

- в) адресная часть команды адресует функциональный узел в модуле крейта, значение операции F определяет выполняемое командой действие в модуле.
5. Для каких целей используется магистраль крейта:
- для связи контроллера крейта с ЭВМ;
 - для обмена информацией между функциональными модулями крейта без участия контроллера;
 - для обмена информацией между контроллером крейта и функциональным модулем?
6. Какие функции выполняет сигнал L-запрос модуля:
- сообщает другим модулям крейта о готовности к обмену информацией;
 - сообщает контроллеру крейта о готовности к обмену информацией;
 - сигнализирует ЭВМ о неисправности в модуле?
7. Какое устройство может инициировать обмен информацией между ЭВМ и функциональным модулем:
- функциональный модуль;
 - ЭВМ;
 - контроллер крейта?
8. Какой принцип используется при обмене информацией по магистрали крейта:
- синхронный;
 - асинхронный;
 - определяется подключенной ЭВМ?
9. Для каких целей могут быть использованы псевдоадреса КАМАК:
- для обращения к нестандартным устройствам, подключаемым к магистрали крейта через интерфейсные модули;
 - в составе команды КАМАК при обращении к определенному функциональному модулю;
 - в составе команды КАМАК, адресованной внутренним функциональным узлам контроллера крейта?
10. Есть ли отличие LAM-требования в модуле от L-запроса модуля:
- оба сигнала выполняют одно и то же действие, сообщая контроллеру о необходимости установления связи с ЭВМ;
 - сигналом L-запрос модуль обращается к контроллеру крейта, а сигналом LAM-требование — непосредственно к ЭВМ;
 - LAM-требование является разрешенным внутренним запросом на обслуживание от отдельных источников в модуле;
 - L-запрос модуля образуется суммированием всех LAM-требований в модуле?
11. Какую роль выполняет интерфейсная часть модуля:
- служит для обмена информацией между функциональной частью модуля и контроллером крейта;
 - служит для обмена информацией с другими модулями через магистраль крейта, минуя контроллер;
 - передает информацию из функциональной части модуля непосредственно в ЭВМ?
12. Определить назначение функциональной части модуля:
- необходима для выполнения специальных функций, определенных логическим стандартом КАМАК;
 - служит для генерации команд NAF с конкретными функциями F;
 - основная часть электронной схемы, определяющая назначение модуля?

§ 3.1. КОНТРОЛЛЕРЫ КРЕЙТА АВТОНОМНЫХ ЭВМ

Контроллером крейта, или крейт-контроллером, называют специализированный модуль КАМАК, управляющий процессом обмена информацией между функциональными модулями крейта и источником программ измерительной системы. Поскольку система КАМАК является программно-управляемой электронной модульной системой, контроллеры классифицируют по типу источников программ, т. е. устройств, которые осуществляют управление работой функциональных модулей по заранее заданной программе. Источниками программ измерительного комплекса могут быть автономные ЭВМ, микропроцессорные устройства в составе автономных контроллеров крейта, а также специализированные управляющие устройства.

При использовании в качестве источника программ автономных промышленных ЭВМ обмен информацией с функциональными модулями осуществляется через контроллеры крейта конкретных ЭВМ. Обычно эти контроллеры называют по типу соответствующих ЭВМ, например контроллер ЭВМ «Электроника-60», контроллер ЭВМ СМ-4, контроллер ЭВМ ЕС-1010 и т. д. Таким образом, при замене одного типа ЭВМ в измерительном комплексе другим необходимо заменить прежний контроллер крейта, установив в крейте контроллер новой ЭВМ.

Логическая организация контроллеров автономных ЭВМ не регламентирована, и такие контроллеры получили название контроллеров типа U (от англ. uncertain).

Несмотря на различие в логической организации и схемотехническом решении отдельных контроллеров, в их структурной схеме можно выделить две основные части (рис. 3.1). Одна из них — управляющая часть — в функциональном отношении одинакова для всех контроллеров и предназначена для управления обменом информацией по магистрали крейта. Другая часть контроллера является интерфейсом к соответствующему типу ЭВМ, и ее построение существенным образом зависит от особенностей организации

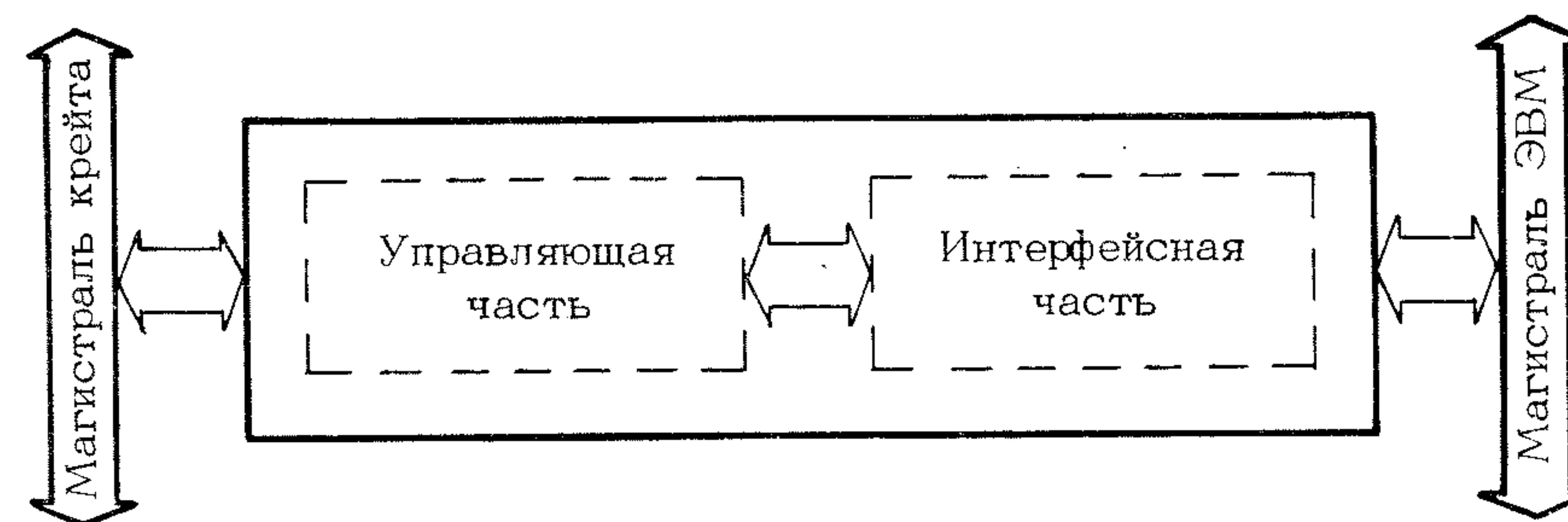


Рис. 3.1. Организация контроллера крейта

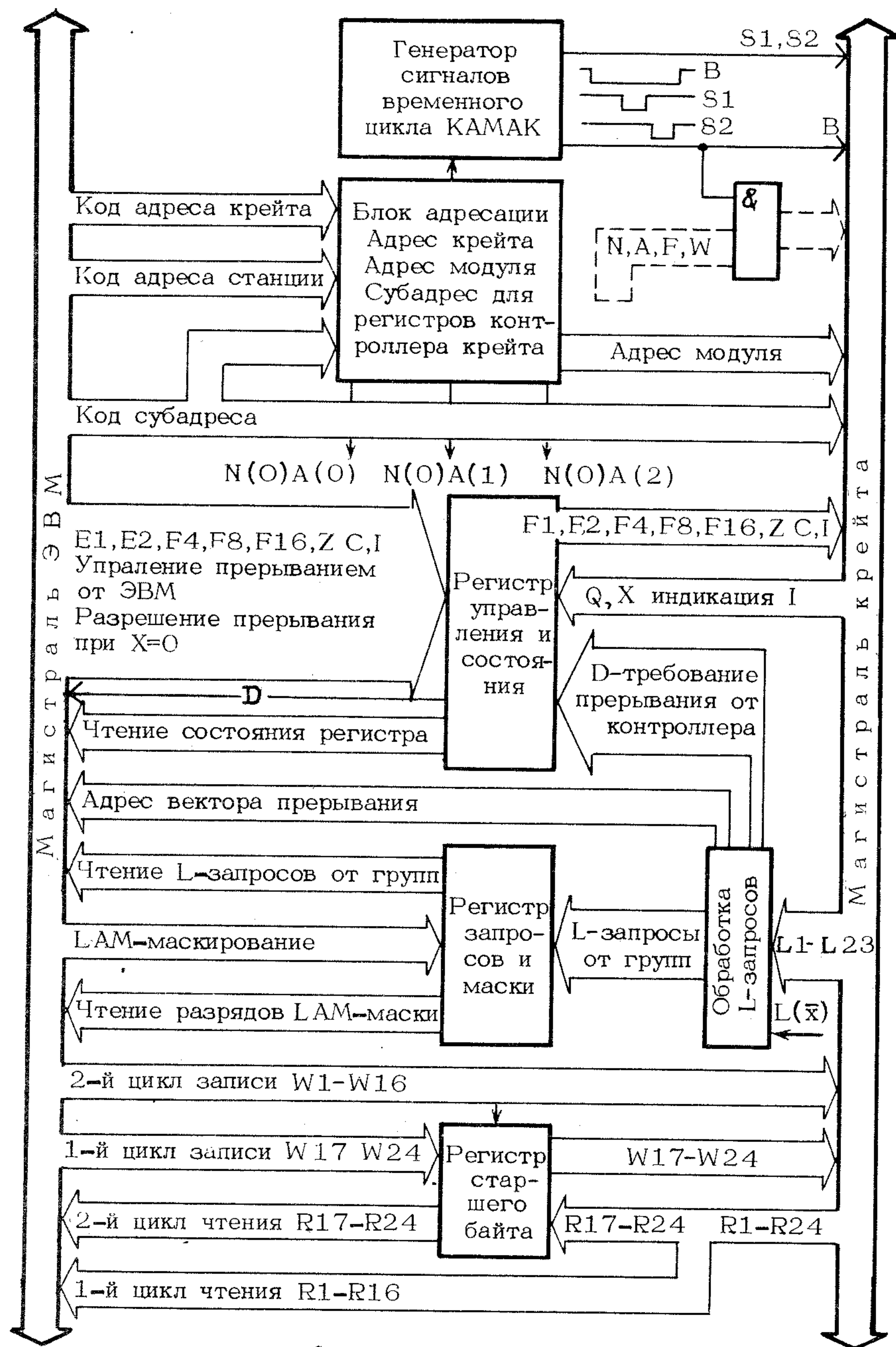


Рис. 3.2. Обобщенная структурная схема контроллеров крейта к ЭВМ с общей магистралью

канала ввода—вывода конкретной ЭВМ. Некоторые разработчики контроллеров, используя это обстоятельство, конструктивно реализуют контроллеры для различных типов ЭВМ в виде общего электронного модуля со сменной интерфейсной частью для ЭВМ конкретного типа. Иногда такие контроллеры выполняют в виде двух соответствующих модулей КАМАК, один из которых, интерфейс ЭВМ, должен быть заменен при смене ЭВМ.

Аппаратура КАМАК по отношению к ЭВМ является нестандартным внешним устройством, причем таким, конфигурация которого изменяется в соответствии с задачей эксперимента. В отличие от стандартных внешних устройств, например магнитных дисков, АЦПУ и пр., для управления работой которых в составе операционных систем имеется стандартное программное обеспечение, для работы аппаратуры КАМАК программное обеспечение разрабатывается самими экспериментаторами (см. гл. 9). Всякий раз при изменении состава функциональных модулей измерительной системы программное обеспечение должно быть частично или полностью изменено. При этом, составляя программы управления модулями КАМАК, входящими в измерительную установку, экспериментатор должен четко представлять особенности структурной организации и общий принцип работы используемого контроллера.

В качестве примера рассмотрим логическую организацию и принцип работы контроллеров крейта (рис. 3.2), получивших наибольшее распространение при использовании в составе измерительных комплексов универсальных ЭВМ с общей магистралью («Электроника-60», СМ-1420, СМ-1300, СМ-4 и их модификации).

Контроллер крейта к ЭВМ с общей магистралью

Контроллер крейта, как и любой интерфейс внешних устройств ЭВМ, имеет несколько специальных регистров. В данном контроллере таких регистров три: регистр управления и состояния (РУС); регистр запросов и маски (РЗМ); регистр старшего байта (РСБ)*.

Каждый из регистров контроллера выполняет определенные логические функции, связанные с организацией потока информации, передаваемой между магистралями ЭВМ и крейта КАМАК. Направление передачи сигналов через отдельные регистры указано на структурной схеме.

Блок адресации принимает с магистрали ЭВМ двоичные коды адреса контроллера крейта, адреса станции в крейте и код субадреса. Если контроллер «распознает» свой адресный код, т. е. обращение происходит к данному контроллеру, в блоке адресации дешифрируется и анализируется код номера станции. Значение принятого адреса $N(0)$ говорит о том, что адресуется один из внут-

* В технической литературе и документации эти регистры часто обозначают аббревиатурой от названий регистров на английском языке: РУС — CSR Control and Status Register; РЗМ — DMR Demand and Mask Register; РСБ — DHR Data High byte Register.

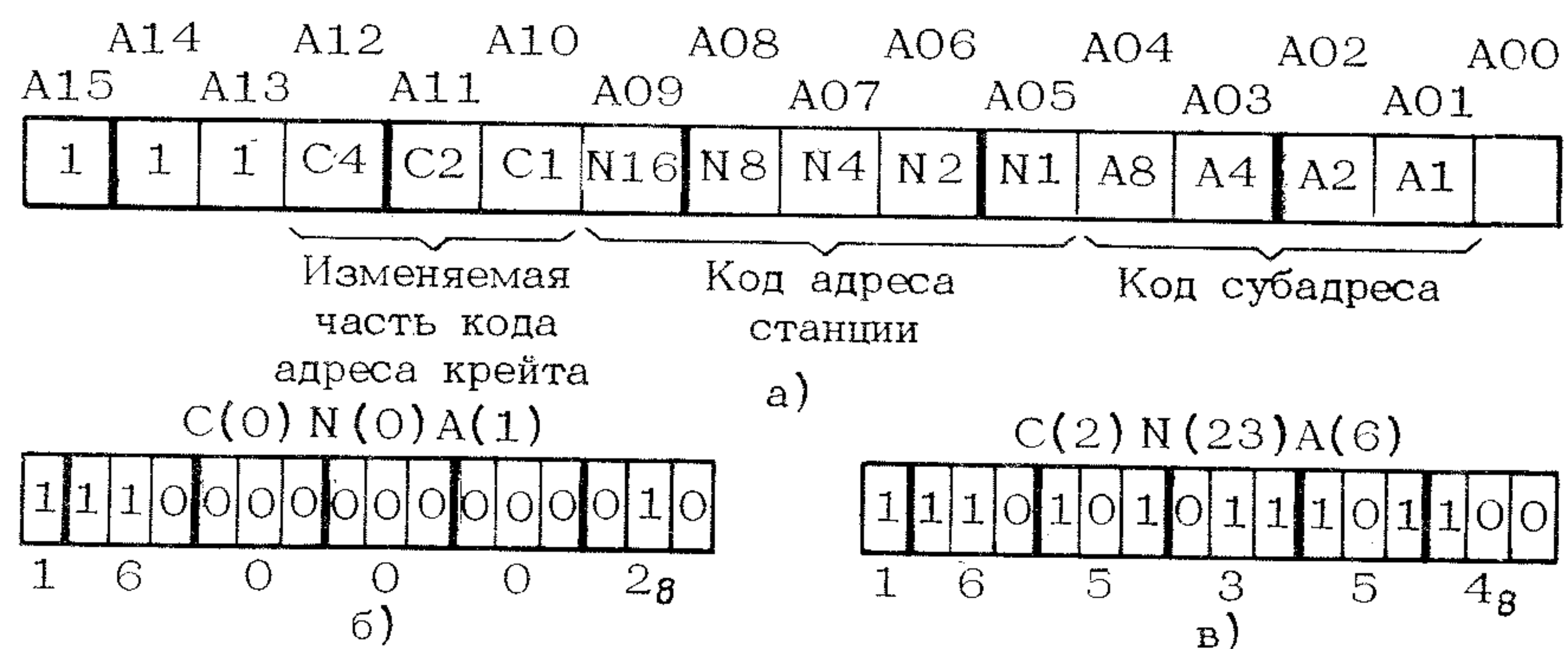


Рис. 3.3. Формат адресного слова ЭВМ

ренных регистров самого контроллера. Конкретный регистр выбирается по соответствующему субадресу A(0), A(1), A(2).

В том случае, если в результате дешифрирования получено одно из значений N(1—23), адресуется определенная станция крейта. Код субадреса передается при этом из адресного блока на магистраль крейта.

При обращении ЭВМ к определенной станции крейта генератор сигналов временного цикла контроллера вырабатывает сигналы *Занято В* и строб-сигналы S1, S2, задающие временной цикл на магистрали крейта. Сигнал В управляет соответствующими логическими элементами И, через которые сигналы N, А, F, W поступают на магистраль крейта сформированными по длительности в соответствии с требованиями логического стандарта КАМАК.

С точки зрения экспериментатора, программирующего работу измерительного комплекса, существенными являются следующие особенности работы контроллера крейта:

адресация регистров крейта и функциональных узлов, находящихся в модулях и контроллере;

представление информации в регистрах контроллера;

организация и обработка L-запросов функциональных модулей; особенности выполнения сигналов и команд КАМАК.

Адресация регистров и функциональных узлов в крейте. Функциональные узлы в модулях и контроллере крейта не могут адресоваться непосредственно с магистрали ЭВМ, так как обращение к ним возможно лишь от контроллера с использованием стандартных для системы КАМАК адресных сигналов N и А. При использовании контроллеров крейта данного типа принят определенный порядок кодирования в ЭВМ всех адресных сигналов КАМАК в адресном слове ЭВМ (рис. 3.3,а). Для удобства чтения содержимого адресного слова в восьмеричном коде восьмеричные разряды выделены утолщенными вертикальными линиями.

Контроллер следующим образом интерпретирует группы разрядов на адресной шине ЭВМ, пересылаемых по линиям A00-A15 магистрали:

A00 — в некоторых контроллерах крейта используется только при операциях со старшими байтами регистров контроллера. В этом случае разряд должен устанавливаться в состоянии 1. При адресации функциональных узлов модулей разряд всегда устанавливается в состояние 0;

A01—A04 — воспринимаются как код субадреса;

A05—A09 — воспринимаются как код адреса станции крейта;

A10—A12 — воспринимаются как часть разрядов базового адреса контроллера;

A13—A15 — всегда установлены в состояние 1.

Адресное слово воспринимается с магистрали ЭВМ и обрабатывается лишь тем контроллером, который распознает в нем свой адрес. Этот адрес, называемый базовым адресом контроллера, устанавливается экспериментатором с помощью внутренних переключателей или переключателей в контроллере. Абсолютное значение базового адреса задается в области старших 4К адресов, выделяемых в ЭВМ с общей магистралью для адресации регистров внешних устройств. Обычно для контроллеров используют следующие значения базовых адресов:

160 000	162 000	164 000	166 000
170 000	172 000	174 000	176 000

Обращение от ЭВМ к контроллерам крейта с различными базовыми адресами возможно изменением содержимого разрядов A10—A12 в адресном слове. Абсолютные значения адресов регистров и различных функциональных узлов модулей и контроллера образуются суммированием всех составляющих адреса, например:

адрес регистра = базовый адрес контроллера + адрес станции + субадрес.

На рис. 3.3,б в качестве примера приведен адрес внутреннего регистра контроллера N(0)A(1) при базовом адресе контроллера 160 000, на рис. 3.3,в — адрес функционального узла в модуле N(23)A(6) при базовом адресе контроллера 164 000.

Представление информации в регистрах контроллера. Все регистры контроллера по их использованию в процессе обмена информацией между ЭВМ и функциональными модулями можно разделить на неадресуемые и адресуемые.

Регистры первого типа являются вспомогательными элементами схемы контроллера. Они пассивно участвуют в процессе обмена, выполняя роль буферных элементов для согласования временных циклов обмена между магистралями ЭВМ и крейта КАМАК. В контроллере данного типа такие регистры используют для временного хранения кодов адреса станции N, субадреса А и данных, передаваемых из функционального модуля в ЭВМ. В процессе работы обращение к этим регистрам, т. е. их программная адресация со стороны ЭВМ, невозможно.

Адресуемые регистры — это активные элементы контроллера,

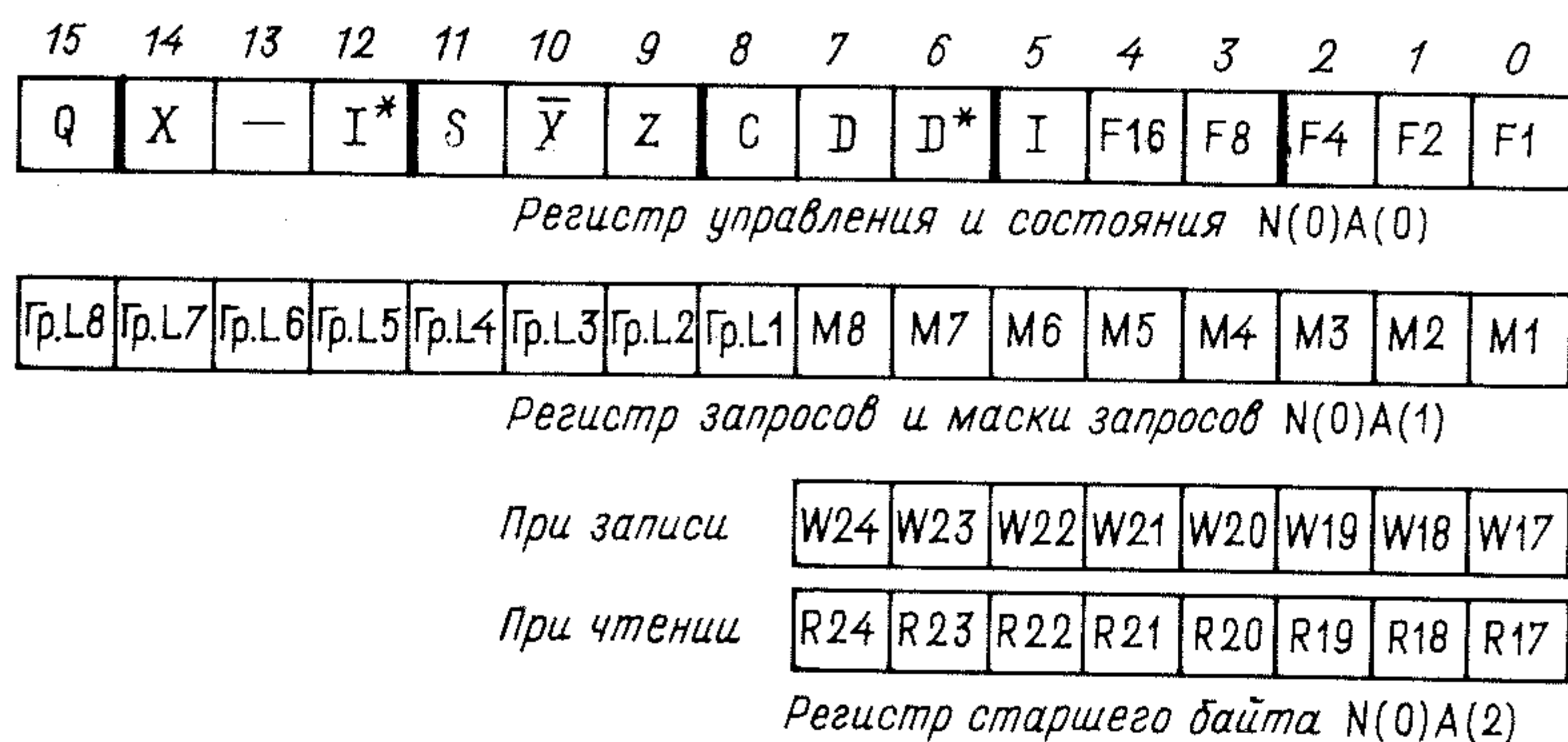


Рис. 3.4. Организация внутренних регистров контроллера

через которые осуществляется программно-управляемый процесс обмена информацией. При адресации, т. е. обращении к этим регистрам, их содержимое может быть полностью или частично изменено в соответствии с программой работы. Состояние адресуемых регистров или их отдельных разрядов возможно проконтролировать, считав их содержимое в ЭВМ.

К адресуемым регистрам относится регистр управления и состояния (PUC), запросов и маски (P3M), регистр старшего байта (PCB) (рис. 3.4). К этим регистрам можно обращаться от ЭВМ так же, как к обычным регистрам функциональных модулей, с той лишь разницей, что для их адресации используется псевдо-адрес N(0), т. е. адрес не существующей в крейте станции.

При обращении к конкретному адресуемому регистру контроллера в общее адресное слово должны входить следующие значения N и A:

регистр состояния и управления	N(0)A(0)
регистр запросов и маски	N(0)A(1)
регистр старшего байта	N(0)A(2)

Для эффективного управления работой функциональных модулей и обмена данными с их регистрами необходимо четко понимать, какую роль выполняет конкретный адресуемый регистр контроллера в процессе обмена. Кроме того, необходимо представлять назначение каждого отдельного разряда регистра. На рис. 3.4 показано назначение разрядов адресуемых регистров контроллера крейта.

Регистр состояния и управления — это основной адресуемый регистр, через который происходит управление взаимодействием контроллера с ЭВМ и с функциональными модулями. Состояние большинства разрядов этого регистра может быть программно считано в ЭВМ для принятия решения о дальнейшем взаимодействии с функциональным модулем.

Установка разрядов в определенное состояние, а также считывание содержимого регистра осуществляются по соответствующим разрядам D00—D15 шины данных магистрали ЭВМ.

Назначение разрядов регистра состояния и управления в большинстве контроллеров данного типа следующее:

0—4 (F) — состояние этих разрядов определяет код операции F, которая должна быть выполнена в адресуемом модуле. Разряды устанавливаются и считываются по линиям D00—D04 шины данных;

5 (I) — при установке этого разряда в состояние 1 на соответствующей линии магистрали крейта начинает действовать сигнал *Запрет I*. Действие сигнала I прекращается после установки этого разряда в состояние 0. Возможно считывание состояния разряда в ЭВМ;

6 (D*) — устанавливая или сбрасывая этот разряд, ЭВМ решает или соответственно запрещает поступление сигнала *Требование прерывания* от контроллера крейта. В случае предварительной установки данного разряда в состояние 1 и при возникновении в контроллере сигнала *Требование прерывания* ЭВМ (см. разряд 7 PCY) разряд 6 автоматически сбрасывается сразу же после входа ЭВМ в режим прерывания. Сброс разряда исключает в ходе обработки прерывания повторное прерывание работы ЭВМ тем же сигналом контроллера. После обработки прерывания установкой разряда в состояние 1 может быть разрешено новое прерывание от контроллера. Возможно считывание состояния этого разряда в ЭВМ;

7 (D) — указывает на наличие в контроллере сигнала *Требование прерывания* ЭВМ. Возможно считывание состояния сигнала прерывания контроллера в ЭВМ;

8 (C) — при установке в состояние 1 на магистрали крейта однократно генерируется сигнал *Сброс*. Сброс разряда происходит автоматически в том же временном цикле одним из строб-сигналов (по усмотрению разработчика контроллера). Состояние разряда в ЭВМ не считывается;

9 (Z) — при установке в состояние 1 на магистрали крейта однократно генерируется сигнал *Начальная установка Z*. Разряд сбрасывается автоматически одним из строб-сигналов. По требованию логического стандарта сигнал Z должен сопровождаться сигналами I и C;

10 (X) — предварительной установкой этого разряда в состояние 1 контроллеру разрешается генерировать внутренний сигнал *Запрос контроллера L(X)* при ответе сигналом *Команда принята X=0* на командные операции, адресованные функциональным модулям данного крейта или контроллеру крейта;

11 (S) — при установке в состоянии 1 в некоторых контроллерах запрещается генерация цикла КАМАК. В других контроллерах подобного типа при установке этого разряда генерируется укороченный, без строб-сигнала S2, цикл КАМАК;

12 (I*) — используется в качестве индикатора состояния сигнала *Запрет I* на магистрали крейта. Устанавливается в состояние 1 при наличии на магистрали сигнала I. Запрет может вырабатываться как программно от ЭВМ установкой в состояние 1 разряда

5 данного регистра, так и функциональными модулями. Кроме того, сигнал I может быть подан на магистраль от внешнего источника через специальный разъем на передней панели контроллера крейта. Состояние разряда может быть считано в ЭВМ;

13(—) — не используется;

14(X) — состояние этого разряда зависит от ответа функционального модуля на командные операции, адресованные модулю или контроллеру. Состояние разряда может быть считано в ЭВМ.

Если при выполнении команды NAF получен ответ $X=0$ и при этом разряд 10 РУС установлен в 1, контроллер формирует сигнал требования прерывания для ЭВМ (см. разряд 10);

15(Q) — следит за состоянием сигнала *Ответ Q* на магистрали крейта на соответствующие командные операции, адресованные функциональному модулю. Информация о состоянии сигнала Q может быть передана в ЭВМ как при чтении содержимого регистра РСУ, так и при исполнении команд КАМАК, в состав которых входят операции F (8) или F (27).

При генерации сигнала начальной установки Z по команде ЭВМ или при включении питания крейта разряды РУС 0—6, 10, 11, 15 сбрасываются, в разряд 14 устанавливается в состояние 1.

По программе ЭВМ разряды регистра могут устанавливаться в определенное состояние, кроме разрядов 7, 12—15, а также могут быть считаны в ЭВМ, кроме разрядов 8, 9, с целью контроля информации, хранящейся в регистре в данный момент времени.

Регистр запросов и маски. Этот регистр состоит из двух частей. Одна часть — разряды 0—7 — предназначена для хранения маскирующего слова, вторая часть — для представления в контроллере в упорядоченном виде информации об L-запросах функциональных модулей и внутреннем запросе контроллера. Строго говоря, употребление термина «регистр» по отношению ко второй части условно, поскольку она не содержит устройств, способных запоминать и хранить информацию, например триггеров. Реально в контроллерах данного типа эта часть состоит из восьми логических элементов ИЛИ, на входы которых подаются объединенные в определенные группы сигналы L-запросов. В технической литературе тем не менее эту часть обычно называют старшими разрядами регистра РЗМ. Каждому элементу ИЛИ старшего разряда регистра соответствует определенный разряд младшего байта. Состояние 1 этих разрядов маскирующего байта разрешает, а 0 — запрещает дальнейшую обработку соответствующих групповых запросов.

При выработке контроллером сигнала начальной установки Z маскирующие разряды регистра устанавливаются в состояние 0. При необходимости проверки текущего состояния всех разрядов регистра РЗМ, т. е. состояния разрядов маскирующего байта и групповых L-запросов, его содержимое может быть считано в ЭВМ.

Регистр старшего байта. Этот регистр выполняет функции буферного регистра для старшего байта 24-разрядного

слова данных при обмене информацией между ЭВМ и функциональным модулем. Необходимость введения этого регистра в контроллер крейта вызвана тем, что разрядность слова данных в системе КАМАК и ЭВМ различна: в системе КАМАК она составляет 24 разряда, а в рассматриваемых ЭВМ — 16 разрядов. Строго говоря, в контроллере имеются два 8-разрядных регистра старшего байта, один из которых используется при операциях чтения, а другой — при операциях записи. Но поскольку независимо от направления передачи данных обращение к обоим регистрам происходит по одному и тому же адресу N (0) A (2), для программиста они неразличимы и представляются как единый регистр для двуправленной передачи старшего байта данных.

24-Разрядное слово данных размещается в ЭВМ в двух последовательных ячейках ОЗУ. Для передачи его на магистраль крейта, т. е. при выполнении операции записи в модуль необходимо вначале поместить старшие 8 разрядов слова данных в регистр старшего байта. Во втором машинном цикле при передаче младших 16 разрядов данных через контроллер крейта содержимое регистра старшего байта автоматически включается в состав единого 24-разрядного слова, поступающего на магистраль крейта.

При операциях чтения 24-разрядного слова из регистра функционального модуля в контроллер крейта поступает общее 24-разрядное слово, старший байт которого автоматически помещается в регистр старшего байта, а младшие 16 разрядов — в соответствующую ячейку памяти ЭВМ. Вторым машинным циклом из контроллера в ЭВМ считывается содержимое регистра старшего байта.

По сигналу *Начальная установка Z* все разряды регистра старшего байта устанавливаются в состояние 0.

Обработка L-запросов в крейте. Предварительная обработка запросов производится блоком обработки L-запросов контроллера крейта (см. рис. 3.2). Эта обработка заключается в следующем:

объединение всех запросов в отдельные группы;

установление приоритетности обслуживания запросов каждой группы;

выработка сигнала требования прерывания от контроллера;

выработка адреса вектора прерывания.

На рис. 3.5 показан один из вариантов организации блока обработки L-запросов в контроллере крейта.

Запросы функциональных модулей L1-L23 и внутренний запрос контроллера L (X) поступают на коммутатор запросов, в котором они могут быть объединены в произвольном, заранее заданном порядке в восемь различных групп. Наличие хотя бы одного запроса на входе коммутатора приводит к появлению группового L-запроса в определенном разряде РЗМ. Разряды младшего байта РЗМ служат для маскирования групповых запросов.

Подобное сжатие L-запросов упрощает схемотехническое решение узла обработки запросов в контроллере. В большинстве случаев такое решение, т. е. объединение источников запросов в

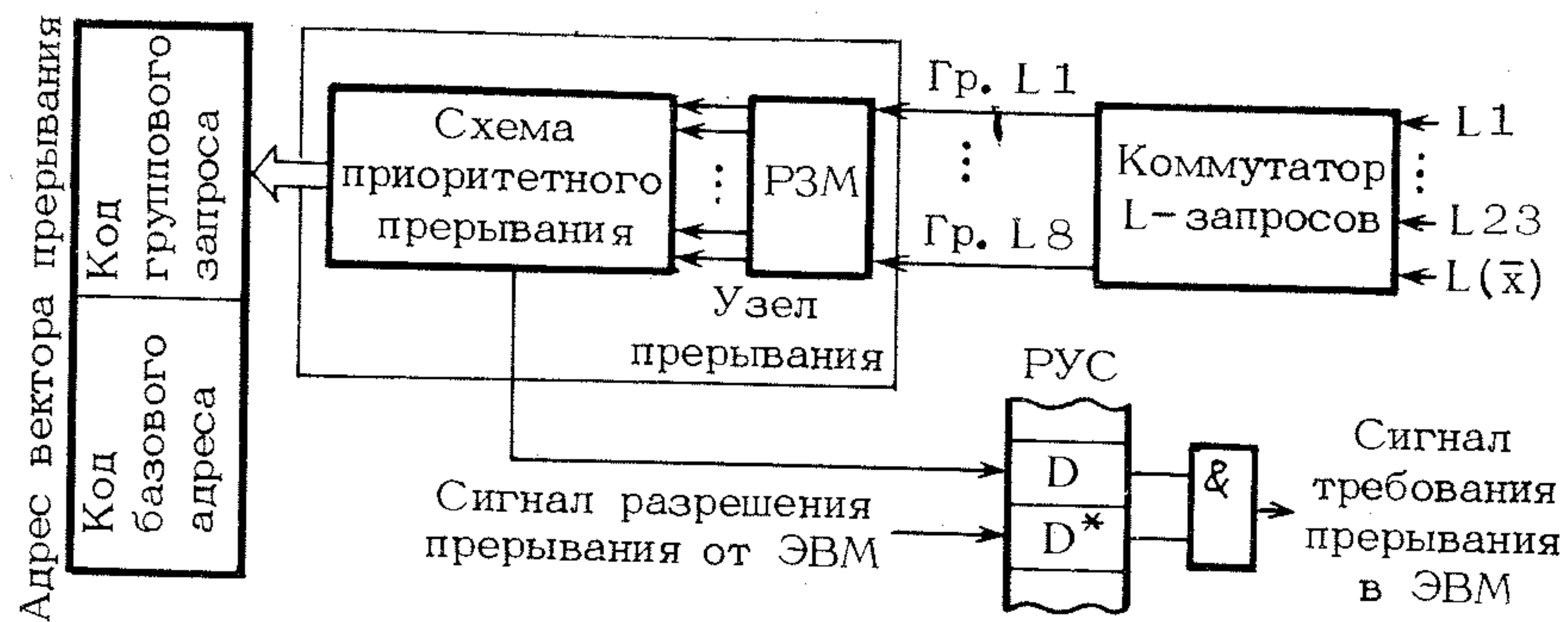


Рис. 3.5. Структурная схема блока обработки L-запросов модулей

группы, не усложняет их идентификацию. Дело в том, что многие экспериментальные установки содержат в крейте всего несколько активных функциональных модулей, которые по ходу измерений могут генерировать сигнал запроса на магистраль крейта. В случае, если это число не превышает 8, каждый разряд старшего байта РЗМ будет представлять запрос от одного модуля. Когда же число модулей в крейте, способных генерировать L-запрос, больше 8, идентификация конкретных источников запросов среди модулей каждой группы возможна программным способом, например командами КАМАК, в состав которых входит операция F (8).

РЗМ является составной частью узла прерывания. Этот узел обеспечивает определенную последовательность, т. е. приоритетность, обслуживания групповых запросов и выполняет технические операции по прерыванию ЭВМ. Он включает в себя кроме РЗМ также схему приоритетного прерывания.

Необходимо иметь в виду, что появление и снятие L-запросов функциональных модулей — процесс динамический. В зависимости от ситуации, складывающейся в ходе измерений, запросы в одних модулях могут появляться, в других могут быть сняты в произвольные моменты времени. Одни запросы могут требовать более срочного обслуживания, чем другие. Наконец, может возникнуть необходимость из общего числа запросов выделить какие-то определенные запросы и в дальнейшем разрешать прерывание ЭВМ только от этих выбранных модулей, запретив сигнал прерывания от остальных модулей.

В контроллере крейта данного типа приоритетность обслуживания L-запросов определяется прежде всего тем, в каком разряде старшего байта РЗМ появляется запрос. Наивысшим приоритетом на обслуживание обладают запросы, представляемые 15-м разрядом РЗМ с понижением приоритетности к 8-му разряду*.

* Иногда встречаются контроллеры аналогичного типа, в которых приоритетность обслуживания L-запросов меняется в обратном порядке, т. е. наивысшим приоритетом обладают запросы 8-го разряда РЗМ.

Младший байт РЗМ (байт маски), как уже отмечалось, служит для маскирования групповых запросов, хранящихся в старшем байте регистра. Каждому разряду старшего байта РЗМ соответствует один разряд байта маски. Если в некотором разряде байта маски установлен 0, соответствующие запросы при дальнейшей обработке и формировании сигналов прерывания ЭВМ не используются. При установке определенных разрядов маскирующего байта в состояние 1 групповые запросы, управляемые этим разрядом, проходят на схему приоритетного прерывания*.

Среди разрешенных запросов приоритетность обслуживания осуществляется по тому же принципу — запросы старших разрядов РЗМ имеют больший приоритет.

При наличии на входах схемы приоритетного прерывания хотя бы одного группового запроса вырабатывается сигнал *Требование прерывания D*, который поступает на логический элемент ИЛИ в 7-м разряде РУС. Если при этом 6-й разряд РУС установлен в состоянии 1, т. е. прерывания от данного контроллера разрешены, сигнал D передается в ЭВМ в качестве сигнала требования прерывания. Разряд 6 РУС устанавливается ЭВМ программным образом в процессе инициализации прерываний.

Алгоритм взаимодействия контроллера с ЭВМ построен таким образом, что если требование прерывания привело к прерыванию текущей программы в ЭВМ, то разряд 6 РУС автоматически сбрасывается. Последующая установка этого разряда происходит от ЭВМ при необходимости инициализации прерывания от контроллера.

Блок обработки запросов, кроме сигнала требования прерывания, формирует адрес вектора прерывания. Вектор прерывания используется ЭВМ, в частности, для нахождения программы обработки прерывания от определенного источника. Код полного адреса вектора прерывания складывается из кода базового адреса и кода группового запроса. Код базового адреса вектора прерывания — постоянный для конкретного контроллера и задается с помощью переключателя (или перемычек) на монтажной плате контроллера.

Код группового запроса вырабатывается схемой приоритетного прерывания. Эта схема анализирует все незамаскированные групповые запросы, поступившие из РЗМ, и генерирует код, соответствующий запросу с наивысшим приоритетом из числа запросов, имеющих на ее входе.

Код группового запроса заполняет младшие разряды общего кода адреса вектора прерывания.

Логическая организация контроллеров крейта для различных типов ЭВМ в системе КАМАК не определена. Так, для ЭВМ с общей магистралью кроме приведенного типа контроллера разработаны и применяются на практике контроллеры крейта с иной

* Схема приоритетного прерывания современных контроллеров крейта обычно реализуется на специализированной интегральной схеме приоритетного прерывания K589ИК14 из микропроцессорного набора серии K589.

внутренней организацией. В них по-другому распределены функции регистра управления и состояния, отличается также и система обслуживания L -запросов функциональных модулей.

Современная элементная база (микросхемы средней и большой степени интеграции, используемые при разработке аппаратуры КАМАК) позволяет в контроллерах крейта шириной 2М реализовать кроме основных различные дополнительные функции, облегчающие в некоторых случаях системную организацию измерительного комплекса. Так, разработаны контроллеры крейта, позволяющие осуществлять непосредственный, без участия процессора ЭВМ, обмен информацией между регистрами функциональных модулей и ОЗУ ЭВМ, т. е. содержащие один, а иногда и несколько каналов прямого доступа к памяти ЭВМ.

В других контроллерах крейта предусмотрена дополнительная возможность, позволяющая использовать их в качестве основных контроллеров в многоконтроллерном крейте (см. гл. 4).

Выбор контроллера крейта для конкретного использования определяется многими причинами технического, а также организационного характера; некоторые из них рассмотрены в следующем параграфе.

§ 3.2. ОДНОКРЕЙТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Измерительные системы с использованием одного крейта КАМАК и автономной ЭВМ наиболее часто встречаются в практике физического эксперимента. Использование современной элементной базы при разработке электронных модулей КАМАК позволяет иметь в модулях большую функциональную плотность. Так, широко применяются модули, содержащие по несколько счетчиков, амплитудно-цифровых преобразователей, схем совпадений, большие объемы ОЗУ и т. п., в модулях одиночной (1М) ширины. Применение подобных модулей во многих случаях позволяет экспериментаторам не выходить за рамки одного крейта КАМАК даже при организации достаточно сложных измерительных систем.

Универсальные мини- и микро-ЭВМ, выпускаемые промышленностью, используются в качестве средств управления в экспериментальных установках значительно чаще других источников программ, таких, как автономные контроллеры крейта, специализированные устройства и т. п.

Универсальным ЭВМ обычно отдается предпочтение ввиду их большей доступности, лучшей оснащенности необходимым набором стандартных внешних устройств и хорошо развитому программному обеспечению.

Для обеспечения нормального функционирования однокрейтной измерительной системы совместно с ЭВМ необходимо использовать определенный набор так называемого системного оборудования. К системному оборудованию КАМАК относятся крейт с источником питания, контроллер крейта, кабель для подключения контроллера

к ЭВМ, согласователь магистрали ЭВМ, индикатор магистрали крейта, вентиляционная панель.

В качестве крейта может быть использован любой тип крейта КАМАК, выполненный с полным соблюдением всех требований механического стандарта системы КАМАК.

Источник питания крейта должен обеспечивать все необходимые номиналы питающих напряжений и суммарные токи по отдельным источникам для работы того набора функциональных модулей, которые используются для построения измерительной системы. Номиналы питающих напряжений обеспечиваются автоматически любыми стандартными источниками питания крейта. При использовании модульных источников питания необходимо соответствующим образом подбирать отдельные модули источника питания. Необходимые максимальные токи по отдельным номиналам питающих напряжений определяются суммированием токов, потребляемых установленными в крейте отдельными модулями. Значения потребляемых токов обычно приводятся на передней панели функциональных модулей и обязательно содержатся в их технических описаниях.

Как уже неоднократно отмечалось, одним из основных системных модулей является контроллер крейта, выбору которого нужно уделять серьезное внимание.

Какими соображениями следует руководствоваться при выборе контроллера крейта? Есть ли какие-либо преимущества у одних типов контроллеров перед другими? Ответы на эти вопросы могут быть даны лишь с учетом тех требований, которые предъявляются экспериментатором к использованию контроллера в конкретной измерительной системе.

Контроллеры крейта к конкретным ЭВМ могут различаться по структурной организации. В разных контроллерах существуют свои особенности, связанные с адресацией регистров модулей, представлением информации в регистрах контроллера, обслуживанием запросов модулей и т. п. Эти обстоятельства накладывают свои особенности на программирование измерительной системы. Но вопросы программирования вряд ли могут быть определяющими при выборе контроллера, поскольку учет особенностей работы контроллера при программировании не представляет труда и является, скорей, делом привычки.

В некоторых случаях по условиям измерений важно иметь максимальную скорость обмена информацией между ОЗУ ЭВМ и регистрами функциональных модулей. Для этой цели можно воспользоваться контроллером крейта, имеющим встроенный канал прямого доступа к ОЗУ ЭВМ. Как известно, канал прямого доступа представляет собой специальный электронный узел, управляющий обменом информацией между внешним устройством и ОЗУ ЭВМ без участия процессора. Следует заметить, однако, что эта же проблема, т. е. увеличение скорости обмена информацией, с успехом может быть решена и другим путем. Для этой цели можно, например, использовать контроллер крейта, не имеющий канала прямого доступа, но передавать данные отдельными массивами, пред-

варительно накапливая их в специальных функциональных модулях — буферных ОЗУ, установленных в крейте.

При проведении измерений на нейтронных пучках реактора или на ускорителях заряженных частиц радиационная обстановка зачастую не позволяет располагать аппаратуру для регистрации и накопления экспериментальной информации непосредственно у места ее получения, т. е. возле детекторов излучений. Аппаратуру располагают в этом случае в рабочих комнатах экспериментаторов на расстоянии в несколько десятков и даже сотен метров от детекторов. Транспортирование аналоговых сигналов на такие расстояния часто связано со значительными затратами на прокладку многочисленных кабельных соединений, а также борьбу с наводками и искажениями передаваемой по кабельной связи информации. В том случае, если измерительная часть установки, т. е. крейт КАМАК, находится возле детектора, а ЭВМ — на удаленном расстоянии, существенно уменьшаются искажения передаваемой информации, поскольку между контроллером крейта и ЭВМ передаются дискретные цифровые сигналы. Но в этом случае остается та же проблема использования дорогостоящих многожильных (40—60 линий) кабельных связей.

Разумным решением проблемы во втором случае является использование в качестве контроллера крейта контроллера с последовательным обменом. Как известно, последовательный канал связи существенно увеличивает надежность передачи информации при минимальных затратах на организацию кабельных связей (2—3 линии кабеля). Незначительные потери в скорости передачи информации (около 15%) по сравнению с параллельным каналом обмена практически не сказываются на ходе измерений. При обмене информацией параллельными кодами кабель связи контроллера с ЭВМ представляет собой соответствующее число скрученных пар проводников или ленточный кабель. Длина кабелей, прилагаемых к контроллерам крейта, в этом случае обычно не превышает 1,5 м. На концах кабеля имеются разъемы для подключения к специальной плате, устанавливаемой в разъем магистральной ЭВМ; на другом конце кабеля имеется разъем для подключения его к контроллеру крейта. При использовании контроллера с последовательным обменом в качестве кабеля связи используют один коаксиальный кабель или кабель, состоящий из скрученной пары проводников.

Согласователь магистральной (его иногда называют терминатором, имея в виду англ. *Terminator* — оконченное устройство) представляет собой пассивную схему, подключаемую к кабелю связи со стороны контроллера крейта для электрического согласования параметров общего тракта передачи сигналов: кабеля связи — магистраль ЭВМ. Согласующая схема состоит из резисторов и конденсаторов, подключенных к каждому концу многожильного кабеля связи для уменьшения искажения сигналов за счет возникающих в линии связи отраженных и стоячих волн.

Конструктивно согласователь магистральной выполняется в виде отдельной небольшой платы (иногда ее называют заглушкой), ко-

торую устанавливают в многоконтактный разъем на передней панели контроллера, аналогичный разъему для подключения кабеля связи. В некоторых контроллерах схема согласования выполняется внутри контроллера. В этом случае внешний согласователь магистральной не используется.

Индикатор магистральной крейта, хотя и не является обязательным системным модулем, практически всегда используется в крейтах, особенно на стадии отладки измерительной системы и при тестировании ее работы.

Вентиляционная панель содержит несколько (обычно четыре) вентиляторов. Она устанавливается снизу, под крейтом, для обеспечения необходимого теплового режима работы функциональных модулей. В некоторых типах крейтов вентиляционная панель — это неотъемлемая часть конструкции крейта. Следует иметь в виду, что несоблюдение теплового режима в крейте часто приводит к ухудшению технических характеристик функциональных модулей в ходе измерений или даже к выходу модулей из строя.

Системная организация — один из важных этапов создания измерительного комплекса. От грамотного подхода к этому вопросу во многом зависит возможность быстрой реализации экспериментальной установки при разумных материальных затратах, удобство программирования работы измерительного комплекса, расширение его возможностей в дальнейшем, в ходе эксперимента.

§ 3.3. МНОГОКРЕЙТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Многокрейтными считаются такие измерительные системы, при организации которых к одной ЭВМ тем или иным способом подключаются несколько крейтов КАМАК.

Необходимость использования многокрейтных систем может быть вызвана несколькими причинами. Так, съем и обработка информации от сложных детектирующих систем в физике высоких энергий, многопараметрические измерения на нейтронных пучках реакторов и решение других сложных экспериментальных задач в различных областях науки приводят к необходимости использования в измерениях большого числа функциональных модулей КАМАК. Количество крейтов, которое требуется для их размещения, в зависимости от сложности установок может варьироваться от единиц до нескольких десятков.

В некоторых случаях несколько крейтов КАМАК, подключенных к одной вычислительной машине, представляют собой систему, которая используется одновременно несколькими экспериментальными группами, т. е. систему коллективного пользования. В такой системе каждой группе может быть выделено некоторое число крейтов или несколько мест в отдельных крейтах под размещение функциональных модулей, входящих в состав экспериментальной установки научной группы.

Наконец, многокрейтная система, организованная определенным образом, может быть использована для обмена информацией между

ЭВМ и территориально разбросанными измерительными системами. Отдельные крейты или группы крейтов в этом случае объединяются линией связи, общая протяженность которой может достигать нескольких километров.

При организации многокрейтных измерительных систем используют различные способы связи крейта КАМАК с автономной ЭВМ измерительного комплекса. Часть из этих способов, как, например, способы организации параллельной и последовательной ветвей, являются стандартными. Принцип их организации и логика обмена информацией с ЭВМ стандартизованы соответствующими документами Комитета ESONE — основного законодательного органа по системе КАМАК. Эти способы организации многокрейтных систем рассмотрены в последующих параграфах настоящей главы.

По мере накопления опыта работы с системой КАМАК, а также с появлением новых вычислительных машин, более приспособленных для целей автоматизации научных исследований по сравнению с ЭВМ, существовавшими на ранней стадии развития системы КАМАК, были предложены различные нестандартные способы организации многокрейтных систем. Часть из них получила большое распространение при практической реализации измерительных комплексов.

Наиболее популярными и доступными для работы с аппаратурой КАМАК являются микро- и мини-ЭВМ типа «Электроника-60», СМ-4 и их модификации, имеющие универсальную магистраль *Общая шина*. Структура построения многокрейтных систем КАМАК на базе этих вычислительных машин приведена на рис. 3.6. При использовании в составе измерительного комплекса мини-ЭВМ из данного архитектурного семейства в каждом крейте может быть

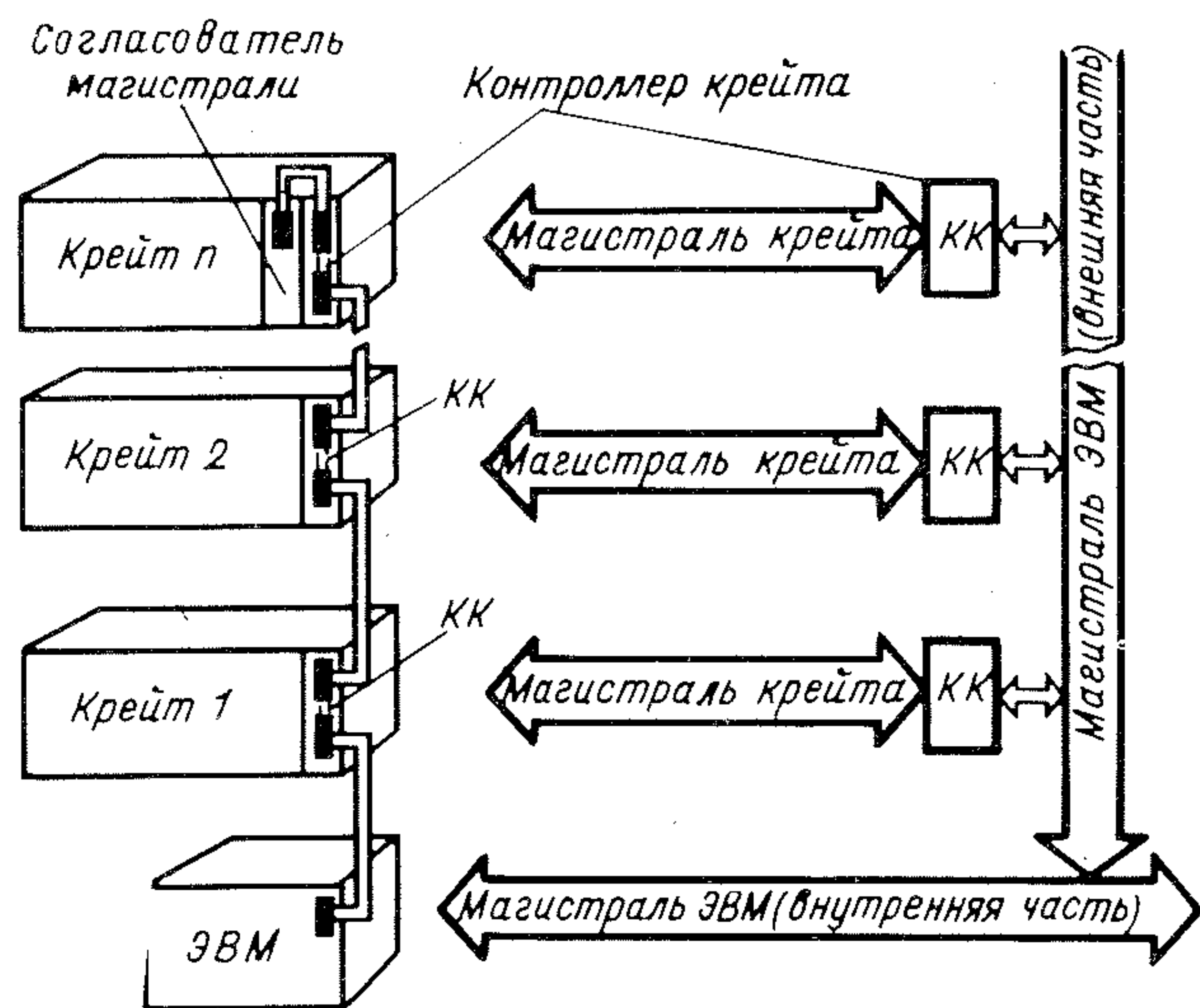


Рис. 3.6. Структурная схема построения многокрейтных систем на базе ЭВМ с общей магистралью

установлен любой контроллер, предназначенный для работы с ЭВМ из данного семейства. Иногда такие контроллеры называют по типу ЭВМ, для которых они разработаны. Например, контроллер ЭВМ СМ-3, контроллер ЭВМ СМ-4 и т. п., хотя каждый из них может работать с любой ЭВМ семейства. Часто такие контроллеры называют контроллерами типа КК-16, имея в виду 16-разрядную сетку мини-ЭВМ архитектурного семейства.

Как известно, магистрали микро-ЭВМ типа «Электроника-60», ИЦ-80-01Д и другие отличаются от магистрали старших моделей ЭВМ в основном тем, что в микро-ЭВМ шины данных и адреса объединены. ЭВМ такого типа имеют укороченную магистраль. Строго говоря, при работе с микро-ЭВМ в крейтах необходимо установить контроллеры, предназначенные для работы с укороченной магистралью этих машин. Промышленностью выпускаются несколько разновидностей таких контроллеров. Однако некоторые разработчики контроллеров к старшим моделям машин, т. е. к мини-ЭВМ, снабжают их специальной дополнительной платой, которая согласует работу магистрали мини- и микро-ЭВМ в той степени, насколько это необходимо для обмена информацией между магистралью микро-ЭВМ и контроллером крейта, ориентированном на работу с магистралью мини-ЭВМ*. Такая плата устанавливается непосредственно в микро-ЭВМ. Подключение через переходную плату к микро-ЭВМ контроллеров от мини-ЭВМ того же архитектурного семейства позволяет использовать эти контроллеры без всяких ограничений при работе с микромашинами.

Число контроллеров, которые могут работать в такой многокрейтной системе, обычно колеблется от четырех до восьми и определяется техническими возможностями задания базовых адресов в контроллере. Конкретные данные на этот счет всегда имеются в технической документации соответствующих контроллеров.

В левой части рис. 3.6 показан порядок соединения отдельных элементов системы — ЭВМ, контроллеров крейта, согласователя магистрали, в правой части — функциональные связи между магистралями ЭВМ и крейтов.

Все элементы системы соединены кабелями. Один из контроллеров, обычно тот, который территориально расположен ближе к ЭВМ, подключается непосредственно к магистрали машины. К разъему последнего, наиболее удаленного от ЭВМ контроллера подсоединяется согласователь магистрали. Кабельная связь, начинающаяся у магистрали ЭВМ, проходящая через все контроллеры и заканчивающаяся согласователем магистрали, является по существу продолжением магистрали ЭВМ, т. е. ее внешней частью, в отличие от обычной внутренней магистрали; которая конструктивно расположена внутри ЭВМ. Подобный способ подключения

* Необходимо иметь в виду, что эта плата является упрощенным, а не универсальным интерфейсом между магистралями мини- и микро-ЭВМ. Через нее к магистрали микро-ЭВМ не могут быть подключены такие внешние устройства, как магнитные диски, ленты и т. п., протокол обмена которых с магистралью ЭВМ сложнее, чем протокол обмена контроллера крейта.