.

Функциональная электрическая схема АЦП показана на рис. 3.14. Она построена таким образом, что АЦП обеспечивает основные условия сопряжения с МП, а именно:

длина цифрового слова (число разрядов) на выходе преобразователя соответствует длине слова базовых типов отечественных БИС МП;

управление его работой осуществляется непосредственно сигналами от МП с минимальными аппаратными и программными затратами;

временные характеристики АЦП хорошо совпадают с временными характеристиками большинства типов БИС МП;

цифровые выходы преобразователя допускают прямое подключение ко входным портам и шине данных МП.

По отношению к МП микросхема АЦП может использоваться как статическая память с произвольной выборкой, память со считыванием или медленная память.

Алгоритм преобразования АЦП реализуется с помощью