

9/VI -80  
↑

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

2538/2-80

11-80-72

**Я.М.Даматов, Н.М.Никитюк, Т.Ф.Сапожникова,  
Р.Шюсслер**

**СИСТЕМА КОМАНД И ПУЛЬТ ОПЕРАТОРА  
МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА М-16**

*Напечатано в журнал "Электронная промышленность"*

**1980**

## 1. КОНТРОЛЛЕР М-16 С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРОГРАММИСТА

Регистры. В состав М-16 входят 11 регистров, доступных программисту. Список регистров приведен в табл. 1, там же указано их назначение.

Таблица 1

№№	Обозначение	Разрядность	Назначение
1	A	16	Аккумулятор
2	E	16	Расширение аккумулятора
3	X	16	Индексный регистр
4	Y	16	Индексный регистр
5	P	16	Программный счетчик
6	L	16	Регистр локальной базы данных
7	S	16	Указатель магазинной памяти
8	K	16	Регистр ключей
9	IT	8	Регистр прерываний
10	M	8	Регистр маски
11	C	2	Признаки переполнения и переноса АЛУ

Представление чисел. В М-16 используются числа с фиксированной запятой со знаком. Числа могут быть длиной в слово /16 разрядов/ и в два слова /32 разряда/.

**Команды.** Для устройств, выполняемых на основе микропроцессоров секционированного типа /МПС/, необходимо создание систем команд. В разработанной для М-16 системе имеются команды для арифметических и логических операций, команды сдвигов, передачи управления и некоторые специальные команды.

В старших восьми разрядах команды содержится код операции и вид адресации, определяющий способ выборки операнда, в младших восьми - код смещения D. Предусмотрено 12 способов адресации, в том числе локальный, глобальный, косвенно-локальный, косвенно-глобальный, косвенно-локально-индексированный по X и по Y, косвенно-параметрический, магазинный, параметрический, регистровый, косвенно-регистровый, а также адресация путем положительного и отрицательного смещения.

Все команды М-16 в зависимости от исполняемой операции и используемых способов адресации делятся на 4 группы. На рис. 1 изображен формат команд. Исполнение команд первой группы отличается от исполнения команд II, III, IV групп. При исполнении команды I группы обращение к памяти микропрограммных адресов /ПМА/ идет дважды. При первом обращении к области ПМА  $AO_{16} \div A7_{16}$  осуществляется выбор начального адреса микропрограммы, реализующей заданный способ адресации /один из восьми/. Организация ПМА показана на рис. 2. Второе обращение происходит к области ПМА  $CO_{16} \div CF_{16}$ . В ней хранятся начальные адреса микропрограмм, реализующих код операции, заданный в команде.

Исполнение команд II, III, IV групп характеризуется одним обращением к области ПМА  $OO_{16} \div 7F_{16}$ . Здесь хранятся начальные адреса микропрограмм, реализующих код, заданный в одной из трех групп команд. Общее число команд равняется 55 /см. приложение/. В табл. 2 указаны время выполнения некоторых команд, их обозначения и функции.

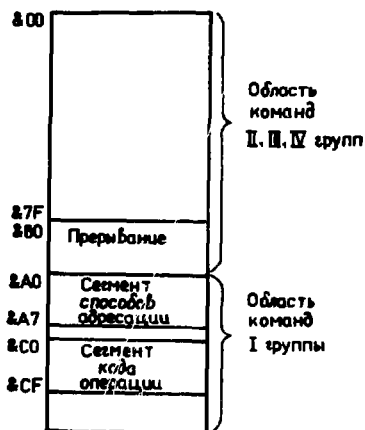
Таблица 2

Обозначение	Функция	Время выполнения /мкс/
LDA	Загрузка регистра из памяти	12
STA	Запись регистра в память	12
MUL	Умножение целых чисел	100 /среднее/
DIV	Деление целых чисел	170 /среднее/
RDC	Чтение информации с блока КАМАК	12
WDC	Запись информации в блок КАМАК	12

Группы команд	Разряды команды															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	1	Способ адресации			Код операции				Операнд							
II	0	0	0	Способ адрес.	Код операции				Операнд							
III	0	1	0	Способ адрес.	Код операции				Операнд							
IV	0	1	Способ адресации		Код операции				Операнд							

Рис. 1. Формат команд.

Рис. 2. Организация ПМА. ▶



## 2. ПУЛЬТ ОПЕРАТОРА

На рис. 3 показан общий вид блока М-16. Для диагностики ошибок при отладке программ и микропрограмм создан пульт оператора /ПО/, расположенный на лицевой панели блока.

На пульте оператора имеется световое табло /СТ/ для индикации 16-значной цифровой информации, включающее 4-значное адресное поле - ADDR, 4-значное поле данных - DATA и 8-значное поле инструкции - JNSTR.

С помощью переключателя памяти MEM1/MEM2/MEM3 на адресном поле можно индцировать содержимое одного из трех адресных регистров оперативной памяти /ОЗУ/, памяти микрокоманд /ПМ/ или микропрограммных адресов. Одновременно на поле инструкции высвечивается код микрокоманды, а на поле данных - либо содержимое ячейки ОЗУ, либо ПМА в соответствии с положением переключателя памяти. Вся информация индцируется в шестнадцатеричном коде, что позволяет, например, в 8-значном поле инструкции высветить 32-разрядный код микрокоманды.

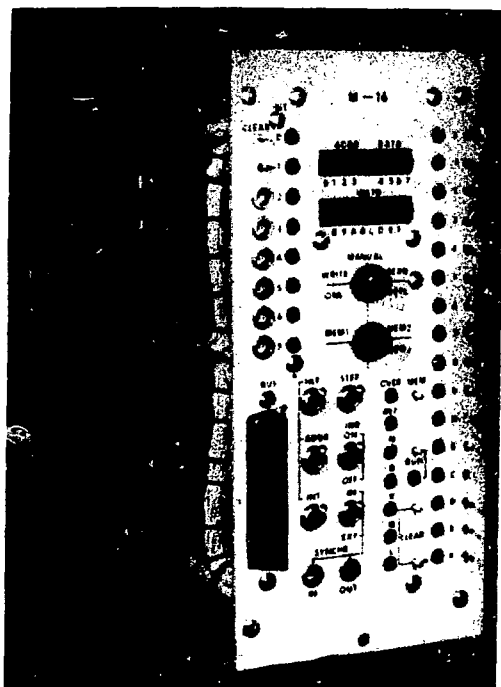


Рис. 3. Общий вид блока М-16.

С помощью переключателя **MANUAL** можно установить один из двух ручных режимов работы - ввода или вывода информации. Предусмотрено 16 ключей для ввода информации, два - для останова программы по заданному адресу и по прерыванию, а также ключ для работы программы в шаговом режиме.

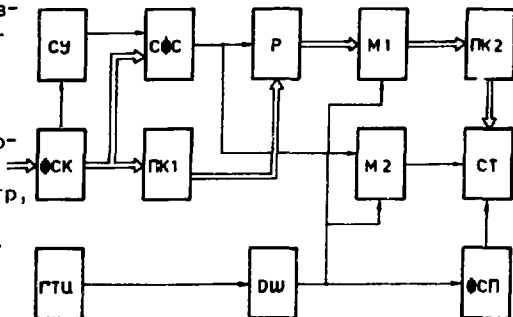
Световое табло реализовано на четырех микросхемах типа АЛС 311А. Способность семисегментного светодиода данного типа выдерживать не менее чем 20-кратные кратковременные перегрузки позволило создать систему индикации, работающую в режиме разделения по времени, и существенно сократить при этом аппаратные затраты <sup>1/</sup>. В данной системе сканируется 16 знаков светового табло. Функциональная схема системы индикации и ручного ввода информации показана на рис. 4. По коду, поступающему из двоичного шифратора /ДШ/, в формирователе сигнала позиции /ФСП/ формируется сигнал, который поступает на катод одного из 16 семисегментных светодиодов. Формирователь позиции включает

в себя схему дешифрации 4-разрядного двоичного кода в позиционный код и схему усиления. Генератор тактовых импульсов /ГТИ/ вырабатывает тактовые сигналы с частотой  $30 \pm 40$  кГц, которые поступают на вход ДШ. Кроме того, схема ГТИ содержит детектор тактовых сигналов, который в случае неисправной работы ГТИ отключает схему ФСП, предохраняя светодиоды от перегрузки.

С выхода ДШ 4-разрядный код также поступает на управляющие входы мультиплексоров 1 и 2 /M1, M2/ для выбора канала прохождения информации. Ввод информации осуществляется в два этапа. На первом этапе нажатием одного из 16 ключей выбирается значащий разряд /позиция/, т.е. тот разряд, куда подлежит записать информацию. Признаком завершения первого этапа ввода информации является светящаяся точка на месте выбранного разряда. На втором этапе производится непосредственный ввод 16-ричной информации. При этом в выбранной позиции появляется 16-ричный код вводимого числа, а светящаяся точка гаснет.

Выбор позиции и ввод информации осуществляются с помощью 16 ключей  $0 \div F$  / см. рис. 3/, расположенных на пульте оператора. Таким образом, для занесения и высвечивания вводимого числа требуется дважды нажать на ключи. При первом нажатии сигнал с ключей через формирователь сигнала ключей /ФСК/, схему формирования стробов /СФС/ и M2 поступает на анод восьмого сегмента /точка/ светодиода, что соответствует выбору значащего разряда /позиции/. При этом M2 через информационные входы пропускает один из 16 сигналов позиции - в соответствии с нажатым ключом. СФС предназначена для выработки сигнала, поступающего на информационный вход M2 и подготовки стробирующего сигнала

Рис. 4. Функциональная схема системы индикации и ручного ввода информации. СУ - схема управления, ФСК - формирователь сигнала ключей, ГТИ - генератор тактовых импульсов, СФС - схема формирования стробов, ПК - преобразователь кода, Р - регистр, ДШ - двоичный шифратор, М - мультиплексор, СТ - световое табло, ФСП - формирователь сигнала позиции.



для выбранного информационного регистра /Р/. При повторном нажатии одного из ключей сигнал с выхода СФК через преобразователь кода /ПК1/ заносится в регистр Р, с выхода которого сигнал через М1 и преобразователь кода /ПК2/ поступает на аноды семисегментного светодиода. Таким образом, в выбранной позиции высвечивается набранное при повторном нажатии число. ПК1 предназначен для формирования позиционного кода в 16-ричный, ПК2 - для преобразования 4-разрядного 16-ричного кода в 7-разрядный. ФСК реализован на основе триггеров и предназначен для подавления коммутационных шумов, возникающих при нажатии ключей. Схема управления /СУ/ содержит логику управления системой ввода информации.

### 3. ПРИМЕРЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ М-16

Возможности микропроцессорных систем существенно расширяются при их реализации на основе идеологии КАМАК. Это наглядно видно на примере организации системы ввода-вывода. Обмен данными между центральным процессором М-16 со всеми функциональными блоками, выполненными в стандарте КАМАК, осуществляется через контроллер крейта /каркаса/ /КК/ и единый унифицированный канал, в роли которого выступает магистраль КАМАК. Связь с внешними устройствами /ВУ/, такими, как фотосчитыватель /ФСУ/, перфоратор и проч., реализуется также через магистраль КАМАК и специализированный интерфейс ВУ, выполненный в стандарте КАМАК [2].

На рис. 5 приведен пример конфигурации автономной системы КАМАК с использованием М-16. Система состоит из одного крейта, в состав которого входят М-16, внешнее ОЗУ, КК, интерфейс ФСУ /ИФ/, функциональные блоки.

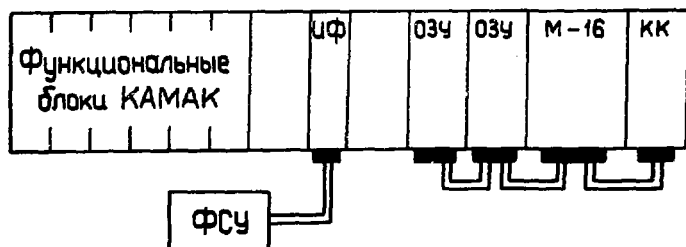


Рис. 5. Конфигурация автономного крейта КАМАК с использованием М-16.

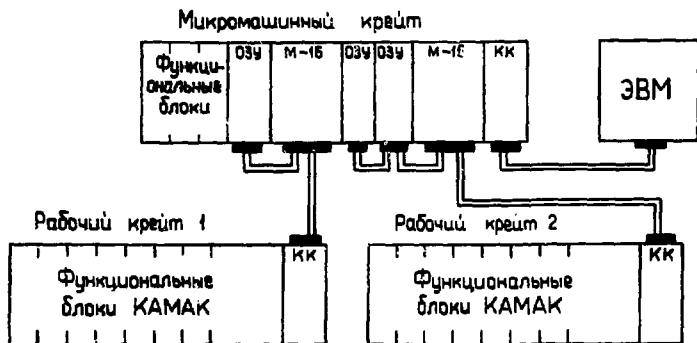


Рис. 6. Пример организации трехкрейтной системы КАМАК с использованием М-16.

На рис. 6 представлен второй пример конфигурации системы, которую можно реализовать с использованием М-16. Система включает в себя микромашиный крейт /ММК/ и рабочие крейты КАМАК. ММК содержит блоки М-16, каждый из которых через свою дополнительную магистраль связан с внешней памятью. В состав рабочих крейтов входят функциональные блоки, обслуживающие тот или иной эксперимент. Причем каждый рабочий крейт находится под управлением закрепленного за ним блока М-16. В системе предусмотрен двусторонний обмен данными между блоками М-16 и головной ЭВМ. Инициатива для начала обмена данными между головной ЭВМ и М-16 может исходить как от ЭВМ, так и от М-16. В первом случае это реализуется путем инициирования сигнала прерывания в виде команды NAF со стороны ЭВМ. В случае, когда инициатива исходит от М-16, надо различать два варианта. В первом варианте инициатива реализуется в виде инициирования прерывания со стороны М-16. Во втором варианте - в виде выработки флажка Q, при этом ЭВМ должна работать в режиме его опроса. После инициирования прерывания или выставления флажка М-16 переходит в режим "Ожидание". Возможность перехода в режим "Ожидание" позволяет осуществить синхронизацию при работе с различными по быстродействию внешними ОЗУ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральный процессор является процессором с микропрограммным управлением. Общий объем внутренней памяти равняется 6,3 К байт, в том числе объем ОЗУ - 2 К байта. С помощью до-



полнительной магистрали возможно расширение ОЗУ до 64 К слов. Длина слова равняется 16 разрядам, предусмотрена работа с двойной длиной слова /32 разряда/.

В состав М-16 входят 11 регистров, доступных программисту. Используются числа с фиксированной запятой со знаком.

Общее число команд равно 55, среди них - команды для арифметических и логических операций, команды сдвигов, передачи управления и некоторые специальные команды. Предусмотрено 12 способов адресации.

Пульт оператора совместно с системой индикации и ручного ввода информации позволяет осуществлять оперативную диагностику и устранение ошибок при отладке программ и микропрограмм.

В блоке имеется 8-уровневая схема приоритетного прерывания. Длительность машинного цикла равняется 3,2 мкс.

Блок занимает шесть нормальных станций в корпусе КАМАК.

В заключение авторы благодарят М.Д.Шафранова, В.П.Ширикова, Н.А.Водопьянову, А.А.Хошенко за внимание и поддержку.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Команды Обозначение

### Команды загрузки

- |                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1. Загрузка регистра А         | LDA |
| 2. Загрузка регистра В         | LDE |
| 3. Загрузка регистра X         | LDX |
| 4. Загрузка регистра Y         | LDY |
| 5. Загрузка адреса в регистр А | LEA |

### Арифметические команды

- |                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 6. Сложение                           | ADD |
| 7. Вычитание                          | SUB |
| 8. Умножение                          | MUL |
| 9. Деление                            | DIV |
| 10. Увеличение содержимого регистра X | ICX |
| 11. Увеличение содержимого регистра Y | ICY |
| 12. Уменьшение содержимого регистра X | DCX |
| 13. Уменьшение содержимого регистра Y | DCY |

### Логические команды

14. Логическое умножение	AND
15. Логическое сложение	OR
16. Сложение по модулю 2	XOR
17. Отрицание	NOT

### Команды записи /хранение/

18. Запись содержимого регистра A	STA
19. Запись содержимого регистра B	STB
20. Запись содержимого регистра X	STX
21. Запись содержимого регистра Y	STY
22. Запись содержимого регистра в стековую память	STP

### Команды перехода

23. Безусловный переход	BRU
24. Переход, если содержимое регистра A=0,	BAZ
25. Переход, если $A \neq 0$ ,	BNZ
26. Переход, если $A < 0$ ,	BAN
27. Переход, если $A \geq 0$ ,	BPZ
28. Переход, если A - четное,	BBZ
29. Переход, если A - нечетное,	BBN
30. Переход, если $X = 0$ ,	BXZ
31. Переход, если $Y = 0$ ,	BYZ
32. Безусловный переход с записью адреса возврата в стековую память	JMS

### Пропуск команды

33. Пропуск команды, если содержимое регистра A равно операнду ( $A = N$ ),	SEG
34. Пропуск команды, если $A \neq N$ ,	SNE
35. Пропуск команды, если $A \leq N$ ,	SLT
36. Пропуск команды, если $A \geq N$ ,	SGT
37. Увеличение слова памяти на 1, пропуск команды, если результат равен 0,	SIZ
38. Уменьшение слова памяти на 1, пропуск команды, если результат $\neq 0$ ,	SDZ

### Команды сдвигов

39. Логический сдвиг влево регистра А	SLLS
40. Логический сдвиг вправо регистра А	SRLS
41. Циклический сдвиг влево регистра А	SLCS
42. Циклический сдвиг вправо регистра А	SRCS
43. Логический сдвиг влево регистра А,Е	SLLD
44. Логический сдвиг вправо регистра А,Е	SRLD
45. Циклический сдвиг влево регистра А,Е	SLCD
46. Циклический сдвиг вправо регистра А,Е	SRCL
47. Арифметический сдвиг вправо регистра А	SAS
48. Арифметический сдвиг вправо регистра А,Е	SAD

### Специальные команды

49. Запись содержимого регистра А во внешний регистр	WD
50. Чтение внешнего регистра в регистр А	RD
51. Вызов программной секции	SLS
52. Возврат из программной секции	RTL
53. Возврат из программы обработки прерывания	RIT
54. Обращение к блоку КАМАК на запись информации	WDC
55. Обращение к блоку КАМАК на чтение информации	RDC

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kühn M. Hexadezimalanzeige mit TTL-Schaltkreisen. Radio fernsehen elektronik, 1978, 27, N.7, S. 458, u. 459.
2. Немеш Т. Интерфейс считывателя FS 1500/1501 и перфоратора PERFORMOM 30. Сообщение ОИЯИ, 10-11696, Дубна, 1978.
3. Водопьянова Н.А. и др. Применение 16-разрядного микропроцессорного контроллера в стандарте КАМАК для цифрового регулирования. Proceedings of the Symposium on microcomputer and microprocessor application. Budapest, 17-19 October, 1979, Vol. 11, pp. 689-696.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 февраля 1980 года.