

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 681.325

Ю. Н. ЗОЛОТУХИН, Ю. М. КРЕНДЕЛЬ,
 В. С. ЯКУШЕВ, А. П. ЯН

(Новосибирск)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА В СТАНДАРТЕ КАМАК

Прогресс в развитии микроэлектронной технологии привел не только к расширению области применения вычислительной техники, но также к возможности построения систем автоматизации, обладающих небольшой стоимостью, незначительным потреблением мощности, малыми габаритами, что при учете возможности обеспечения их достаточно развитыми программными средствами позволяет максимально приблизить такого рода системы к объектам автоматизации.

В данной работе описан комплект микропроцессорных устройств, разработанных в Институте автоматизации и электротехники СО АН СССР. Комплект предназначен для создания автономных систем автоматизации научно-технических экспериментов в стандарте КАМАК.

В состав комплекта входят следующие устройства (рис. 1): МС — микро-ЭВМ, М-16 К — оперативная память емкостью 16 Кбайт, CONSOLE — пульт оператора, СС — крейт-контроллер. Указанные устройства системы через разъемы на передних панелях объединены с помощью магистрального канала связи.

Магистральный канал связи. Магистральный канал связи (BUS) представляет собой общую шину, предназначенную для обмена информацией между устройствами, входящими в систему. В таблице приведен состав BUS.

На шинах Ф1 и Ф2 источником сигналов является микро-ЭВМ, на шинах данных может выступать любое устройство, подключенное к BUS, а на адресных шинах — как микро-ЭВМ, так и пульт оператора на период, когда микро-ЭВМ остановлена.

Активный сигнал (логическая «1») на шине \overline{VMA} (Valid Memory Address) указывает на то, что код, установленный на адресных шинах, может быть использован для дешифрации адреса. Источник этого сигнала — микро-ЭВМ или пульт оператора.

Активный сигнал на шине \overline{BA} (Bus Available) устанавливает микро-ЭВМ, указывая тем самым, что шины данных, адресные шины и шина R/W отключены от микро-ЭВМ и допустимо их использование пультом оператора.

Активный сигнал на шине \overline{HALT} вызывает останов микро-ЭВМ. Его источником является пульт оператора.

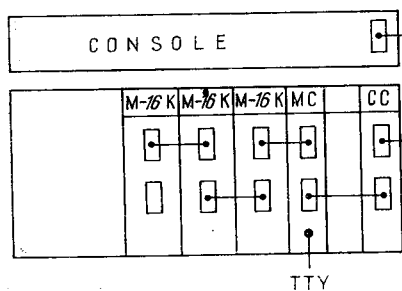


Рис. 1.

Номер п/п	Мнемоника шин	Направленность	Активный уровень	Наименование	Группа шин
1	D0—D7	Двунаправленные	H	0—7 — разряды данных 0 — младший разряд	Шины данных
2	A0—A15	Однонаправленные	H	0—15 — разряды адреса 0 — младший разряд	Адресные шины
3	\overline{IRQ}	Однонаправленная	L	Требование маскируемого прерывания	Шина управления
4	$\overline{IT}(TTY)$	То же	L	Требование прерывания от телетайпа	То же
5	$\overline{IT}(RTC)$	»	L	Требование прерывания от часов реального времени	»
6	$\overline{IT}(CONSOLE)$	»	L	Требование прерывания от пульта	»
7	\overline{IT} (резерв)	»	L	Требование прерывания резервное	»
8	\overline{IT} (резерв)	»	L	То же	»
9	$\overline{IT}(\text{RESET} *)$	»	L	Требование прерывания по RESET *	»
10	$\overline{IT}(PF)$	»	L	Требование прерывания от исчезновения напряжения	»
11	\overline{VMA}	»	L	Адрес истинный	»
12	BA	»	H	Шины доступны	»
13	$\overline{REF REQ}$	»	L	Требование регенерации	»
14	REF GRANT	»	H	Разрешение регенерации	»
15	\overline{HALT}	»	L	Останов	»
16	\overline{NMI}	»	L	Требование немаскируемого прерывания	»
17	R/W	»	H/L	Чтение/запись	»
18	MCLK	»	H	Синхронизация	»
19	\overline{RESET}	»	L	Сброс	»
20	$\Phi 1$	»	H	Тактирующий импульс	»
21	$\Phi 2$	»	H	То же	»
22	\overline{MNR}	»	L	Память не готова	»
23	\overline{DISM}	»	L	Запрещение памяти	»

Примечание. H (L) означает высокий (низкий) уровень напряжения.

Высокий (низкий) уровень сигнала на шине R/W (Read/Write) указывает на то, что на BUS идет операция чтения (записи). Источниками сигнала могут быть как микро-ЭВМ, так и пульт оператора. Активный сигнал на шине \overline{MNR} (Memory Not Ready) вызывает останов микро-ЭВМ и должен появляться при работе микро-ЭВМ с медленной памятью, которая и служит источником такого сигнала.

Активный сигнал на шине \overline{DISM} (Disable Memory) отключает модуль памяти, на вход которого он подается. С его помощью организуется приоритетный механизм, исключающий конфликтную ситуацию при наличии совпадающих адресов в системе. Источниками сигнала могут быть контроллер крейта, микро-ЭВМ или пульт оператора.

Активный сигнал на шине $\overline{\text{NMI}}$ (Non Maskable Interrupt) вызывает немаскируемое прерывание текущей программы микро-ЭВМ. Его источник — пульт оператора, который генерирует этот сигнал при любом изменении внутреннего состояния.

Появление активного сигнала на шине $\overline{\text{RESET}}$ приводит к установке в исходное состояние микро-ЭВМ, пульта оператора и контроллера крейта. Источники этого сигнала — кнопки RST на передней панели управления пульта, а также включение напряжения питания системы.

Появление активного уровня сигнала на шине $\overline{\text{IRQ}}$ (Interrupt Request) вызывает маскируемое прерывание текущей программы микро-ЭВМ, если оно не запрещено. Источниками этого сигнала являются контроллер крейта, а также телетайп, часы реального времени, сигнал $\overline{\text{RESET}}$ *, пульт оператора, устройство, фиксирующее исчезновение напряжения питания, вырабатывающие соответствующие сигналы ($\overline{\text{IT}}(\text{TTY})$, $\overline{\text{IT}}(\text{RTC})$, $\overline{\text{IT}}(\overline{\text{RESET}}^*)$, $\overline{\text{IT}}(\text{CONSOLE})$, $\overline{\text{IT}}(\text{PF})$).

На шине MCLK (Memory Clock) постоянно генерируются сигналы с частотой следования импульсов $\Phi 2$. В качестве источника используется микро-ЭВМ.

Активный уровень сигнала на шине $\overline{\text{REF REQ}}$ (Refresh Request) означает запрос на регенерацию динамической памяти системы. Источник этого сигнала — модуль ОЗУ 16 К.

Активный уровень сигнала на шине $\overline{\text{REF GRANT}}$ (Refresh Grant), который устанавливается после появления активного уровня сигнала на шине $\overline{\text{REF REQ}}$, останавливает микро-ЭВМ на период регенерации памяти. Источником сигнала на шине $\overline{\text{REF GRANT}}$ служит генератор синхроимпульсов микро-ЭВМ.

Микро-ЭВМ. Основу базовой системы составляет универсальная 8-разрядная микро-ЭВМ, для построения которой использован микропроцессорный набор семейства 6800 (MOTOROLA 6800, AMI 6800, HITACHI HMCS 6800, ISKRA 6800).

Структурная схема микро-ЭВМ приведена на рис. 2. Здесь MPU (Microprocessing Unit — микропроцессор, RAM (Random Access Memory) — оперативная память емкостью 2 К, EPROM (Erasable Reprogrammed Read Only Memory) — перепрограммируемая память (ППЗУ) емкостью 3 Кбайт, CLK (Clock Generator) — генератор синхроимпульсов, ACIA (Asynchronous Communication Interface Adapter) — последовательный интерфейс, RTC (Real Time Clock) — часы реального времени.

Микро-ЭВМ размещена на одной плате КАМАК и конструктивно

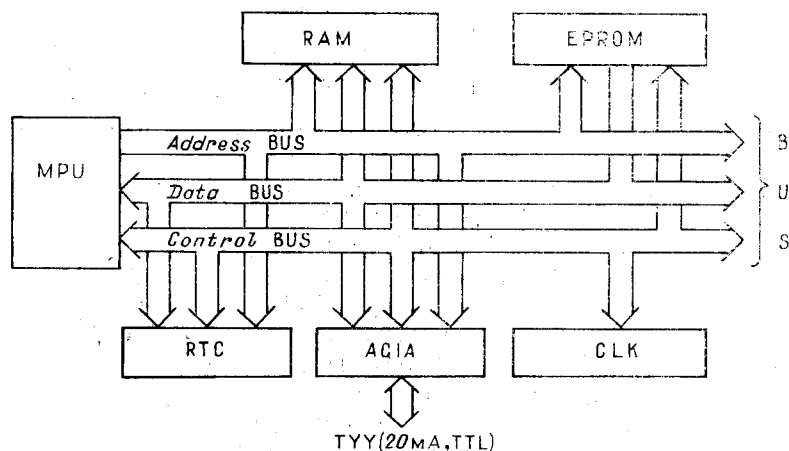


Рис. 2.

оформлена в виде модуля КАМАК шириной 2М. Восьмиразрядный микропроцессор (MPU) выполнен на одном кристалле и имеет фиксированную архитектуру и систему команд.

MPU содержит три 16-разрядных (Program Counter, Stack Pointer, Index Register) и три 8-разрядных (Accumulator A, Accumulator B, Condition Code Register) регистра, доступных для использования программистом.

Оперативная память (ОЗУ) микро-ЭВМ емкостью 2 Кбайт организована на базе микросхем статической памяти типа RAM с матрицей 128×8 байт. Время выборки из ОЗУ составляет 450 нс.

Перепрограммируемая память (ППЗУ) микро-ЭВМ емкостью 3 Кбайт организована на трех микросхемах типа EPROM, имеющих матрицу 1024×8 бит. Время выборки из ППЗУ составляет 500 нс. В составе RTC имеется 8-разрядный регистр, 7 разрядов которого используются для задания временного интервала ($0 < T \leq 127$); цена единицы T определяется восьмым разрядом R этого регистра так, что если $R = 0$, то период равен 10 мс, а если $R = 1$, то период равен 100 мкс. При переполнении счетчика генерируется сигнал на шине $\overline{IT}(RTC)$, который вызывает векторизованное прерывание (см. ниже).

Генератор синхроимпульсов (CLK) формирует неперекрывающиеся импульсы $\Phi 1$ и $\Phi 2$ на BUS с частотой следования 1 МГц для синхронизации работы устройств системы.

Последовательный интерфейс (ASIA) предназначен для связи микро-ЭВМ с телетайпом, и его функции состоят в преобразованиях параллельного кода в последовательный (при выводе данных из ЭВМ) и последовательного кода в параллельный (при вводе данных в ЭВМ). В состав ASIA входят четыре 8-разрядных регистра: передачи, приема данных, управления и статуса. Имеется возможность задания различных скоростей передачи данных. Для передачи данных из (в) ЭВМ используется сигнал векторизованного прерывания $\overline{IT}(TTY)$.

Пульт оператора. Пользователи микро-ЭВМ, выпускаемых в настоящее время промышленностью, как правило, лишены традиционных возможностей, предоставляемых им при эксплуатации мини-ЭВМ и ЭВМ более высокой производительности. Среди этих возможностей можно назвать доступ к внутренним регистрам процессора, останов работы ЭВМ, исполнение программы по командам и т. д.

Для облегчения работы с микро-ЭВМ, отладки программ и обнаружения неисправностей в системе разработан пульт оператора.

Структурная схема пульта приведена на рис. 3. Пульт подключается к BUS и конструктивно оформляется в виде блока, монтируемого в приборную стойку КАМАК.

Процессор семейства 6800 устроен таким образом, что по прерыванию текущей программы содержимое его внутренних регистров переносится в ОЗУ, а при возвращении из прерывания прежнее содержимое этих регистров восстанавливается. На этом основана работа пульта. После прерывания от пульта (NMI) прекращается исполнение текущей программы, содержимое внутренних регистров процессора переносится в ОЗУ, начинает работать программа (микропрограмма), обслуживающая пульт. Эта программа может по требованию оператора либо индентифицировать, либо модифицировать как содержимое внутренних регистров процессора (по сути дела, содержимое соответствующих ячеек ОЗУ), так и содержимое любых ячеек памяти микро-ЭВМ.

Исполнение программы по командам осуществляется автоматическим установлением прерывания NMI при возвращении к прерванной программе. При этом должна успеть исполниться только одна команда текущей программы. Далее оператор может просмотреть новое содержание регистров процессора и вновь повторить эти действия.

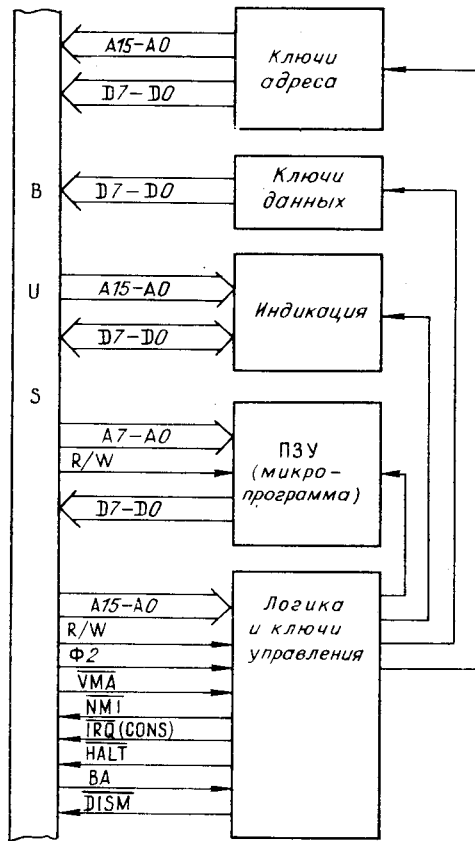


Рис. 3.

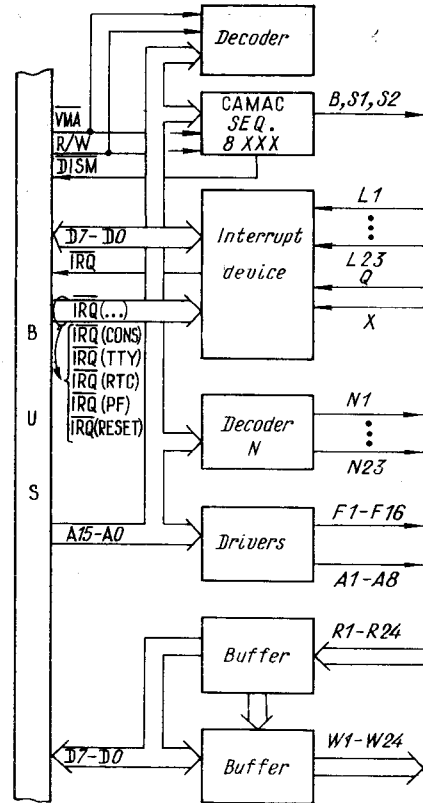


Рис. 4.

Таким образом, пульт предоставляет оператору следующие возможности: индикацию и изменение содержимого внутренних регистров процессора; запуск программы с выбранного адреса; индикацию и изменение содержимого ячеек памяти; останов программы по фиксированному адресу; пошаговое исполнение программы; запись (считывание) в память (из памяти) с автоматическим наращиванием последовательных адресов; останов текущей программы; имитацию шины процессора (процессор при этом может отсутствовать). Последняя из возможностей удобна при отладке аппаратных средств.

Крейт-контроллер КАМАК. Контроллер удовлетворяет требованиям стандарта МЭК 516, он предназначен для управления от микро-ЭВМ КАМАК-оборудованием, расположенным в одном крейте. Контроллер выполнен в виде сменного блока шириной 2М на двух печатных платах.

Блок-схема контроллера представлена на рис. 4. В состав контроллера входят следующие регистры: 24-разрядный регистр данных (DR), статусный регистр (SR), регистр управления (CR) и регистр состояния программы (PSR).

Младший (LW), средний (MW) и старший (HW) байты DR, а также регистры SR, CR и PSR представлены для процессора микро-ЭВМ как ячейки памяти с некоторыми фиксированными адресами. Заметим, однако, что в регистр CR можно только записывать информацию, а из регистра SR — только считывать. Регистры же DR и PSR таковы, что информация может быть и записана в них, и считана из них. Значение разрядов SR дано ниже:

7							0
Q	X	I	1	1	1	1	1

Регистр CR имеет следующий формат:

7							0
DX	DQ	EQ	\overline{EQ}	RI	SI	0	0

Здесь DX — установка в «1» («0») запрещает (разрешает) прерывание по X; DQ — установка в «1» запрещает прерывание по Q и \overline{Q} и разрешает все остальные; EQ — установка в «1» разрешает прерывания по Q и запрещает по запросам модулей; \overline{EQ} — установка в «1» разрешает прерывания по \overline{Q} и запрещает по запросам модулей; SI — установка сигнала I (ЗАПРЕТ) магистрали крейта; RI — сброс сигнала I. Разряды 2–6 CR устанавливаются селективно. Исключение составляет разряд 7.

DX = 1 — все последующие КАМАК-операции проводятся с запрещением прерывания по X; DX1 → 0 — только следующая КАМАК-операция осуществляется с запрещением прерывания по X; DX = 0 — разрешено прерывание по X.

Регистр PSR имеет три поля:

7							0
F	Q	X	← M →				

Здесь F — флаг уровня вложенности прерывания программы (F = 0 означает, что прерванная программа основная, F = 1 означает, что прерванная программа — программа обработки прерывания); Q и X содержат значения сигналов Q и X во время прерывания программы; M указывает уровень приоритета прерывания текущей программы (системную маску прерывания).

Команды КАМАК генерируются в контроллере при обращении процессора микро-ЭВМ к ячейкам, лежащим в выделенном адресном пространстве. Это адресное пространство (КАМАК-адреса) занимает массив памяти объемом 16 Кбайт. Такое «неэкономное расходование» оперативной памяти позволило, однако, существенно сократить время, необходимое для исполнения операций на магистрали крейта КАМАК.

Для исполнения команд управления КАМАК (F8 = 1) используется следующий формат адреса:

15															0
a_1	a_2	F16	F8	F4	F2	F1	N16	N8	N4	N2	N1	A8	A4	A2	A1

Для исполнения команд чтения/записи КАМАК (F8 = 0) используется следующий формат адреса:

15															0
a_1	a_2	M	F8	F4	F2	F1	N16	N8	N4	N2	N1	A8	A4	A2	A1

В этом формате уровень сигнала на шине F16 есть «0» при операции чтения и «1» при операции записи; соответствующее же поле КАМАК-адресов используется для задания различных режимов работы контролле-

ра. Таким образом, КАМАК-адреса формируются из кодов команд NAF в адресном пространстве, задаваемом кодом a_1a_2 внутри массива 64 Кбайт.

Режим работы контроллера зависит от того, по какому адресу памяти (из пространства КАМАК-адресов) обращается процессор микро-ЭВМ для выполнения операций чтения или записи. Заметим, что здесь циклы обращения к памяти удлиняются (с помощью активного сигнала на шине MNR). Существует два режима чтения: $M=0$ — стандартный и $M=1$ — многобайтный, а также два режима записи: $M=0$ — стандартный и $M=1$ — режим копирования.

Стандартный режим чтения используется для чтения из модулей КАМАК, которые выдают не более восьми разрядов данных, а также при выключенной системе прерываний (см. ниже). В этом режиме при исполнении операции чтения содержимое LW загружается в микро-ЭВМ.

Многобайтный режим чтения реализуется для чтения из модулей, которые выдают 16- или 24-разрядные данные. В этом режиме при исполнении операции чтения содержимое MW загружается в микро-ЭВМ. Векторизованное прерывание при этом запрещается, что позволяет программе считать байты HW и LW без прерывания (и, следовательно, без возможной потери информации). После исполнения команды чтения LW контроллер разрешает обработку векторизованных прерываний.

Стандартный режим записи используется для передачи одного, двух или трех байтов. В этом режиме перед выполнением операции записи на магистрали крейта осуществляется запись LW в DR.

В случае передачи двух (трех) байтов микро-ЭВМ прежде всего проводит запись данных в MW (или MW и HW); при этом векторизованное прерывание выключается (и, следовательно, исключается возможность потери информации). Векторизованное прерывание разрешается после завершения операции на магистрали крейта.

Режим копирования представляет собой непрерываемую передачу 24-разрядного слова данных из модуля в модуль без изменения содержимого каких-либо внутренних регистров микро-ЭВМ. Он осуществляется исполнением последовательности из двух команд, первая из которых вызывает многобайтное чтение (и запрещает векторизованное прерывание), а вторая проводит запись в режиме копирования, в результате чего только что прочитанные данные пересылаются в модуль (при этом запись LW в DR перед выполнением операции на магистрали крейта не проводится) и разрешается векторизованное прерывание.

Для команд управления имеется два режима: стандартный и с проверкой Q и X. В стандартном режиме требуемая управляющая команда инициируется командой записи по адресу соответствующего формата из пространства КАМАК-адреса. Содержимое шин данных BUS при этом игнорируется.

Режим с проверкой Q и X инициируется командой чтения ячейки памяти из пространства КАМАК-адресов. При этом значения Q и X будут записаны в SR. Сигналы Z и C генерируются при исполнении команды записи в ячейку памяти с адресом $A000_{16}$ и при условии установки определенного кода на шинах данных BUS.

В контроллере организована 32-уровневая система векторизованного прерывания. Каждому из 32 источников прерывания соответствует свой вектор прерывания. При возникновении требования прерывания от некоторого источника в контроллере формируется соответствующий этому источнику вектор прерывания, по которому микро-ЭВМ переходит на программу обработки данного прерывания.

Источниками прерывания могут быть запросы L от модулей КАМАК (L1 — L22), пульт оператора, телетайп, часы реального времени, сигнал об исчезновении напряжения, сигналы X, Q; кроме того, несколько векторов прерывания зарезервировано для пользователей.

В контроллере, как указывалось выше, предусмотрено запрещение векторизованного прерывания на период выполнения ряда операций.

М-16К — оперативная память. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) предназначено для хранения информации в системе. ОЗУ выполнено в виде модуля КАМАК шириной 1М и представляет собой динамическую память с произвольным доступом объемом $16\text{ К} \times 8$ бит. Возможности адресации процессора позволяют подключить до 4 таких модулей.

При аварийном отключении питания модуль переходит в режим хранения информации, при этом он потребляет от резервного источника (аккумулятора или батареи) $+12\text{ В}$ не более 350 мА.

Структурно ОЗУ состоит из 32 микросхем памяти динамического типа объемом $4\text{ К} \times 1$ бит. Матрица элементов памяти разбита на 4 линейки по 8 микросхем в каждой.

В модуле существует автономная система регенерации, необходимая для работы динамических элементов памяти. Она состоит из тактового генератора, работающего на частоте около 64 кГц, счетчика адреса регенерации и схемы запроса на регенерацию. Импульсы тактового генератора инициируют активный сигнал на шине REF REQ, реакцией на который является установление активного сигнала на шине REF GRANT, воспринимаемого модулем ОЗУ как разрешение цикла регенерации. Уровень REF REQ поддерживается на BUS в течение одного машинного цикла, после чего микро-ЭВМ переходит к выполнению текущей программы. Установление следующего активного уровня сигнала на шине REF REQ произойдет через 16 мкс. Полный цикл регенерации информации в ОЗУ осуществляется примерно за 1 мс. При использовании в системе нескольких модулей ОЗУ лишь один из них должен генерировать запрос на регенерацию.

При аварийном отключении питания вырабатывается специальный сигнал POWER FAIL, по которому модуль ОЗУ переходит в режим внутренней регенерации.

*Поступила в редакцию
5 октября 1979 г.*

УДК 681.327.3

**С. П. ВИКУЛОВ, А. Н. ВЫСТАВКИН,
В. В. РОМАНОВЦЕВ, О. Е. ШУШПАНОВ**
(Москва)

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ДВУХПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Введение. Развитие систем автоматизации, выполненных в стандарте КАМАК, идет по пути создания «интеллектуального» терминала; при этом отдельный кейт или ветвь КАМАК управляется микропроцессором, установленным в кейте и выполняющим часть функций центральной ЭВМ. Существует несколько возможностей для сопряжения ЭВМ с подобной «интеллектуальной» системой:

ЭВМ подключается к кейту с помощью интерфейсного модуля КАМАК. В этом случае ЭВМ может быть удалена на большое расстояние от системы КАМАК. Однако быстроедействие такой системы невелико.

ЭВМ подключается к магистральному каналу и шинам управления памятью микропроцессора через специальный интерфейс. Быстроедействие