

5. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Широкое применение микро-ЭВМ находят в качестве контроллеров для управления различными объектами и процессами. Это позволяет повысить точность регулирования параметров, улучшить статические и динамические характеристики системы управления, усложнить реализуемые алгоритмы управления. Ниже рассмотрена микропроцессорная система позиционного электропривода постоянного тока /9/, основной задачей которой является регулирование угла поворота выходного вала двигателя рабочего органа механизма.

Структурная схема рассматриваемой системы приведена на рис.5.1. В ее состав входят специализированная микро-ЭВМ и тиристорный электропривод постоянного тока. Аналоговая часть системы управления содержит контуры регулирования тока и скорости. Внешний цифровой контур регулирования положения работает в режиме обработки управляющего воздействия. Система выполнена по принципу подчиненного регулирования, контурные коэффициенты усиления настроены по модульному оптимуму /10/.

Микро-ЭВМ выполняет функции цифрового задатчика положения (ЦЗП) и цифрового регулятора положения (РП). ЦЗП формирует сигнал желаемого закона φ^* обработки заданного перемещения φ_3^* , а также сигналы $\beta_1 T_m \omega^*$ и $\beta_2 T_m^2 \varepsilon^*$, пропорциональные желаемым законам изменения скорости ω^* и ускорения ε^* . Здесь β_1 и β_2 - коэффициенты корректирующих связей; T_m - малая некомпенсируемая постоянная времени контура регулирования тока (принята равной 0,005с).

В качестве желаемых приняты оптимальные по быстродействию законы изменения φ^* , ω^* и ε^* (рис.5.1). Звездочкой обозначены сигналы, связанные с реальными величинами соотношением

$$x^* = x / \Delta x$$

где Δx - интервал квантования по уровню координаты X .
Наличие корректирующих сигналов $\beta_1 T_m \omega^*$ и $\beta_2 T_m^2 \varepsilon^*$ позволяет осуществить принцип комбинированного управления по задающему воздействию и улучшить динамические свойства системы /9/.

Связь цифровых выходов микро-ЭВМ с аналоговыми входами регулятора скорости осуществляется через преобразователи код-аналог (ПКА), одновременно выполняющими функцию экстраплатсоров нулевого порядка с

фиксацией на период управления T и имеющими передаточную функцию

$$W_{\text{ПКА}} = K_{\text{ка}} \frac{1 - e^{-T\rho}}{\rho},$$

где $K_{\text{ка}}$ - коэффициент передачи ПКА.

Регулятор положения осуществляет линейный алгоритм преобразования. В простейшем случае РП производит сравнение заданного φ^* и реального значения регулируемой координаты $\varphi_{\text{ДП}}^*$, поступающего от датчика положения.

Датчик положения выполнен в виде реверсивного счетчика, осуществляющего подсчет импульсов, поступающих от импульсного датчика (ИД), установленного на валу двигателя (Д). В качестве ИД использован датчик типа ЦДЭ-3, имеющий 600 импульсов на один оборот вала двигателя.

В качестве датчика скорости применен тахогенератор (ТГ). Двигатель постоянного тока питается от управляемого тиристорного преобразователя.

Величина заданного перемещения φ_3^* поступает от вычислительной машины более высокого уровня, либо хранится в блоке памяти микро-ЭВМ, которая работает в следующей последовательности:

- а) вычисляет управляющее воздействие φ^* и коэффициенты корректирующих связей, на что ей требуется время $t_{\text{упр}}$;
- б) осуществляет спрос содержимого датчика положения;
- в) выполняет алгоритмы работы регулятора положения, на что затрачивается время $t_{\text{алг}}$;

г) выдает информацию, которая хранится в течение периода квантования T во входных регистрах ПКА.

Время на спрос и выдачу информации можно положить равным нулю, тогда наименьший период квантования по времени

$$T = t_{\text{упр}} + t_{\text{алг}}.$$

Интервал квантования по уровню ΔS (цена единицы младшего разряда датчика) определяется исходя из заданной точности работы системы

$$\Delta S = \frac{2\pi}{Z},$$

где Z - число импульсов, выдаваемых ИД за один оборот вала двигателя.

Постоянная интегрирования разомкнутого контура регулирования положения T_n выбрана из условия /9/:

$$T_n = 2 \cdot \left(4T_M + \frac{T}{2} \right).$$

Структурная схема системы позиционного электропривода

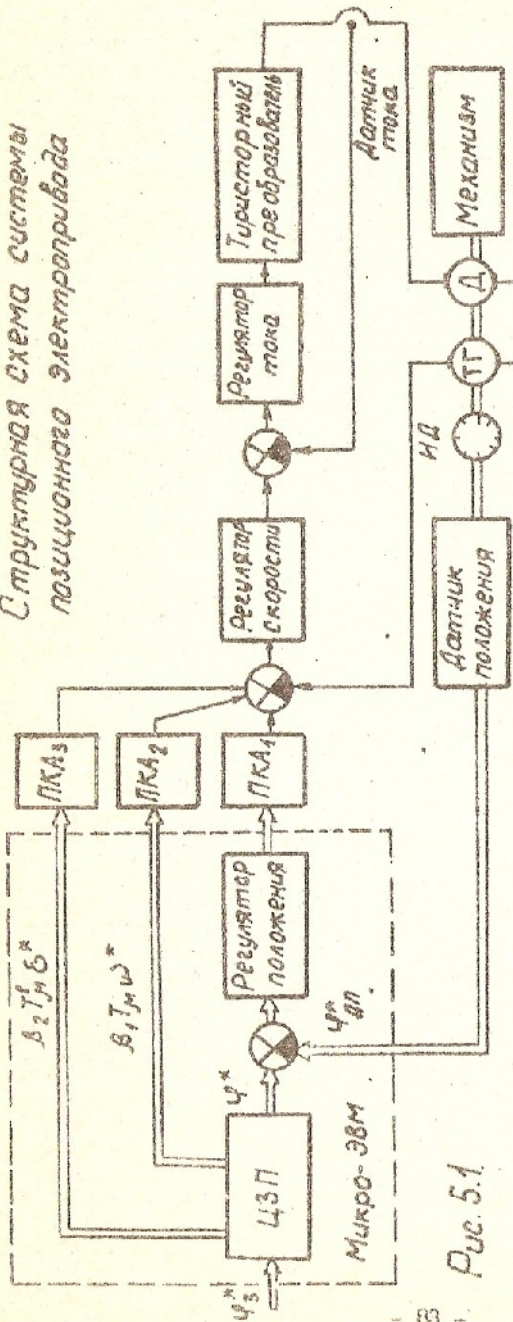
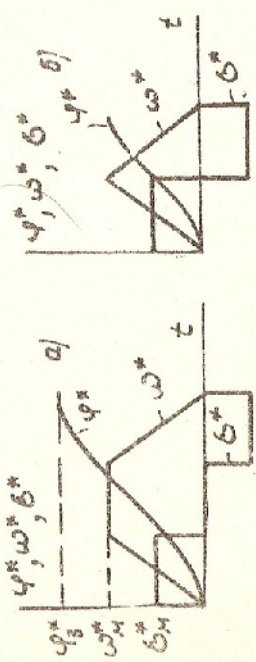


Рис. 5.1

Оптимальные по быстродействию законы изменения $\varphi^*(t)$, $\omega^*(t)$, $\beta^*(t)$; а - с участком установившейся скорости; б - без участка установившейся скорости.

Рис. 5.2



5.1. Состав и функциональное описание аппаратных средств микропроцессорной системы

Структура аппаратных средств микровычислителя для управления позиционным электроприводом приведена на рис.5.3. Процессор выполнен с конвейерной организацией. В его состав входят:

- операционный блок на 32 разряда;
- блок микропрограммного управления на базе БИС КБ891КО1;
- память микрокоманд с организацией 512×32 ;
- конвейерный регистр (КР) на 25 разрядов.

В состав операционного блока (ОБ) микровычислителя входят 16 микросхем ЦПЭ и 2 микросхемы СУП. Через ОБ происходит связь микровычислителя с преобразователями код-аналог и датчиком положения, которые непосредственно подключены к объекту управления. Выходные шины адреса А и данных D поступают в блок памяти микрокоманд и данных (ОП).

Управляющая память микрокоманд выполнена на 4 микросхемах типа К556РТ5, представляющих собой ПЗУ емкостью 4096 бит с организацией 512×8 . Запись микропрограммы в ПЗУ этого типа производится путем перегибания микромовых перемычек импульсом тока один раз за все время эксплуатации схемы.

Конвейерный регистр выполнен на базе микросхем К155ИР1, содержащих четыре D-триггера со срабатыванием по фронту. Наличие КР позволяет совместить выборку следующей микрокоманды с выполнением текущей и этим повысить быстродействие системы.

В управляющей памяти "зашифрованы" микропрограммы алгоритма управления. Каждая микропрограмма состоит из последовательности микрокоманд. Формат микрокоманды 32 разряда. На рис.5.4 показана разбивка слова микрокоманды на управляющие поля и микросхемы ПЗУ. Здесь же указана разрядность каждого управляющего поля, а также адрес узла системы куда оно поступает. Кроме стандартных полей УА, F, УЭ в слове микрокоманды введены дополнительные поля:

ОСТ - одноразрядное поле программного останова системы;

УС - одноразрядное поле условной синхронизации ЦПЭ;

К - четырехразрядное поле маски позволяет выбирать младший, знаковый разряд слова, модуль слова, два старших или два младших байта слова или все слова;

Структурная схема аппаратных средств микрочислителя

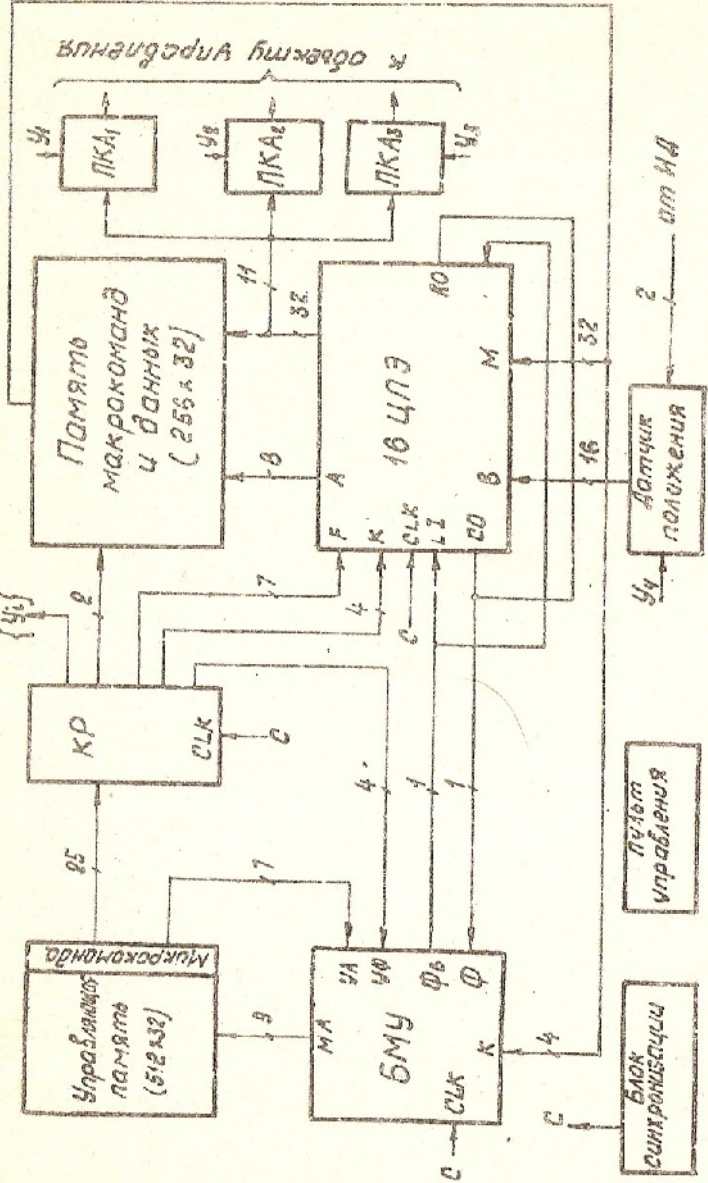


Рис. 5.3

ЭМ - одноразрядное поле загрузки адреса микрокоманды с шины команд БМУ;

ОП - двухразрядное поле управления блоком памяти макрокоманд и данных. Один разряд слова используется как код выборки кристалла памяти, другой - определяет режим работы памяти (запись или чтение)

ЦАП - трехразрядное поле управления тремя преобразовательными код-аналог;

ДИ - одноразрядное поле управления всходом информации с датчика в блок ЦАП;

СЛ - одноразрядное поле для организации режима "слежения" микровычислителя.

Основная память микровычислителя подразделяется на память макрокоманд и память данных. Память макрокоманд предназначена для хранения алгоритмов управления, записанных на уровне макрокоманд. Она состоит из одной микросхемы ПЗУ К556РТ4 (256x4) и одной микросхемы ОЗУ К155РУ2 (16x4). Выходы обеих микросхем объединяются с помощью монтажного ИЛИ и подаются на 4 младшие разряды шины команд БМУ. (на 4 старшие разряды информация поступает с тумблерного регистра пульта управления). Объединения по выходу микросхем ОЗУ и ПЗУ этих типов возможно, так как они выполнены по схеме с открытым коллектором. Использование для управления шиной К БМУ тумблерного регистра дает возможность оперативно переходить, в случае необходимости, на аварийные или диагностические программы путем задания соответствующих кодов с пульта управления.

Память данных предназначена для хранения констант и промежуточных результатов в ходе выполнения программы. Выход памяти данных (32 разряда) подключены к шине М массива ЦАП. Также как и память макрокоманд, она состоит из двух частей: 8 микросхем ПЗУ К556РТ4 и 8 микросхем ОЗУ К155РУ2.

Очевидно, что для адресации 256 ячеек основной памяти достаточно иметь 8-разрядную шину адреса. Адрес можно задавать с ОБ либо с пульта управления в зависимости от режима работы микровычислителя. В оперативную часть блока основной памяти информация также может быть записана с шины D ОБ либо с пульта управления.

Формат данных, с которыми оперирует микровычислитель, приведен на рис.5.5. Числа представляются в дополнительном коде, причем 15 разрядов отводятся под целую часть числа и 16 - под дробную. Максимально возможный код числа соответствует предельному значению угла

Формат мн. команды

ПЗУ4

ПЗУ2

ПЗУ3

28 24

ПЗУ4

07

16

31

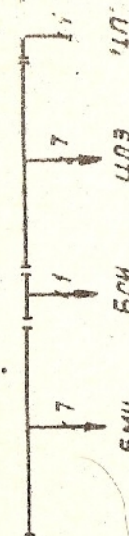
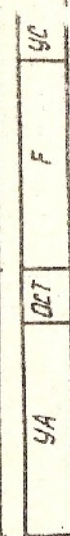
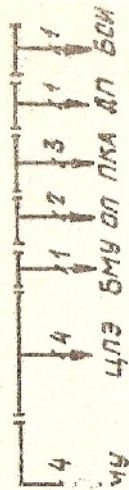
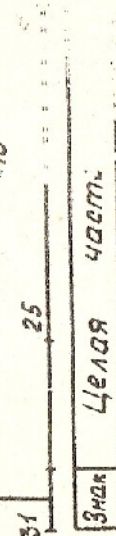
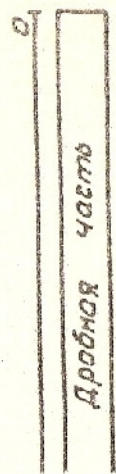


Рис. 5.4.

Данных

к ПКА



15

от

Рис. 5.5.

поворота вала двигателя, который может быть отработан системой. Дробная часть числа необходима для достижения требуемой точности вычислений. На рис. 5.5 показаны также разряды данных, по которым происходит связь с ПКА и датчиком положения.

Для проведения наладочных и ремонтных работ, для задания режимов работы микровычислителя имеется пульт управления (ПУ), внешний вид передней панели которого приведен на рис. 5.6.

Задание адреса ячейки памяти макрокоманд и данных производится с помощью наборных переключателей типа ШП-ИВ /3/. Причем при нажатии на кнопку ЗАН.А набранный на переключателях код переписывается в реверсивный счетчик адреса, выполненный на микросхемах К155ИЕ7. С помощью кнопок "+I" и "-I" имеется возможность увеличивать или уменьшать содержимое счетчика адреса на единицу.

Наборный 16-ричный переключатель "Набор команды" служит для задания кодов макрокоманд микро-ЭВМ при работе с блоком оперативной памяти. Запись набранного кода команды производится при нажатии кнопки запись команды (ЗП.К).

Кнопка "ЗМ" необходима для начальной загрузки кода команды в БМУ.

Для записи необходимой информации при работе с ЗЗУ данных ПУ снабжен 16-ричной клавиатурой. При нажатии на одну из клавиш (0, I, ... F) поступает соответствующий сигнал на шифратор клавиатуры, с выхода которого вырабатывается 4-разрядный код числа и импульс сопровождения. Импульс сопровождения увеличивает на I содержимое счетчика клавиатуры, которое выведено на индикацию ПУ и одновременно подается на дешифратор. Выходы дешифратора определяют номер 4 разрядов регистра информации, в которые произойдет запись поступившего кода числа. После восьми нажатий на клавиши клавиатуры регистр информации на 32 разряда будет полностью заполнен. Запись его содержимого может быть осуществлена при нажатии кнопки "ЗП.Д". Разрядность слова макрокоманды совпадает с разрядностью шины данных блока ЦТЭ. С целью экономии светодиодов АЛСИОА индикация слова макрокоманды и шины данных производится поочередно. Это делается в ПУ путем внешней коммутации с помощью специального переходника.

С помощью кнопок "Сброс", "Пуск" и "Останов" имеется возможность установки узлов микровычислителя в исходное положение, а также осуществить пуск и останов узла синхронизации.

Тумблер "ТМ" задает режим работы микро-ЭВМ: автоматический или ручной.

Тумблер "ЧП" определяет тип блока (ОЗУ/ПЗУ) в режиме чтения информации с ПУ.

Кнопка "МК" дает возможность проследить работу системы в режиме последочного выполнения микрокоманд.

Для индикации состояния останова микро-ЭВМ на лицевой панели имеется соответствующий светодиод.

Все тумблеры и кнопки ПУ снабжены схемами, позволяющими исключитьдребезг контактов. Подробную информацию о схемах подключения элементов пульта управления можно найти, например, в работе /3/.

Для формирования аналоговых сигналов управления необходимы преобразователи код-напряжение (ПКА). Основные характеристики некоторых типов ПКА в интегральном исполнении приведены в табл.5.1 /15/.

Таблица 5.1

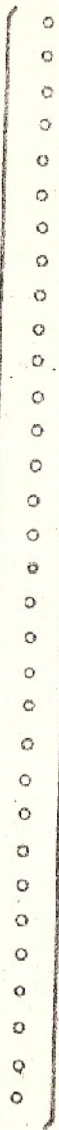
Основные электрические параметры ПКА

Параметр	Тип микросхем ПКА			
	K252ПА1 K252ПА2	K252ПА3	K572ПА1	K594ПА1
Количество разрядов, не более	8	10	10	12
Относительная погрешность, %	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,025$
Суммарный входной ток разрядов, мА	$5 \pm 0,25$	$5 \pm 0,25$	$1 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$
Время установления выходного, мкс	0,3	0,3	5	3,5

В рассматриваемой системе управления электроприводом постоянного тока в качестве ПКА были использованы микросхемы K572 ПА1. Режим преобразования цифровых сигналов обеспечивается за счет подключения к выходу ПКА операционного усилителя, выполняющего функцию сумматора тока. Работа преобразователя при подаче однополярного 10-разрядного входного кода может быть описана с помощью табл.5.2.

Внешний вид передней панели пульта управления

Индикация микрокоманды



Индикация шины данных

Счетчик клавиатуры

Останов

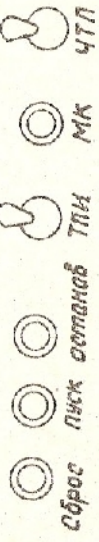
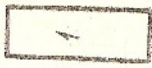
Клавиатура



Набор адреса



Набор команды



Сброс

пуск останова

ТПИ

МК

ЧТЛ



ЗАН. А



ЗП.Д



ЗП.К



ЗМ



+5В

Рис. 5.6

Работа 10-разрядного ПКА при однополярном входном коде

Входной код (10 разрядов)	Номинальное выходное напряжение
1111111111	$-U_{оп} \left(1 - \frac{1}{2^{10}}\right) = -\left(\frac{1023}{1024}\right) \cdot U_{оп}$
⋮	
1000000001	$-U_{оп} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^{10}}\right) = -\left(\frac{513}{1024}\right) \cdot U_{оп}$
1000000000	$-U_{оп} \left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{U_{оп}}{2}$
0111111111	$-U_{оп} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2^{10}}\right) = -\left(\frac{511}{1024}\right) \cdot U_{оп}$
⋮	
0000000001	$-U_{оп} \left(\frac{1}{2^{10}}\right) = -\frac{U_{оп}}{1024}$
0000000000	0

Как видно из табл. 5.2, путем изменения величины и знака источника опорного напряжения ($U_{оп}$) можно изменять масштаб и знак выходного напряжения ($U_{вых}$).

Обычно напряжение на аналоговых входах объекта управления может изменяться в пределах $\pm U_{об}$. Для получения двухполярного выходного сигнала во входном коде добавляется еще один знаковый разряд. Схема включения элементов преобразователя представлена на рис. 5.7.

С микро-ЭВМ во входной регистр ПКА поступает 11-разрядный код, включая знаковый разряд. Входной регистр RG построен на триггерах со срабатыванием по фронту, например, на микросхемах К155ВР1, К155ТМ2. Запись информации в регистр происходит по фронту управляющего сигнала, поданного на вход "разрешение записи". Десять разрядов цифрового кода с выхода RG подаются на вход ЦАП (микросхема К572ПА1), а знаковый разряд - на затвор полевого транзистора V . Сперационные усилители OU_1 и OU_2 выполнены на микросхемах К153УД1, причем OU_1 является сумматором токов ЦАП, а OU_2 обеспечивает получение двухполярного выходного сигнала в зависимости от состояния

полевого транзистора (открыт-закрыт).

Диоды D_1 и D_2 служат для защиты выходных шин микросхем ЦАП из-за чрезмерного тока на подложку, который мог бы быть от выхода ОУ, если потенциалы шин стали бы ниже $-0,75/20\%$. В качестве D_1 и D_2 рекомендуется использовать быстродействующие диоды Шоттки, например, КД514.

Переменными резисторами R_1 и R_2 производится точная подстройка масштаба выходного напряжения $U_{вых}$ при настройке преобразователя, после чего на плате устанавливаются постоянные резисторы с номиналами полученных сопротивлений. Для работы элементов преобразователя необходимо иметь три источника питающих напряжений $+12В$, $-12В$ и $+5В$.

Блок синхронизации предназначен для формирования и выдачи в блоки микро-ЭВМ соответствующих синхронизирующих сигналов, а также задания режимов работы микровычислителя. Временная диаграмма работы блоков микро-ЭВМ приведена на рис. 5.8, на котором введены следующие обозначения:

S - синхросигнал, подаваемый на входы CLK блоков БМУ, ЦПС и конвейерного регистра;

ПМК - память микрокоманд;

ПК - память макрокоманд.

С задержкой времени $T_{бму}$ БМУ формирует на выходной шине MA адрес очередной микрокоманды. Выбранная по этому адресу микрокоманда появится на выходе ПМК с задержкой $T_{пмк}$, необходимой для срабатывания элементов ПЗУ (приблизительно 70 нс). Однако запись новой микрокоманды в КР произойдет лишь по заднему фронту синхросигнала S с задержкой на время срабатывания микросхем КИСИРП $T_{кр}$. После этого возможна работа ПК и других блоков микро-ЭВМ, в которые поступают управляющие сигналы новой микрокоманды с конвейерного регистра.

Работа комбинационной части блока ЦПС начинается по фронту синхросигнала S , а запись результата в АС или в один из регистров РОН - по заднему фронту этого же сигнала. Результаты арифметических и логических операций оказываются задержанными на одну микрокоманду, что необходимо учитывать при использовании команд условных переходов.

Время t_4 , необходимое для выполнения одной микрокоманды, выбрано равным 400 нс. Это вполне достаточно для нормальной работы всех блоков микро-ЭВМ. С помощью блока синхронизации имеется воз-

Схема включения 10-разрядного ПКА К572А1 при двенадцатичисловом входе

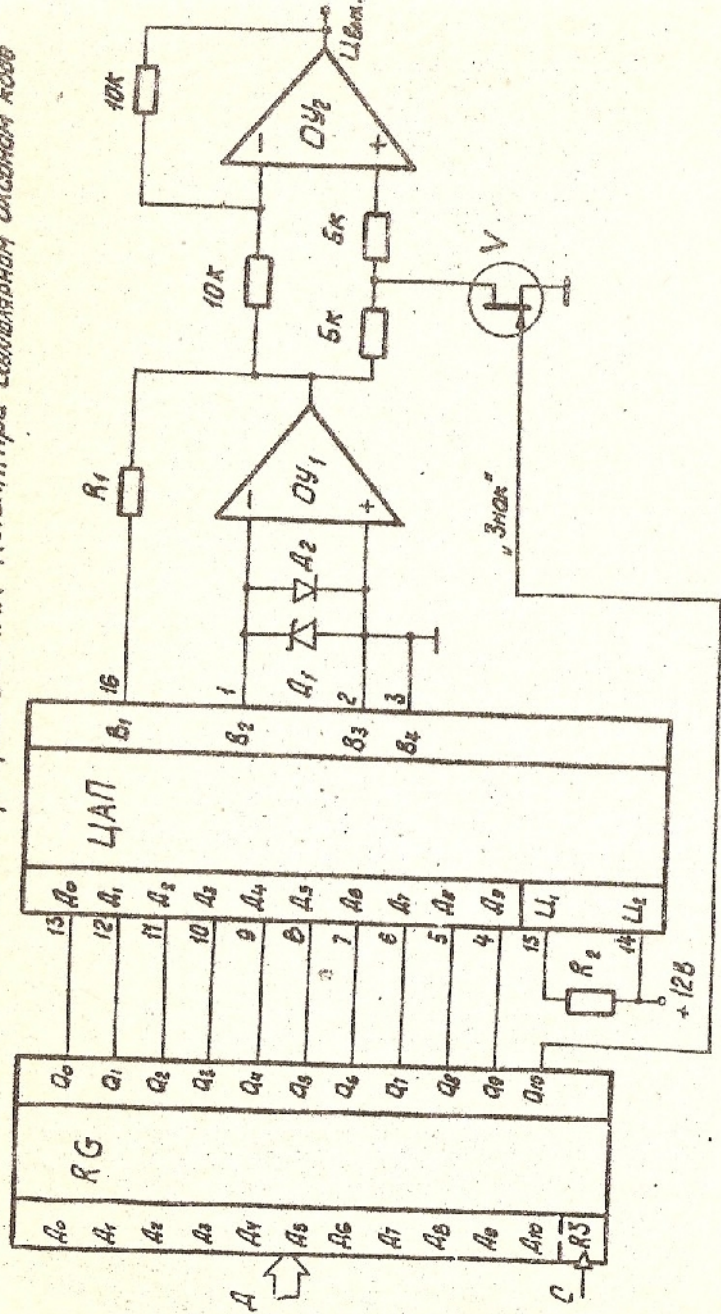


Рис. 5.7

возможность задать режим работы микро-ЭВМ по одной микрокоманде, что очень важно при отладке алгоритмов и проведении ремонтных работ.

5.2. Программное обеспечение системы

Диаграмма одного цикла работы привода при отработке заданных перемещений приведена на рис. 5.9. Величина перемещения рабочего органа механизма $\Delta\varphi_i^*$ на i -ом такте работы определяется

$$\Delta\varphi_i^* = \varphi_{k_i}^* - \varphi_{n_i}^*,$$

где $\varphi_{k_i}^*$ и $\varphi_{n_i}^*$ - соответственно заданное и исходное для данного такта работы положение рабочего органа механизма.

Величина перемещения $\Delta\varphi_i^*$ отработывается системой за время Δt_i , в том

$$\Delta t_i = t_{k_i} - t_{n_i},$$

где t_{k_i} и t_{n_i} - соответственно моменты времени окончания и начала работы привода на i -ом такте.

После отработки i -го перемещения система находится в состоянии "слежения" (интервалы времени $t_{n_{i+1}} - t_{k_i}$) и ждет прихода команды на отработку следующего ($i+1$)-го перемещения. Причем после отработки i -го перемещения рабочий орган займет новое положение, так что $\varphi_{n_{i+1}}^* = \varphi_{k_i}^*$. Коды заданных перемещений $\varphi_{k_1}^*, \varphi_{k_2}^*, \dots$ хранятся в блоке памяти микровычислителя, либо могут поступать от мини-ЭВМ более высокого уровня.

Если $\Delta\varphi_i^* > 0$, отработка перемещения производится системой в направлении, принятом за положительное, в противном случае - в противоположном направлении. При этом вид диаграммы скорости двигателя определяется, исходя из сравнения модулей величин заданного перемещения $|\Delta\varphi_i^*|$ и, так называемого, критического пути $|\Delta\varphi_{кр}^*|$, равного

$$|\Delta\varphi_{кр}^*| = \frac{\epsilon_m^* \cdot t_{кр}^2}{2},$$

где ϵ_m^* - максимальный код ускорения привода;
 $t_{кр}^*$ - момент времени достижения скорости двигателя ω_m^* установленного значения ω_m^* .

Если $|\Delta\varphi_i^*| \leq |\Delta\varphi_{кр}^*|$, то скорость вращения вала двигателя будет изменяться по треугольному закону, в противном случае - по трапецеидальному закону с участком равномерного движения (рис. 5.10).

Временная диаграмма работы микро-ЭВМ

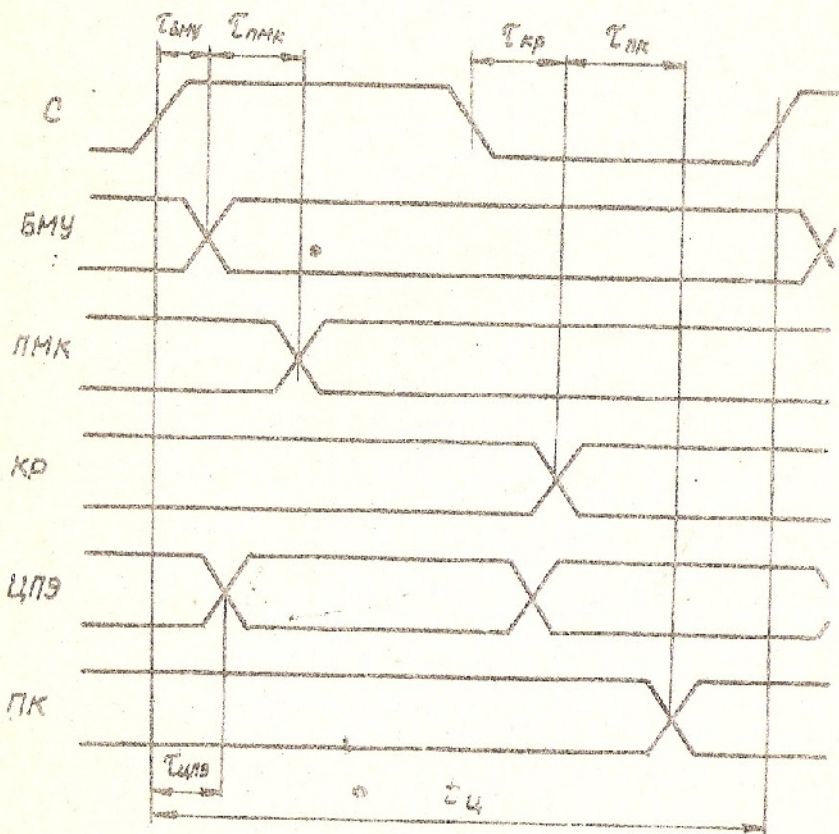


Рис. 5.8.

Один цикл работы системы завершается после отработки n перемещений. После этого рабочий орган механизма занимает исходное положение φ_n^* и все повторяется заново.

В соответствии с изложенными выше алгоритмом микро-ЭВМ должна выполнять следующие действия:

1. Определять величину и знак перемещения $\Delta \varphi_i^*$, а также вид тахограммы скорости ω^* на каждом i -ом такте работы системы.

2. Вычислять и выдавать в аналоговую часть системы управления через преобразователи код-напряжение значения ошибки по перемещению и корректирующих сигналов.

3. До прихода команды на отработку следующего перемещения не давать возможности приводу изменить занятое положение за счет разл. инго рода внешних воздействий, т.е. находиться в состоянии слежения.

Рассмотрим алгоритм работы микро-ЭВМ при отработке одного перемещения. Для этого воспользуемся диаграммами изменения $\varphi^*(t)$, $\omega^*(t)$ и $\xi^*(t)$, приведенными на рис.5.10. Угол поворота $\varphi^*(t)$ связан с угловой скоростью вращения двигателя $\omega^*(t)$ зависимостью

$$\varphi^*(t) = \int \omega^*(t) dt,$$

из которой следует, что $\varphi^*(t)$ можно вычислять как площадь, ограниченную кривой $\omega^*(t)$. С учетом этого работа привода на участке разгона может быть описана следующей системой уравнений

$$\xi^* = \xi_m^*;$$

$$\omega^* = \omega_0^* + \omega_m^*;$$

$$\varphi_n^* = \varphi_0^* + \varphi_m^*;$$

$$\varphi^* = \varphi_0^* + \varphi_m^*,$$

где ω_0^* и φ_0^* - элементарно фиксированные приращения кодов скорости и угла поворота вала двигателя соответственно;

φ_n^* - текущее значение кода перемещения на n -ом участке (на первом участке $\varphi_n^* = -\varphi_0^*/2$).

Каждый участок работы ограничен интервалом дискретности T . Значение ω_0^* соответствует изменению скорости ω^* за интервал времени T при разгоне привода с ускорением ξ_m^* . За этот же интервал

$$\varphi_0^* = \omega_0^* \cdot T.$$

Диаграмма работы прибора при обработке заданных перемещений

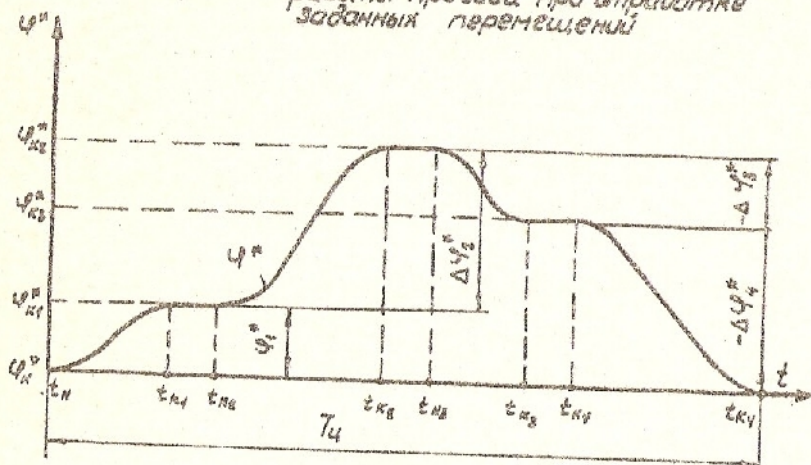


Рис. 5.9

Диаграммы для определения $\varphi''(t)$, $\omega''(t)$ и $\delta''(t)$

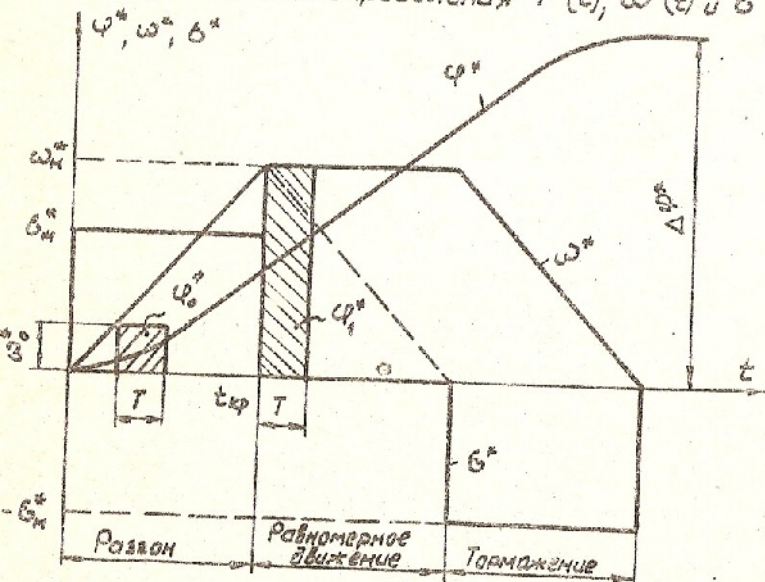


Рис. 5.10

Переход с участка разгона на участок равномерного движения произойдет при достижении ω^* значения ω_m^* . На этом участке работу привода можно описать системой уравнений

$$\begin{aligned}\dot{\delta}^* &= 0; \\ \omega^* &= \omega_m^*; \\ \varphi^* &= \varphi^* + \varphi_1^*,\end{aligned}$$

где φ_1^* - элементарное фиксированное значение кода перемещения, равное

$$\varphi_1^* = \omega_m^* \cdot T.$$

На участке торможения привода имеем

$$\begin{aligned}\dot{\delta}^* &= -\dot{\delta}_m^*; \\ \omega^* &= \omega^* - \omega_0^*; \\ \varphi_n^* &= \varphi_n^* - \varphi_0^*; \\ \varphi^* &= \varphi^* + \varphi_n^*.\end{aligned}$$

Блок-схема программы отработки заданного перемещения показана на рис. 5.11. Значение величины ошибки рассогласования по положению $\Delta\varphi_{\text{ош}}^*$ определяется по формуле

$$\Delta\varphi_{\text{ош}}^* = \varphi^* - \varphi_{\text{Дп}}^*$$

где $\varphi_{\text{Дп}}^*$ - действительное положение рабочего органа, определенное датчиком положения.

Программная задержка Δt необходима для изменения периода дискретности системы T с целью задания кодов ω_0^* , φ_0^* и φ_1^* , удовлетворяющих требованиям точности.

Программа отработки перемещений может быть записана на уровне макрокоманд в ОЗУ или ПЗУ, команд. Тип блока памяти определяется положением соответствующего тумблера на лицевой панели пульта управления. При использовании ОЗУ об'ем программы не должен превышать 16 ячеек.

В табл. 5.3 показано распределение ячеек оперативной памяти данных и РОН ЦПЭ. При составлении таблицы были введены следующие обозначения:

СЧАК - счетчик адреса макрокоманды. Его содержимое задает адрес текущей макрокоманды.

СЧАП - счетчик адреса перемещений. Указывает адрес перемещения $\varphi_{k_1}^*$ на i -ом такте работы системы.

АНПР - адрес начала программы. Задаёт адрес первой макрокоманды алгоритма управления.

АНП - адрес начала перемещений. Указывает адрес первого перемещения $\varphi_{k_1}^*$.

Таблица 5.3

Распределение ячеек памяти

Оперативная память данных		Регистры общего назначения ЦПУ	
Адрес	Содержимое	Адрес	Содержимое
0	СЧАК	R_0	$\delta_{M_1}^*$
1	СЧАП	R_1	ω_0^*
2	АНПР	R_2	$\omega_{M_1}^*$
3	АНП	R_3	φ_0^*
4	δ^*	R_4	φ_1^*
5	ω_0^*	R_5	φ_{kr}^*
6	$\omega_{M_1}^*$	R_6	φ^*
7	φ_0^*	R_7	φ_n^*
8	φ_1^*	R_8	φ_k^*
9	φ_{kr}^*	R_9	ω^*

Коды перемещений $\varphi_{k_1}^*$, $\varphi_{k_2}^*$, ... должны быть расположены в последовательных ячейках ПЗУ или ОЗУ данных. После отработки i -го перемещения содержимое СЧАП увеличивается на единицу, т.е. указывает адрес следующего перемещения.

Константы δ^* , ω_0^* , ..., φ_{kr}^* могут быть "защиты" в соответствующих ячейках ПЗУ данных. Запись этих констант в РСЦП ЦПУ производится на уровне микрокоманд в тех макрокомандах, где это необходимо.

Как уже отмечалось выше, управляющая программа носит циклический характер. После завершения одного цикла работы восстанавливается содержимое счетчиков СЧАК и СЧАП и управление передается на начало программы.

Алгоритм работы микровычислителя состоит из отдельных следующих друг за другом макрокоманд. Перечень макрокоманд и их начальные адреса в управляющей памяти приведены в табл. 5.4.

Перечень макрокоманд системы управления

№ п/п	Наименование макрокоманды	Начальный адрес (16 с.с.)	Количество ячеек управляющего ЦЗУ
1.	Обработка алгоритма	0-3	136
2.	Восстановление	0-8	16
3.	Загрузка констант	С-А	29
4.	Слежение	0-С	37

Каждая текущая макрокоманда завершается выборкой следующей макрокоманды из памяти команд. Для этого из нулевой ячейки ЦЗУ данных извлекается СЧАК, увеличивается на единицу и снова записывается в память и в регистр адреса ЦАП. По этому адресу из памяти команд выбирается и подается на шину команд БМУ код макрокоманды. При подаче сигнала ЗМ (разряд слова микрокоманды) БМУ формирует начальный адрес новой макрокоманды.

Рассмотрим функции, выполняемые каждой макрокомандой.

Макрокоманда "Обработка алгоритма" по адресу СЧАП производит выборку очередного кода перемещения φ_{ki}^* и обработку его в соответствии с блок-схемой рис. 5.11, а СЧАП увеличивает на единицу.

Макрокоманда "Восстановление" загружает СЧАК и СЧАП начальными значениями, расположенными во второй и третьей ячейках ЦЗУ данных соответственно и передает управление на начало программы.

Макрокоманда "Загрузка констант" производит пересылку констант ξ_m^* , ω_s^* , ..., φ_{kr}^* из ЦЗУ данных в соответствующие ячейки ЦЗУ данных.

Макрокоманда "Слежение" с точностью до единицы младшего разряда поддерживает такое положение выходного вала двигателя, которое установилось после обработки очередного перемещения. Выход системы из состояния "слежения" возможен лишь при поступлении внешнего сигнала в блок синхронизации. Это повлечет за собой переход к выполнению следующей макрокоманды. В качестве внешнего сигнала можно использовать сигнал "пуск" с пульта управления микро-ЭВМ либо сигнал, формируемый каким-либо внешним устройством.

Перед запуском программы с пульта управления во вторую и третью ячейки памяти данных необходимо записать начальные значения СЧАК и СЧАП, набрать начальный адрес макрокоманды "Восстановление" и перевести микровычислитель в автоматический режим

Блок-схема программы обработки заданного перемещения

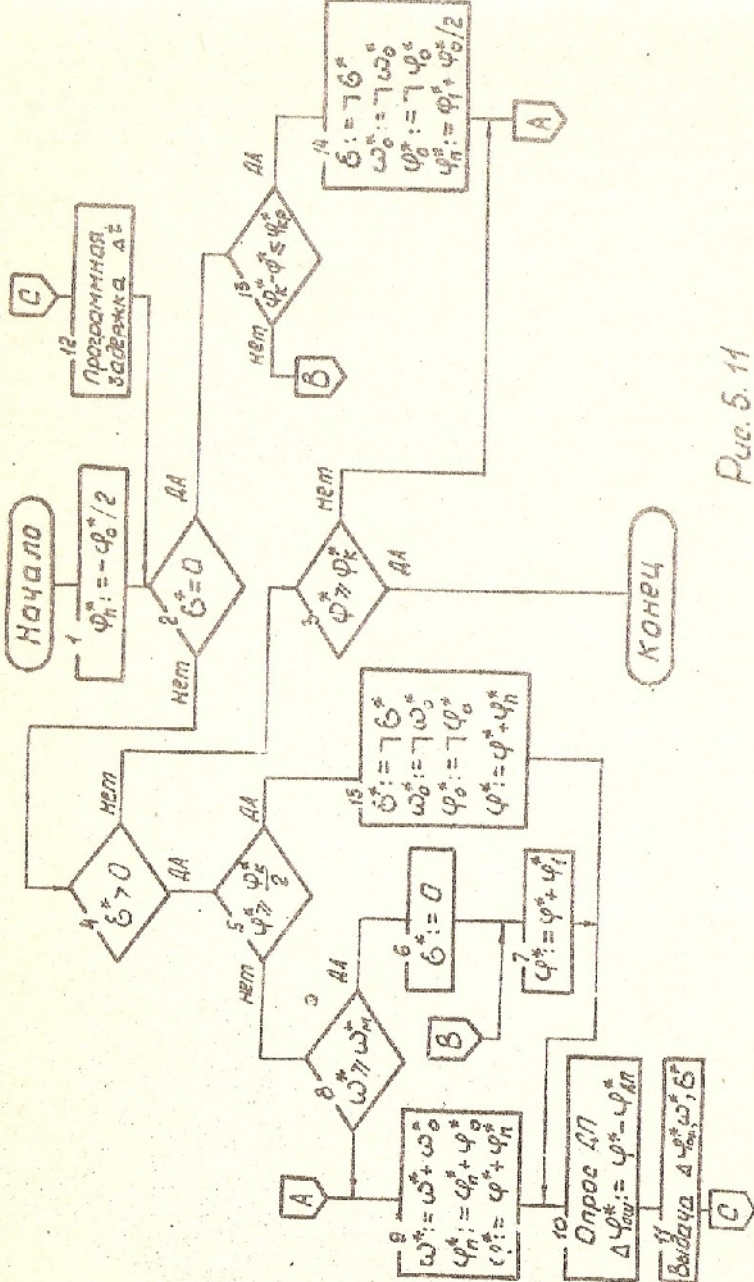


Рис. 5.11

работы. Программа для отработки трех перемещений может быть представлена в виде цепочки макрокоманд (0-A), (0-B), (0-C), (0-B), (0-C), (0-B)(0-C), (0-B).

В качестве примера на рис. 5.12 приведен фрагмент программы макрокоманды "Отработка алгоритма". Все макрокоманды занимают в управляющей памяти 218 ячеек. Интервал квантования системы по времени T составляет около 50 мкс, поэтому значения корректирующих коэффициентов β_1 и β_2 принимались такими же, как и в идеализированной непрерывной системе ($\beta_1 = 4,75$; $\beta_2 = 11,3$) /9/.

Исследования, выполненные на экспериментальном стенде электропривода постоянного тока, показали правильность принятых решений и разработанных микропрограмм. Осциллограмма кривой ошибки рассогласования по положению, имеющей место на выходе ШКА, по форме близка к кривой осциллограммы скорости привода, причем максимум ошибки имеет место на участке равномерного движения привода с постоянной скоростью. Перерегулирование тока якоря двигателя не превышает 5-7%. Применение корректирующих связей β_1 и β_2 позволяет уменьшить время первого согласования тока якоря с установившимся значением примерно в два раза. Уменьшается при этом и максимально возможная ошибка воспроизведения заданного закона движения.

УРОВЕНЬ ПРОГРАММЫ: ПРОГРАММАНДЫ: УПРАВЛЕНИЯ: АЛГОРИТМЫ

Метка	№ МК	Адрес 16сс	Операция ЦПС (F)	Управ. флаг.	Дополн. поля	Упр. след. адресом	След. адр. 16сс.	Примечание
START	1	0-8	NOP			JCC	C-8	ЕСЛИ $E^0=0$ M1, ИНАЧЕ M2
	2	E-8	TZR (R0)		K1111	JCR	C-1	
	3	C-1	NOP			JFL	C-2/3	
M1	4	C-2	ILR (R5)			JCR	C-5	ЕСЛИ $(\varphi_{KP} + \varphi^0) \geq \varphi_K^0$ ТО M3, ИНАЧЕ M4
	5	E-5	SZR (T)	FF1	K1111	JCC	D-5	
	6	D-5	ILR (R6)		K1111	JCR	D-6	
M4	7	D-6	ALR (T)			JCR	D-7	ТО M3, ИНАЧЕ M4
	8	D-7	ILR (R8)			JCR	D-8	
	9	D-8	CZA (AC)	FF1		JCR	D-9	
M3	10	D-9	ALR (T)		K1111	JCC	C-9	ТО M3, ИНАЧЕ M4
	11	C-9	NOP			JFL	C-A/B	
	12	C-A	CLR (T)			JCR	C-C	
M5	13	C-C	LMI (T)			JCR	C-7	ТО M3, ИНАЧЕ M4
	14	C-7	NOP		3M	JCR	O-B	
	15	C-B	CLR (T)			JCR	C-D	
M2	16	C-D	ILR (T)	FF1		JCR	C-E	ТО M3, ИНАЧЕ M4
	17	C-E	LMI (T)			JCR	C-F	
	18	C-F	NOP		3M	TZR	O-8	
M6	19	C-3	TZR (R0)		УС, K1000	JCR	C-6	ЕСЛИ $B^0 > 0$ M5, ИНАЧЕ M6
	20	C-6	NOP			TFL	D-2/3	
	21	D-2	ILR (R8)			JCR	D-0	
M5	22	D-0	SAR (AC)			JCC	C-0	ЕСЛИ $\varphi^0 - \frac{\varphi_K^0}{2} > 0$ M7, ИНАЧЕ M8
	23	C-0	CZA (AC)	FF1		JCC	E-0	
	24	E-0	ALR (R6)		УС, K1111	JCR	E-C	
M8	25	E-C	NOP			TFL	D-A/B	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	26	D-A	ILR (R2)			JCR	D-C	
	27	D-C	ALR (R9)		УС, K1111	JCR	D-D	
M9	28	D-D	NOP			TFL	E-A/B	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	29	E-A	CLR (AC)			JCR	E-5	
	30	E-5	ILR (AC)	FF1		JCR	E-6	
M7	31	E-6	ALR (AC)		K1111	JCR	E-7	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	32	E-7	LMI (AC)			JCR	E-8	
	33	E-8	NOP		3M	TZR	O-8	
M10	34	E-8	NOP			JCC	F-B	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	35	F-B	NOP			JCR	F-A	
	36	F-A	NOP			JCC	C-A	
M11	37	D-B	CLR (AC)			JCR	D-E	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	38	D-E	ILR (AC)	FF1		JCR	D-F	
	39	D-F	ALR (AC)		K1111	JCC	F-F	
M6	40	E-F	ALR (AC)		K1111	JCR	E-E	ЕСЛИ $(\omega^0 - \omega_K^0) > 0$ M9, ИНАЧЕ M10
	41	E-E	LMI (AC)			JCR	E-D	
	42	E-D	NOP		3M	TZR	O-8	
M12	43	D-3	ILR (R8)			JCR	D-1	ЕСЛИ $(\varphi^0 - \varphi_K^0) > 0$ M11, ИНАЧЕ M12
	44	D-1	CZA (AC)	FF1		JCC	E-1	
	45	E-1	ALR (R6)		УС, K1111	JCC	F-1	
M11	46	F-1	NOP			TFL	E-2/3	ЕСЛИ $(\varphi^0 - \varphi_K^0) > 0$ M11, ИНАЧЕ M12
	47	E-2	NOP			TZR	E-A	
	48	E-3	CLR (AC)			JCC	F-3	
M12	49	F-3	ILR (AC)	FF1		JCR	F-2	ЕСЛИ $(\varphi^0 - \varphi_K^0) > 0$ M11, ИНАЧЕ M12
	50	F-2	ALR (AC)		K1111	JCC	10-2	
	51	10-2	ILR (AC)	FF1		JCR	10-1	
M11	52	10-1	LMI (AC)			JCR	10-0	ЕСЛИ $(\varphi^0 - \varphi_K^0) > 0$ M11, ИНАЧЕ M12
	53	10-0	NOP		3M	TZR	O-B	

ПРИКЛЮЖНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. / Под ред. С.В.Якубовского. - М.: Сов.радио, 1979. - 336 с.
2. Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.В.Смолова. - М.: Радио и связь, 1981. - 328 с.
3. Башков Е.А., Губарь Д.В. Схемотехника микропроцессорных ЭВМ и разработка микрокомпьютеров методами программной эмуляции: Учебное пособие. - Донецк, ДПИ, 1981. - 112 с.
4. Березенко А.И., Корягин Л.Н., Назарьян А.Р. Микропроцессорные комплекты повышенного быстродействия. - М.: Радио и связь, 1981. - 168 с.
5. Вайда Ф., Чакань А. Микро-ЭВМ. Пер.с венгер. / Под ред. В.В.Сташина. - М.: Энергия, 1980. - 360 с.
6. Каган Б.М., Сташин В.В. Микропроцессоры в цифровых системах. - М.: Энергия, 1979. - 192 с.
7. Кавалшиков В.И., Губарь Д.В., Старостин С.С. Проектирование микропроцессорных систем электропривода. - 4 Fachtagung, Elektroantriebstechnik und Elektroautomatisierungstechnik. Magdeburg, April 1981, s.74-76.
8. Клигман Э. Проектирование микропроцессорных систем. Пер. с англ. / Под ред. С.Д.Пашкеева: - М.: Мир, 1980. - 575 с.
9. Коцегуб П.Х., Губарь Д.В. Цифроаналоговая система позиционного электропривода с задатчиком положения. - Изв.вузов. Электромеханика, 1983, № 1, с.123-128.
10. Лебедев Е.Д. и др. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. - М.: Энергия, 1970. - 199 с.
11. Материалы XXVI съезда КПСС. - М.: Политиздат, 1981, - 223 с.
12. Методические указания по курсу "Особенности конструкций зарубежных ЭВМ". - Донецк: ДПИ, 1981. - 52 с.
13. Микропроцессорные комплекты интегральных схем: Состав и структура: Справочник / В.С.Борисов и др.; под ред. А.А.Васенкова, В.А.Шахнова. - М.: Радио и связь, 1982. - 192 с.
14. Микро-ЭВМ. Под ред. А.Дирксена. Пер.с англ. / Под ред. В.В.Сташина. - М.: Энергоиздат, 1982. - 328 с.

15. Перельмутер В.М., Соловьев А.К. Цифровые системы управления тиристорными электроприводами. - М.: Техника, 1983. - 104 с.

16. Полупроводниковые запоминающие устройства и их применение / В.П.Андреев, В.В.Баранов, Н.В.Василин и др.: Под ред. А.В.Гардонова. - М.: Радио и связь, 1981. - 344 с.

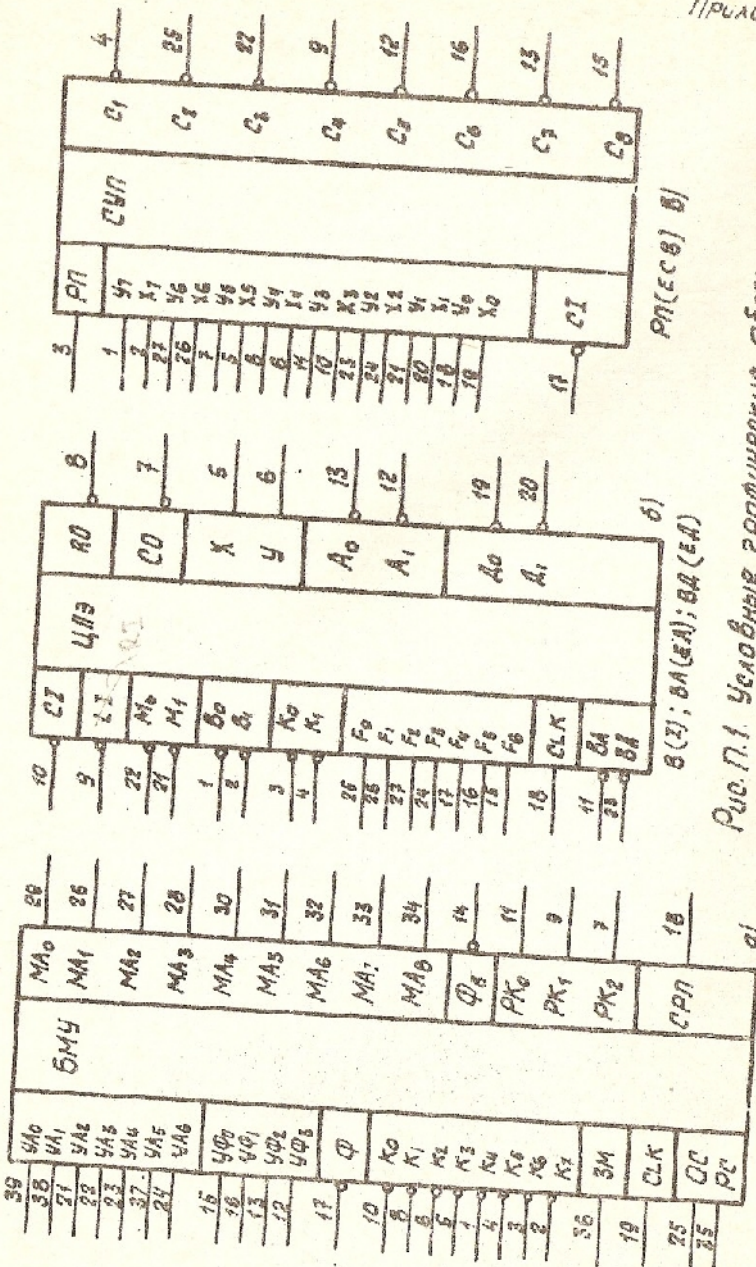
17. Ратнер, Кернер, Гофф. Вычислительные модули в виде бинокла БИС - новая эра в проектировании цифровой аппаратуры. - Электроника, № 18, 1974, с.25-36.

18. Соболева Э., Стары Я. Микропроцессорные системы. Пер.с чешского под ред. В.В.Степанова. - М.: Энергоиздат, 1981. - 494 с.

19. Соучек В. Микропроцессоры и микро-ЭВМ. Пер.с англ./ под ред. Петренко А.И. - М.: Сов.радио, 1979. - 520 с.

20. Шило В.Л. Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. - М.: Радио и связь, 1982. - 238 с.

21. Series 3000 Reference Manual. - Intel Corp., 1976, - 146p., il.

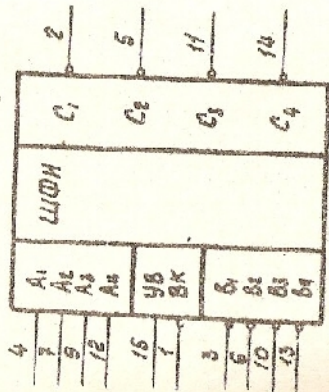
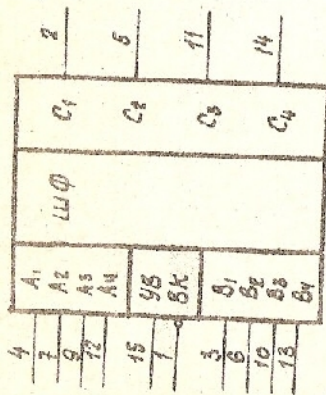


РП(ЕСВ) В/

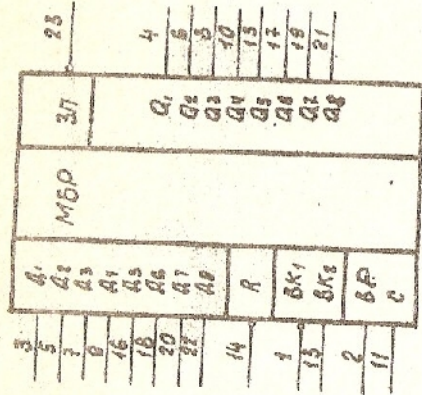
В(У); ВЛ(ЕЛ); ВД(ЕД)

Рис. П.1. Условные графические обозначения элементов К589 серии:
а) К589ик01; б) К589ик02; в) К589ик03

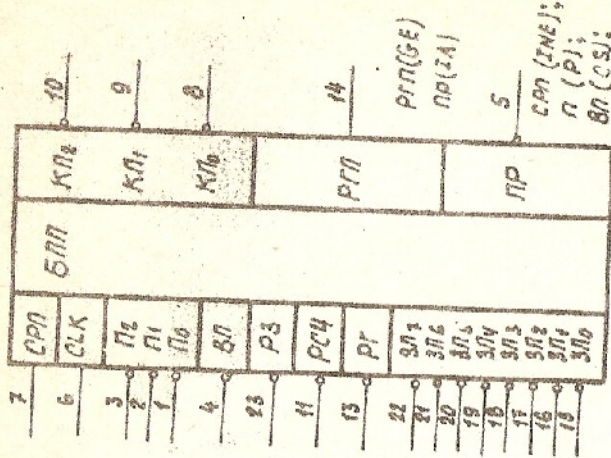
а) УА(АС); ЗМ(ЕМА); Ф8(Ф0)
УФ(ЕС); СС(ЕЕ); РК(КО)
Ф(Ф1); РС(ЕРА);



а) $A(DI);$
 $B(DD);$
 $C(DD);$



в) $BK(CS);$
 $BP(MD);$
 $C(EW);$
 $Q(ZNR);$



г) $РГ(EG);$
 $ЗЛ(ZN);$
 $КП(IC);$
 $РСЧ(EWC);$
 $РЗ(EW);$
 $ВП(CS);$
 $П(P);$
 $СРП(ZNE);$
 $ЛР(ZA);$

Рис. П.1. Условные графические обозначения элементов К589 серии (продолжение).

2-К589АП6; 3-К589АЛ6; 4-К589ВР12; 5-К589ВР14.

F-группа	F ₆	F ₇	F ₈
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

R-группа	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. П.2. Форматы F и R- групп микрофункций ЦПЭ

Обозн. Функция	Функция	УФ ₃	УФ ₂
FF0	Выдать на выход Ф ₃ , 0'	0	0
FFC	Выдать на выход Ф ₈ сaddr TC	0	1
FFE	Выдать на выход Ф ₈ сaddr TC	1	0
FFI	Выдать на выход Ф ₈ "1"	1	1

Обозн. Функция	Функция	УФ ₃	УФ ₂
SCZ	Установить TC и TC по выводу TF	0	0
STZ	Установить TC по выводу TF	0	1
STC	Установить TC по выводу TF	1	0
HCZ	Хранить TC и TC	1	1

Рис. П.3. Функции управления флажками

Функции управления адресом в микросхеме БМУ

Таблица П.1

Номер команды	Функция перехода	Состояния управляющих входов						Адрес следующей строки						Адрес следующей колонки																							
		УА ₆	УА ₅	УА ₄	УА ₃	УА ₂	УА ₁	УА ₀	МА ₈	МА ₇	МА ₆	МА ₅	МА ₄	МА ₃	МА ₂	МА ₁	МА ₀	М ₀	М ₁	М ₂	М ₃	М ₄	М ₅	М ₆	М ₇	М ₈											
1	JCC	0	0	d ₄	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	d ₄	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	JZR	0	1	0	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	JCR	0	1	1	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	JCE	1	1	1	0	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	JFL	1	0	0	d ₃	d ₁	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	JCF	1	0	1	0	d ₁	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	JZF	1	0	1	1	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	JPR	1	1	0	0	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	JLL	1	1	0	1	d ₂	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	JAL	1	1	1	1	d ₁	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	JRX	1	1	1	1	0	d ₁	d ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	EWA	*	*	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

d_i - информация на входе УА_i; Р_i - состояние i-го разряда регистра команд;
 м_i - состояние i-го разряда регистра адреса

0 0 0 0 0 0 1
 1 1 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 1 1

Ф-ер	А-эр	Операция ЦПЗ
0	1	$R_n + (ACAK) + CI \rightarrow R_n, AC$
	2	$M + (ACAK) + CI \rightarrow AT$
	3	$ATL(ВЛАК) - RO; LIVE(ВЛАК) \vee [AT_n] \rightarrow AT_n;$ $CATL(ВЛАК) \vee CATn(ВЛАК) \rightarrow AT_n$
1	1	$K \vee R_n \rightarrow PA; R_n + K + CI \rightarrow R_n$
	2	$K \vee M \rightarrow PA; M + CI + K \rightarrow AT$
	3	$(AT \vee K) + ATAK + CI \rightarrow AT$
2	1	$(ACAK) - 1 + CI \rightarrow R_n$
	2	$(ACAK) - 1 + CI \rightarrow AT$
	3	$(BAK) - 1 + CI \rightarrow AT$
3	1	$R_n + (ACAK) + CI \rightarrow R_n$
	2	$M + (ACAK) + CI \rightarrow AT$
	3	$AT + (BAK) + CI \rightarrow AT$
4	1	$CI \vee (R_n \wedge ACAK) \rightarrow CO; R_n \wedge (ACAK) \rightarrow R_n$
	2	$CI \vee (M \wedge ACAK) \rightarrow CO; M \wedge (ACAK) \rightarrow AT$
	3	$CI \vee (B \wedge ACAK) \rightarrow CO; AT \wedge (BAK) \rightarrow AT$
5	1	$CI \vee (R_n \wedge AK) \rightarrow CO; K \wedge R_n \rightarrow R_n$
	2	$CI \vee (M \wedge AK) \rightarrow CO; K \wedge M \rightarrow AT$
	3	$CI \vee (AT \wedge AK) \rightarrow CO; K \wedge AT \rightarrow AT$
6	1	$CI \vee (ACAK) \rightarrow CO; R_n \vee (ACAK) \rightarrow R_n$
	2	$CI \vee (CAK) \rightarrow CO; M \vee (ACAK) \rightarrow AT$
	3	$CI \vee (BAK) \rightarrow CO; AT \vee (BAK) \rightarrow AT$
7	1	$CI \vee (R_n \wedge ACAK) \rightarrow CO; R_n \bar{\odot} (ACAK) \rightarrow R_n$
	2	$CI \vee (M \wedge ACAK) \rightarrow CO; M \bar{\odot} (ACAK) \rightarrow AT$
	3	$CI \vee (AT \wedge BAK) \rightarrow CO; AT \bar{\odot} (BAK) \rightarrow AT$

CI - бит входа переноса; CO - бит выхода переноса
 B, M - индексы, обозначающие M, и ст. бит соответственно

Микрофункции ЦПЗ (продолжение) Таблица 11с

К- опн.	К- опн.	Операция (K=00)	Мнем.	Операция (K=11)	Мнем.
0	1	$R_n + CI \rightarrow R_n, AC$	ILR	$AC + R_n + CI \rightarrow R_n, AC$	ALR
	2	$M + CI \rightarrow AT$	ACM	$M + AC + CI \rightarrow AT$	AMA
	3	$AL \rightarrow AO; ATN \rightarrow AL$ $LI \rightarrow AN$	SRA	См. табл. П.2	
1	1	$R_n \rightarrow PA; R_n + CI \rightarrow R_n$	LMI	$M \rightarrow PA; R_n - 1 + CI \rightarrow R_n$	BSM
	2	$M \rightarrow PA; M + CI \rightarrow AT$	LMM	$M \rightarrow PA; M - 1 + CI \rightarrow AT$	LDM
	3	$CI + \overline{AT} \rightarrow AT$	CZA	$AT - 1 + CI \rightarrow AT$	ACA
2	1	$CI - 1 \rightarrow R_n$	CSR	$AC - 1 + CI \rightarrow R_n$	SAR
	2	$CI - 1 \rightarrow AT$	CSA	$AC - 1 + CI \rightarrow AT$	SAA
	3	См. CSA		$B - 1 + CI \rightarrow AT$	LBI
3	1	$R_n + CI \rightarrow R_n$	INR	$AC + R_n + CI \rightarrow R_n$	AQR
	2	См. ACM	INA	См. AMA	
	3	$AT + CI \rightarrow AT$		$B + AT + CI \rightarrow AT$	AIA
4	1	$CI \rightarrow CO; O \rightarrow R_n$	CLR	$CI \{ \vee \} (R_n \wedge AC) \rightarrow CO; R_n \wedge AC \rightarrow R_n$	ANR
	2	$CI \rightarrow CO; O \rightarrow AT$	CLA	$CI \{ \vee \} (M \wedge AC) \rightarrow CO; M \wedge AC \rightarrow AT$	ANM
	3	См. CLA		$CI \{ \vee \} (AT \wedge B) \rightarrow CO; AT \wedge B \rightarrow AT$	ANZ
5	1	См. CLR		$CI \{ \vee \} R_n \rightarrow CO; R_n \rightarrow R_n$	TZR
	2	См. CLA		$CI \{ \vee \} M \rightarrow CO; M \rightarrow AT$	LTM
	3	См. CLA		$CI \{ \vee \} AT \rightarrow CO; AT \rightarrow AT$	TZA
6	1	$CI \rightarrow CO; R_n \rightarrow R_n$	NOP	$CI \{ \vee \} AC \rightarrow CO; R_n \vee AC \rightarrow R_n$	ORR
	2	$CI \rightarrow CO; M \rightarrow AT$	LMP	$CI \{ \vee \} AC \rightarrow CO; M \vee AC \rightarrow AT$	ORM
	3	См. NOP		$CI \{ \vee \} B \rightarrow CO; B \vee AT \rightarrow AT$	ORZ
7	1	$CI \rightarrow CO; \overline{R_n} \rightarrow R_n$	CMR	$CI \{ \vee \} (R_n \wedge AC) \rightarrow CO; R_n \oplus AC \rightarrow R_n$	XNP
	2	$CI \rightarrow CO; \overline{M} \rightarrow AT$	LCM	$CI \{ \vee \} (M \wedge AC) \rightarrow CO; M \oplus AC \rightarrow AT$	XNM
	3	$CI \rightarrow CO; \overline{AT} \rightarrow AT$	CMA	$CI \{ \vee \} (AT \wedge B) \rightarrow CO; B \oplus AT \rightarrow AT$	XNI

K, B, M - информация на шинах K, B, M соответственно;
 AC - содержимое аккумулятора; AT - содержимое AC или T;
 (v) - обозначение операции или переноса.

Евгений Александрович Башков

Юрий Владимирович Губарь

Микропроцессорные системы повышенного быстродействия с
микропроцессорным управлением

Учебное пособие

Редактор

Ю.И. Голос

Св. пляж, 1983, пов. 41

Подп. в печ. 4.11.83. БП № 07377. Формат 60x84/16. Бум.
Сфсетная печать. Усл. печ. л. 4,7. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 1.000 экз
Заказ 4546 . Цена 25 к.

Донецкий политехнический институт, 340066,
Донецк, ул. Артема, 58

Межвуз. полиграфпредприятие при ДПИ, 340066, Донецк, ул. Артема, 96
III уч. корп.