

крейтов к ЭВМ, когда каждый контроллер независимо связан с магистралью машины, часто называют радиальным.

Радиальный способ подключения нескольких крейтов к ЭВМ используют и для машин со специализированной магистралью ввода — вывода (ЭВМ типа СМ-1, СМ-2 и т. п.).

Общим достоинством радиального метода подключения крейтов к ЭВМ является сравнительная простота технической реализации связи элементов системы, быстрый доступ со стороны ЭВМ непосредственно к регистрам контроллеров крейтов, минимальное по сравнению с другими способами время идентификации запросов функциональных модулей.

К недостаткам радиального способа подключения крейта к магистральной ЭВМ, особенно в ЭВМ с общей магистралью, можно отнести появление непосредственно на магистрали дополнительных элементов, неисправность которых, например в узлах связи контроллеров крейта с магистралью ЭВМ, может привести к нарушению работы всей измерительной системы. Тем не менее в связи с высоким уровнем надежности современной электронной элементной базы и наличием широко развитых средств автоматического оповещения экспериментатора о неисправностях в системе приведенный способ организации многокрейтных измерительных систем получил наиболее широкое распространение.

### § 3.4. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЕТВЬ КАМАК

Способ организации многокрейтных систем, за которым утвердилось название *параллельная ветвь*, позволяет объединить в единую измерительную систему до семи крейтов КАМАК. Несмотря на то что название «параллельная ветвь КАМАК» не является точным переводом английского CAMAC Branch Highway, по существу оно правильно передает основную особенность такого метода связи крейтов с ЭВМ. Обмен информацией осуществляется в этом случае параллельными кодами, вследствие чего обеспечивается максимальная скорость передачи команд, сигналов управления и данных в обоих направлениях.

Принцип построения параллельной ветви показан на рис. 3.7. Слева на рисунке приведена структурная схема ветви, справа — функциональные связи между магистралями ЭВМ, крейтов и магистралью ветви.

Во всех крейтах, объединенных магистралью ветви, устанавливаются одинаковые, стандартные, не зависящие от типа используемой ЭВМ контроллеры, которые получили название *контроллер типа А* (ККА).

Обмен информацией между ЭВМ и контроллерами крейтов происходит через специализированное электронное устройство — *драйвер ветви*. (В технической литературе драйвер ветви иногда называют приводом или контроллером параллельной ветви.) Драйвер по существу является коллективным контроллером всей системы крейтов к конкретному типу ЭВМ. Логическая организа-

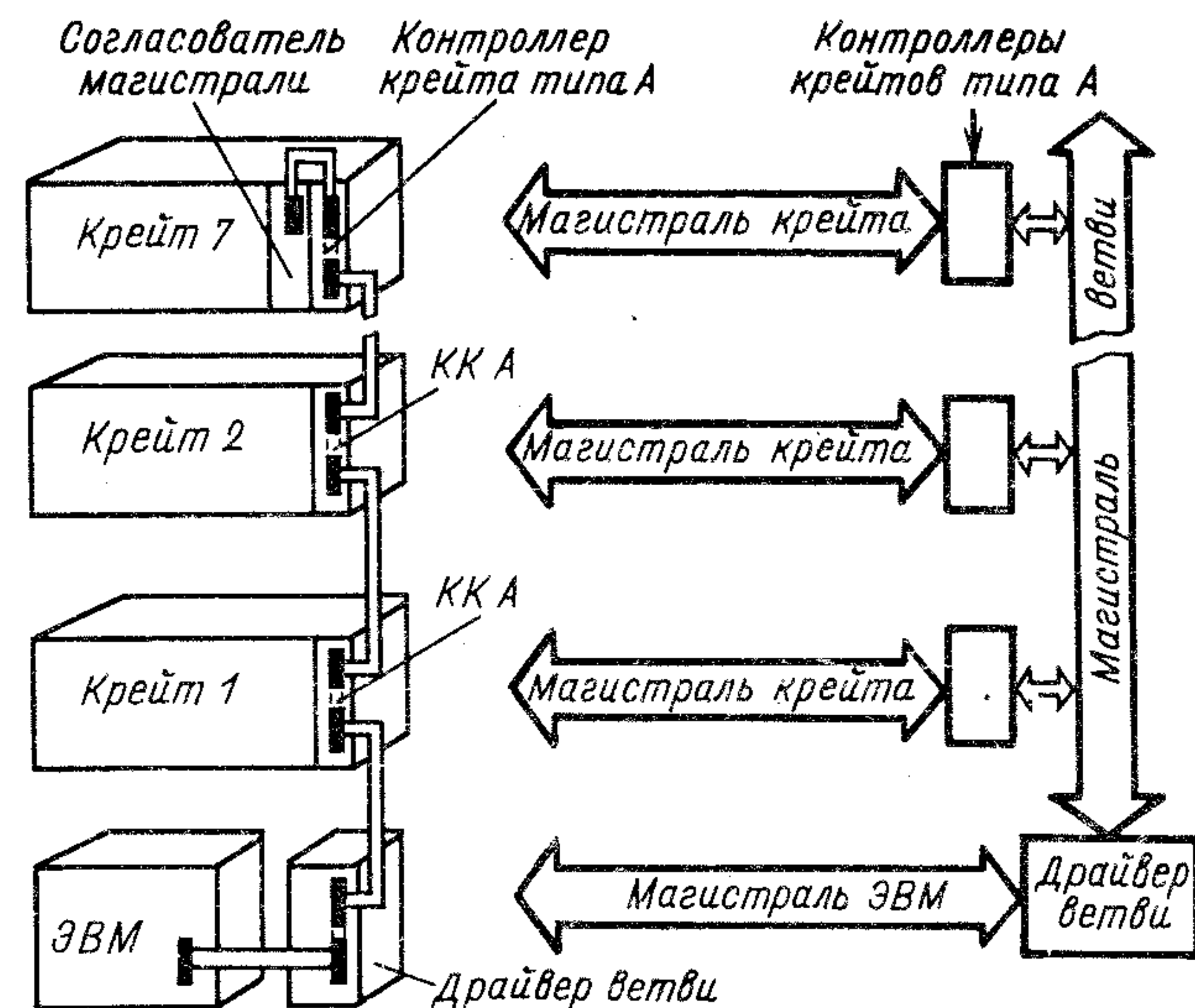


Рис. 3.7. Принцип построения параллельной ветви КАМАК

ция драйвера ветви существенно зависит от особенностей организации канала ввода—вывода ЭВМ. При замене ЭВМ измерительного комплекса ЭВМ другого типа для нормального функционирования системы драйвер ветви должен быть заменен драйвером к новой ЭВМ. Конструктивно драйвер ветви выполняется в произвольном стандарте. В некоторых случаях его изготавливают в виде интерфейсных плат, устанавливаемых непосредственно в разъемы магистрали соответствующей ЭВМ.

Обмен информацией между магистралью ЭВМ и магистралями крейтов происходит через магистраль ветви, которая технически реализуется в виде многожильных (66 скрученных пар проводников) кабелей, соединяющих контроллеры крейта между собой и с драйвером ветви.

Одноименные контакты разъемов передней панели контроллеров типа А внутри контроллера соединены между собой, поэтому цепь магистрали ветви электрически непрерывна.

Крейты КАМАК, входящие в состав параллельной ветви, часто располагают в вертикальных стойках один под другим. По этой причине магистраль параллельной ветви иногда называют вертикальной магистралью в отличие от горизонтальной магистрали — магистрали крейта. Таким образом, параллельную ветвь можно рассматривать как некоторую структуру, состоящую из одной вертикальной и нескольких горизонтальных магистралей (рис. 3.7).

На конце, удаленном от ЭВМ, магистраль ветви заканчивается согласователем магистрали. Этот узел предназначен для уменьшения отражений сигналов от концов каждой из 66 сигнальных линий. Кроме того, с помощью согласующих резисторов согласователя задается исходный потенциал, соответствующий

состоянию логического 0 на отдельных линиях вертикальной магистрали.

Передача информации в параллельной ветви осуществляется с помощью определенных логических сигналов, циркулирующих по линиям магистрали. Для того чтобы отличать обозначения сигналов на магистрали крейта от обозначений сигналов вертикальной магистрали перед обозначением последних ставится буква В (первая буква английского слова Branch — ветвь).

Основные сведения о сигналах параллельной ветви представлены в табл. 3.1, а на рис. 3.8 показано направление передачи отдельных сигналов в вертикальной и горизонтальной магистралях параллельной ветви.

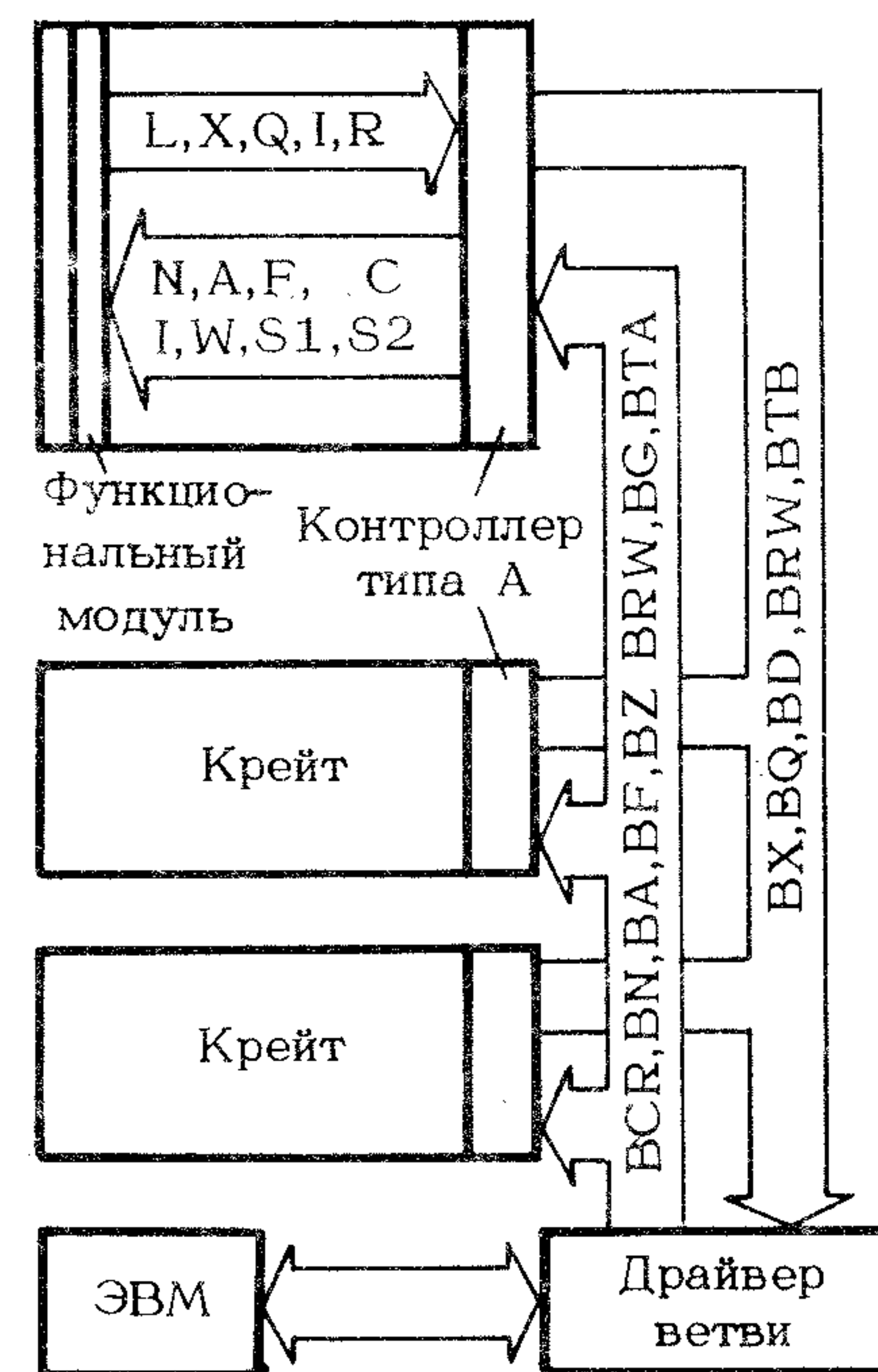
Таблица 3.1. Сигналы магистрали параллельной ветви

Назначение сигналов	Обозначение на магистрали		Источник сигнала	Число линий ветви
	ветви	крейта		
Сигналы команды: адрес крейта адрес станции в крейте субадрес операция	BCR	—	Драйвер	7
	BN	N	»	5
	BA	A	»	4
	BF	F	»	5
Сигналы данных: чтение-запись	BRW1—BRW24	R,W	Драйвер или контроллер	24
Сигналы состояния: команда принята ответ	VX	X	Контроллер	1
	VQ	Q	»	1
Сигнал управления: начальная установка	BZ	Z	Драйвер	1
Таймерные сигналы: сигнал А сигнал В	BTA	—	Драйвер	1
	BTV1—BTV7	—	Контроллер	7
Сигналы обработки запросов: запрос от контроллеров ветви операция с упорядоченными запросами	BD	—	Контроллер	1
	BG	—	Драйвер	1

Команда КАМАК в параллельной ветви отличается наличием дополнительного сигнала BCR, с помощью которого происходит обращение к определенному крейту, входящему в состав ветви (от английского Branch Crate). В адресной шине ветви для сигналов BCR имеются семь сквозных линий, каждая из которых соединяет драйвер ветви лишь с одним выбранным крейтом. Подключение определенного крейта к соответствующей линии BCR осуществляется с помощью специального переключателя на передней панели контроллера типа А.

Для передачи от драйвера ветви остальных сигналов команды —

Рис. 3.8. Направление передачи сигналов в магистралях параллельной ветви



BN, BA, BF — используются сквозные линии адресной шины, по которым к контроллерам крейта передаются двоичные коды с соответствующих сигналов.

Сигналы данных, т. е. сигналы чтения R и записи W, передаются по одним и тем же 24 линиям шины данных вертикальной магистрали BRW1—BRW24.

Назначение сигналов состояния VX и VQ в параллельной ветви такое же, как и сигналов X, Q на магистрали крейта. В ответ на командную, т. е. адресуемую, операцию контроллер генерирует сигналы VX и VQ, которые отражают состояния сигналов X и Q на магистрали крейта во время данной операции. В течение командных операций, обращенных непосредственно к внутренним функциональным узлам контроллера крейта, контроллер должен генерировать VX=1, если он принял команду. При командной операции, контролирующей состояние функциональных узлов контроллера, ответ VQ=1 или VQ=0 зависит от состояния контролируемого элемента.

Сигнал начальной установки всех логических элементов ветви BZ вырабатывается драйвером ветви. Для того чтобы отличить этот сигнал от возможных кратковременных наводок в линии, сигнал BZ=1 поддерживается в ветви не менее 10 мкс.

Протяженность магистрали параллельной ветви КАМАК может изменяться от нескольких единиц до десятков метров в зависимости от расположения крейтов ветви и длины кабельных соединений между контроллерами крейтов. Поскольку время распространения сигналов и их задержки при этом не остаются постоянными, на магистрали ветви принят асинхронный принцип обмена информацией в отличие от синхронного цикла на магистрали крейта. Для выполнения определенных действий, связанных с приемом и передачей информации драйвером ветви и контроллерами крейтов, в параллельной ветви используют специальные временные сигналы BTA и BTV.

Для обслуживания запросов функциональных модулей, входящих в состав параллельной ветви, служат сигналы запросов отдельных контроллеров ветви BD и специальный сигнал BG, генерируемый драйвером, который этим сигналом инициирует

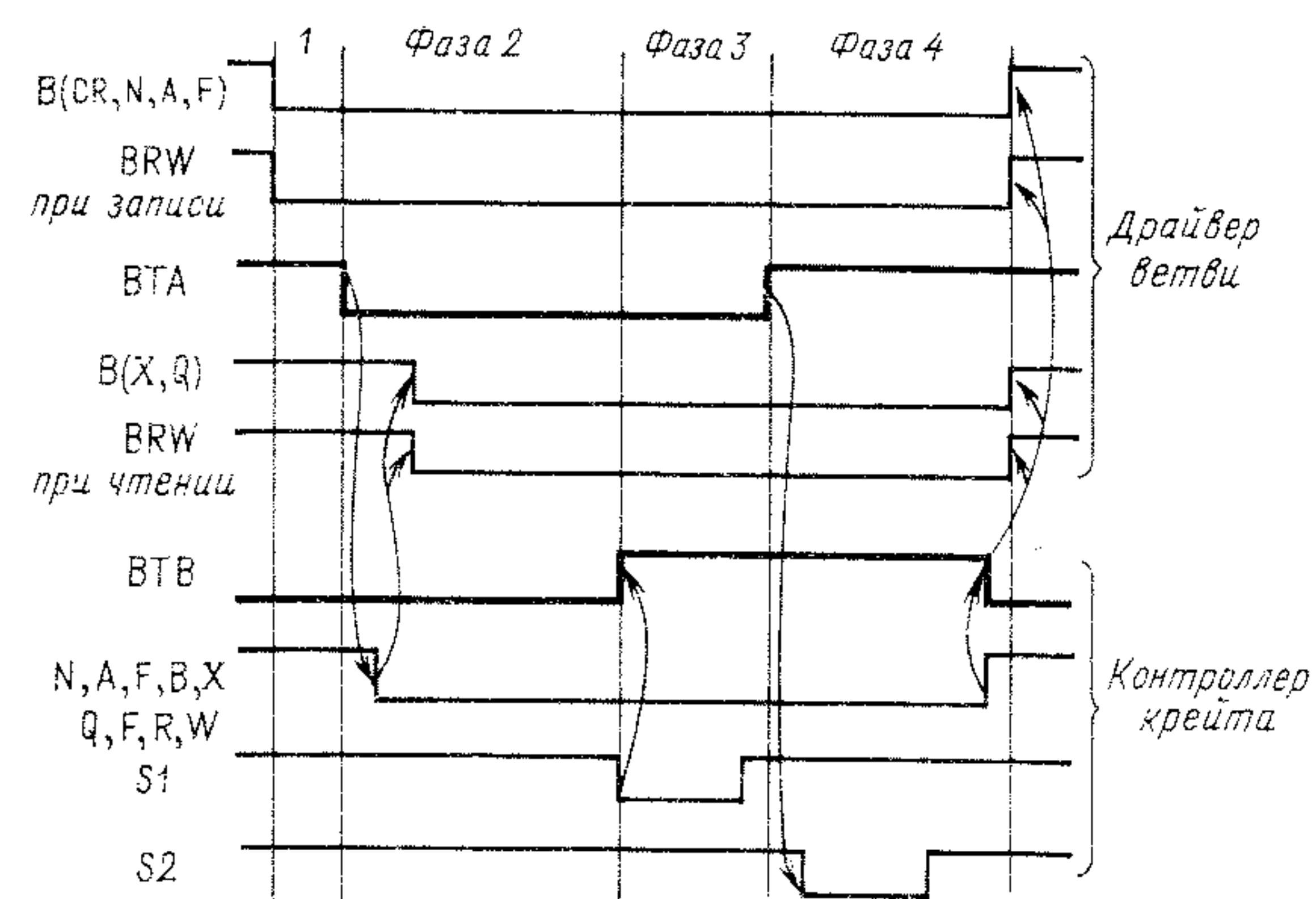


Рис. 3.9. Логическая зависимость между основными сигналами вертикальной магистрали ветви

в ветви действия с предварительно упорядоченными в контроллерах крейтов запросами модулей.

На рис. 3.9 в упрощенном виде приведены логические связи между основными сигналами параллельной ветви. В верхней части рисунка показаны сигналы, которые имеют непосредственное отношение к драйверу ветви, например BCR, BN, BA, BF, BTA, BRW (при записи в модуль), вырабатываемые драйвером; другие — BX, BQ, BRW (при чтении из модуля) принимаются драйвером с вертикальной магистрали ветви для дальнейшей обработки. В нижней части рисунка изображены сигналы в адресуемом контроллере крейта. На рисунке приведена логика взаимодействия сигналов при операциях чтения или записи без учета других возможных режимов работы — обслуживание упорядоченных L-запросов и др.

Взаимодействие драйвера ветви с контроллерами крейтов осуществляется определенными операциями на магистрали ветви. Временные соотношения между различными сигналами на магистрали задаются при этом временными, таймирующими, сигналами BTA и BTV. Цикл любой операции магистрали ветви делится на четыре фазы.

Первая фаза начинается с момента поступления на магистраль из драйвера ветви сигналов команды КАМАК В (CR, N, A, F), а при операции записи также и сигналов BRW на соответствующих линиях шины данных ветви. Спустя некоторое время после того, как все сигналы команды появятся на магистрали, драйвер вырабатывает временной сигнал BTA, которым начинается вторая фаза.

Во второй фазе сигнал BTA, распространяясь по линии магистрали, с некоторой задержкой поступает во все контроллеры. Контроллер, которому адресована команда данного цикла, с получением сигнала BTA=1 запускает генератор временного цикла КАМАК, и на магистраль крейта подаются сигналы B, Z, N, A, F, W, а

из модуля в контроллер поступают сигналы X, Q, R (если в данном цикле F — операция чтения). Последние сигналы сразу же передаются на магистраль ветви. С определенной задержкой эти сигналы поступают в драйвер ветви уже в качестве сигналов BX, BQ, BRW. Следует заметить, что эти сигналы хотя и поступают в драйвер, но пока не выполняют в нем никаких действий, т. е. не воспринимаются им как рабочие сигналы. В момент генерации строб-сигнала S1 на магистраль крейта из контроллера на магистраль ветви поступает временной сигнал BTV=0, значение которого в исходном состоянии было равно логической 1, т. е. BTV=1.

С поступлением сигнала BTV=0 в драйвер ветви начинается третья фаза рабочего цикла. В течение этой фазы драйвер воспринимает сигналы BX, BQ, BR (при операции чтения) и снимает с магистрали ветви сигнал BTA.

С момента достижения сигналом BTA значения логического 0, т. е. BTA=0, начинается четвертая и последняя фаза цикла. Во время этой фазы контроллер заканчивает операции на магистрали крейта. Генерация рабочего цикла КАМАК завершается, и потенциалы всех линий магистрали крейта возвращаются к исходному значению. По окончании цикла КАМАК контроллер вырабатывает сигнал BTV=1. Драйвер ветви с получением этого сигнала заканчивает рабочий цикл на магистрали ветви, возвращая потенциалы линий вертикальной магистрали в исходное состояние.

При организации параллельной ветви в качестве контроллера крейта используется стандартный, не зависящий от ЭВМ контроллер, получивший название *контроллера типа А* (рис. 3.10). Логическая организация такого контроллера, а также выполнение им основных функций определены документацией по системе КАМАК.

Жесткая регламентация внутренней структуры контроллера не накладывает никаких ограничений на техническую реализацию его конкретных узлов, которые могут быть выполнены с использованием различной элементной базы.

По мере развития системы КАМАК появились и широко используются на практике две модификации контроллеров типа А — контроллеры А1 и А2. При разработке контроллера А1 были учтены дополнения к логическому стандарту КАМАК, опубликованные в 1972 г. Контроллер А2, кроме выполнения основных функций, т. е. функций контроллера крейта в параллельной ветви, допускает возможность использования его в качестве основного контроллера в так называемом многоконтроллерном крейте (см. гл. 4, § 2).

Любой установленный в крейте контроллер типа А может находиться в двух рабочих режимах — «на линии» и «вне линии» (в технической литературе часто эти режимы обозначают по-английски on-line и off-line), в каждый из которых контроллер может быть переведен с помощью специального переключателя, расположенного на его передней панели. Находясь в режиме «на линии», контроллер выполняет все функции связи между магистралью параллельной ветви и магистралью крейта. В режиме «вне

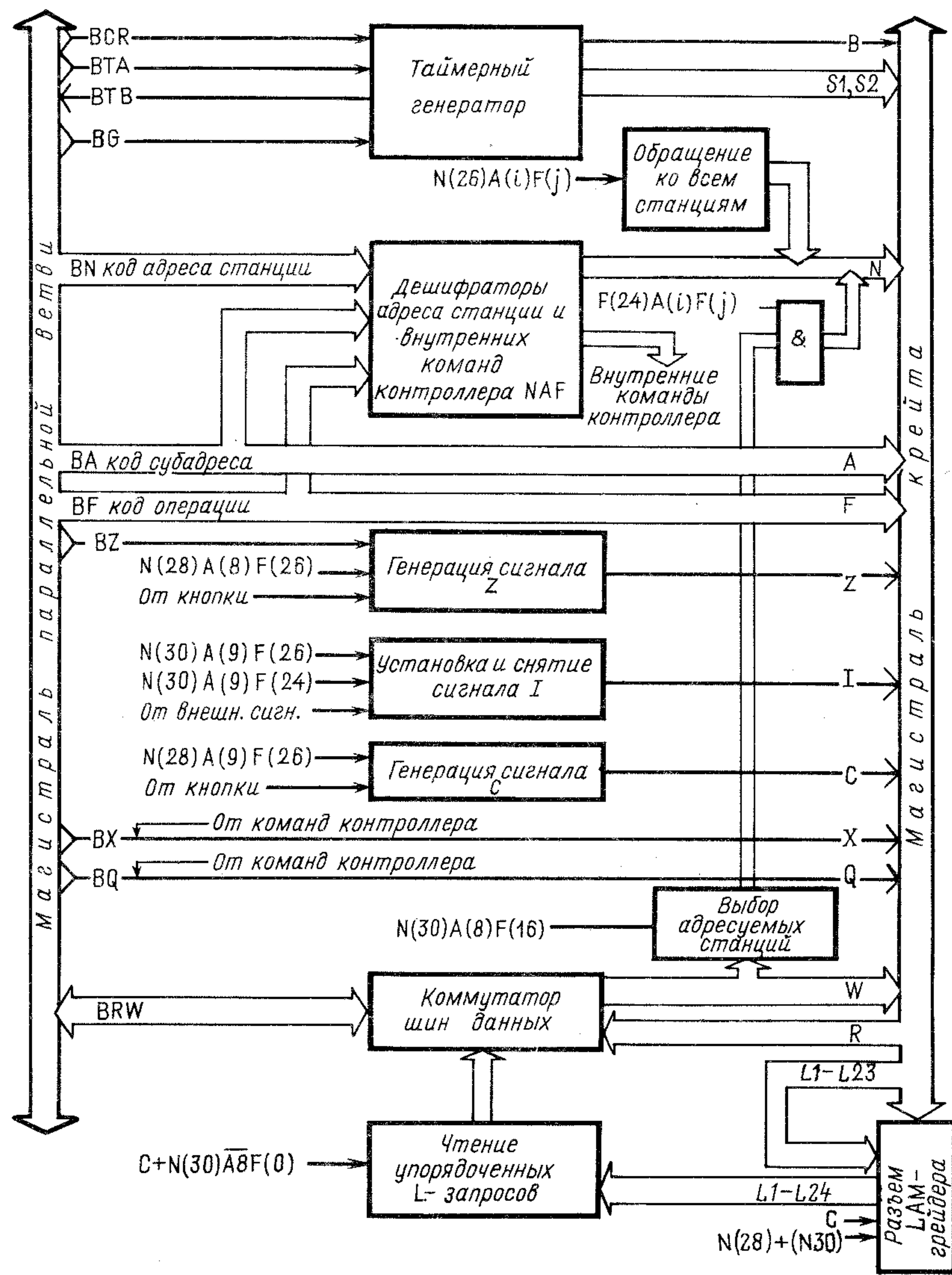


Рис. 3.10. Структурная схема контроллера типа А

линии» контроллер А (рис. 3.10), оставаясь технически связанным с магистралью ветви, игнорирует все операции на этой магистрали, не отзываясь на сигналы драйвера ветви, даже если они адресованы данному контроллеру. В этом состоянии при включенном питании крейта возможен лишь запуск сигналов Z и C от соответствующих кнопок на передней панели контроллера. Находясь в состоянии «вне линии», контроллер А даже при выключенном питании крейта не создает помех для работы всех остальных эле-

ментов параллельной ветви. Это обстоятельство удобно использовать при смене модулей в работающей измерительной системе.

Если контроллер находится в режиме «на линии», основные его действия под управлением драйвера ветви сводятся к выполнению следующих операций:

исполнение командных операций с передачей данных, т. е. операций чтения и записи;

исполнение операций без передачи данных, т. е. командных операций типа F(8) — F(11), F(24) — F(27);

генерация на магистраль крейта сигналов управления Z, C, I, S1, S2 и сигнала состояния контроллера B;

выполнение операций с L-запросами от функциональных модулей крейта.

В контроллере типа А предусмотрен широкий набор команд NAF, которые выполняются непосредственно в самом контроллере (табл. 3.2). С помощью этих команд осуществляется программная генерация различных сигналов на магистраль крейта, а также управление некоторыми режимами работы контроллера. В составе всех внутренних команд контроллера используются псевдоадреса N(28) и N(30).

Таблица 3.2. Внутренние команды контроллера типа А

Команды	Действие команды	Ответ
N(28)A(8)F(26)	Генерация сигнала Z	BQ=0
N(28)A(9)F(26)	Генерация сигнала C	BQ=0
N(30)A8F(0) *	Чтение сгруппированных запросов	BQ=1
N(30)A(8)F(16)	Выбор адресуемых модулей	BQ=1
N(30)A(9)F(26)	Установка на магистрали сигнала I	BQ=0
N(30)A(9)F(24)	Снятие с магистрали сигнала I	BQ=0
N(30)A(9)F(27)	Проверка состояния сигнала I	BQ=1, если I=1
N(30)A(10)F(24)	Запрещение требования контроллера	BQ=0
N(30)A(10)F(26)	Разрешение требования от контроллера	BQ=0
N(30)A(10)F(27)	Проверка разрешения требования от контроллера	BQ=1, если требование разрешено
N(30)A(11)F(27)	Проверка наличия запроса	BQ=1 при наличии запросов

\* В технической литературе вместо написания команды N(30)A8F(0) иногда встречается эквивалентная запись N(30)A(1-7)F(0).

При обращении к конкретному контроллеру, т. е. при поступлении в него адресного сигнала BCR, таймерный генератор контроллера с приходом таймирующего сигнала BTA вырабатывает на магистраль крейта сигналы B, S1, S2. При выполнении командных операций на магистрали крейта или в самом контроллере узел дешифрации контроллера декодирует номер станции N и сигналы внутренних команд NAF, которые исполняют определенные

действия на магистрали крейта или в самом контроллере. Следует отметить, что длительность сигналов N, A, F на магистрали крейта, а также сигналов записи W формируется на соответствующих логических элементах И сигналом состояния контроллера B, длительность которого задается таймирующим генератором. Таймерный генератор спустя некоторое время вырабатывает на магистраль ветви ответный временной сигнал ВТВ (см. рис. 3.9).

В контроллерах типа А предусмотрены различные возможности обращения к станциям крейта. Кроме стандартного обращения к одной адресуемой станции в подобных контроллерах имеется возможность одновременного обращения либо к заранее выбранной группе станций, либо ко всем ( $N = 1 \div 23$ ) нормальным станциям крейта, предназначенным для размещения функциональных модулей. При обращении к группе станций определенные станции выбираются с помощью информационного слова, которое заносится по шинам данных BRW в специальный регистр выбора станции (SNR) контроллера. Занесение информации в регистр осуществляется командой  $N(30)A(8)F(16)$ . Исполнение конкретного действия в однотипных модулях, установленных на выбранных станциях, производится командой  $N(24)A(i)F(j)$ , в состав которой входит псевдоадрес  $N(24)$ . Например, для сброса определенных регистров по субадресу  $A(3)$  в модулях, установленных на выбранных станциях крейта, которому присвоен адрес  $B\bar{C}R = 5$ , полная команда КАМАК имеет вид:  $B\bar{C}R(5)N(24)A(3)F(9)$ .

Одновременное обращение ко всем нормальным станциям крейта выполняется в контроллерах типа А непосредственно командой  $N(26)A(i)F(j)$  без каких-либо предварительных действий по выбору адреса в контроллере.

Генерация контроллером А на магистраль крейта сигнала *Начальная установка* (Z) возможна несколькими способами. Сигнал Z всегда генерируется с получением контроллером от магистрали ветви соответствующего сигнала BZ. В контроллерах типа А предусмотрена возможность программной генерации сигнала Z специальной командой  $N(28)A(8)F(26)$ , которая под управлением драйвера ветви вырабатывается в блоке дешифрации контроллера. И, наконец, в контроллерах А всегда предусмотрена возможность запуска сигнала Z от специального кнопочного включателя на передней панели контроллера.

Сигнал *Сброс* (C) выдается на магистраль крейта либо с помощью специальной внутренней команды контроллера  $N(28)A(9)F(26)$  с блока дешифрации, либо от кнопки на передней панели контроллера.

Поскольку сигнал *Запрет* (I) по требованию логического стандарта всегда сопровождает сигнал Z, сигнал I вырабатывается каждый раз при генерации сигнала Z. Кроме того, возможна программная установка и снятие сигнала I на магистрали крейта с помощью внутренних команд контроллера  $N(30)A(9)F(26)$  и  $N(30)A(9)F(24)$  соответственно. На передней панели контроллера имеется специальный разъем, через который сигнал I может быть

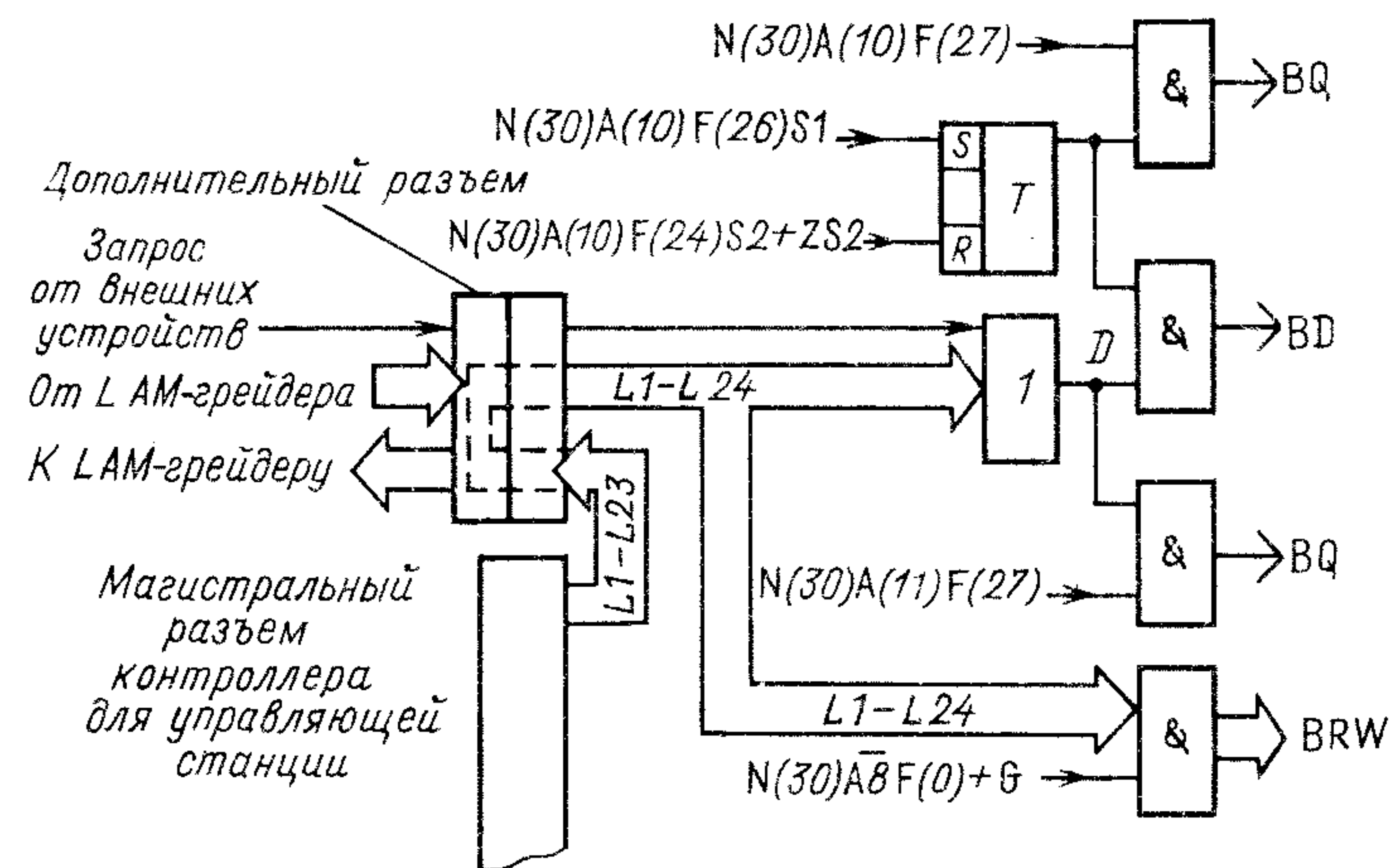


Рис. 3.11. Упрощенная схема функционального узла контроллера типа А для обслуживания LAM-информации

подан на магистраль крейта от какого-либо внешнего источника.

Параллельная ветвь в функциональном отношении является довольно сложным комплексом. Максимальное число источников запросов в такой системе составляет 2576 (16 запросов/модуль  $\times$  23 модуля  $\times$  7 крейтов). Если принять во внимание, что в реализуемых на практике системах число запросов обычно на порядок меньше теоретически возможного, то и в этом случае оно по порядку может достигать нескольких сот. При аппаратной организации измерительной системы и программировании ее работы необходимо уделять серьезное внимание вопросам быстрого обслуживания L-запросов отдельных функциональных модулей. Поскольку не существует строго единого алгоритма обработки запросов в измерительной системе, экспериментатор в каждом конкретном случае должен руководствоваться соображениями разумности, эффективно используя для этого аппаратные и программные средства.

Для достижения конечной цели — нахождения функциональных узлов модулей, требующих обслуживания, т. е. источников запросов, в общем случае используют многоуровневый способ поиска запросов. Суть его заключается в последовательном нахождении крейта, функционального модуля в крейте и, наконец, истинного источника запроса в самом модуле.

В контроллерах типа А существует стандартное техническое решение, обеспечивающее прохождение L-запросов функциональных модулей, установленных в крейте, на магистраль ветви (рис. 3.11).

Все запросы модулей поступают в контроллер с магистрали крейта через контакты магистрального разъема управляющей станции. Монтажным соединением внутри контроллера сигналы запросов передаются непосредственно на дополнительный 52-контакт-

ный разъем на задней панели контроллера, размещенный выше основных магистральных разъемов. При необходимости сигналы L-запросов с этого разъема по внешним кабельным соединениям могут быть переданы для предварительной обработки в специальный функциональный модуль, называемый ЛАМ-грейдером или сортировщиком запросов. Из этого модуля L-запросы через контакты дополнительного разъема возвращаются в контроллер.

Через разъемы передней панели ЛАМ-грейдера могут быть приняты сигналы запросов от каких-либо внешних устройств, которые, как и запросы функциональных модулей, поступают в контроллер крейта через его дополнительный разъем.

При небольшом числе запросов грейдер запросов обычно не используют. В этом случае линии и соответственно сигналы запросов необходимо определенным образом скоммутировать проводными перемычками на ответной части дополнительного разъема так, чтобы L-запросы, поступившие на дополнительный разъем, сразу же возвращались в контроллер (пунктирное соединение на дополнительном разъеме).

Независимо от способа предварительной коммутации запросов в конечном итоге все они возвращаются в контроллер, где, объединяясь по схеме ИЛИ, образуют сигнал *Требование прерывания* контроллера D. Этот сигнал в виде сигнала BD поступает на магистраль ветви, сообщая драйверу ветви о наличии сигналов запросов в данном крейте. Выход сигнала BD на вертикальную магистраль может быть программно разрешен или запрещен с помощью команд N(30)A(10)F(26) и N(30)A(10)F(24) соответственно. Сигналы этих команд изменяют состояние специального триггера контроллера (T), который управляет выходом сигнала требования контроллера на магистраль через логический элемент И. Состояние триггера, а также состояние сигнала требования D в контроллере при необходимости может быть определено программно командами КАМАК N(30)A(10)F(27) и N(30)A(11)F(27). Все разрешенные сигналы требования прерывания, существующие на выходах различных контроллеров, логически объединяются на линии магистрали BD.

Дальнейшие действия программиста, связанные с идентификацией функциональных модулей — источников L-запросов, определяются в основном общим числом возможных запросов в измерительной системе, которое экспериментатору всегда заранее известно. При наличии в системе всего нескольких запросов соответствующие функциональные модули могут быть определены обычным способом, как и в однокрейтных измерительных системах, с помощью команд КАМАК, предусмотренных для этой цели в каждом конкретном модуле. Обычно в составе этих команд используются операции типа F(8), F(27), F(1) и др. (см. гл. 2, § 2.4).

При большом числе запросов, но лишь в том случае, когда их общее число во всей измерительной системе не превышает 24, целесообразно каждому L-запросу в системе выделить определен-

ный разряд в едином 24-разрядном слове (рис. 3.12), которое может быть считано в ЭВМ по шинам BRW магистрали ветви. Отдельные запросы в этом слове могут быть расположены в соответствии с их приоритетом на обслуживание. Технически это легко выполнить определенной распайкой соответствующих перемычек на дополнительных разъемах каждого из контроллеров ветви. При этом каждый разряд 24-разрядного слова будет соответствовать L-запросу от конкретного функционального модуля или внешнего устройства. Чтение упорядоченных таким образом запросов осуществляется специальным сигналом BG, который одновременно поступает с магистрали ветви на все контроллеры крейтов. Источники запросов внутри функциональных модулей уточняются соответствующими командами КАМАК, индивидуальными для каждого из модулей.

При большом ( $>24$ ) числе запросов в измерительной системе для поиска источников запросов используют тот способ, который позволяет быстрее разобраться в сложившейся ситуации с L-запросами и перейти к их обслуживанию. Для предварительной сортировки запросов в этом случае в каждом крейте используют специализированный функциональный модуль ЛАМ-грейдер (в переводе — сортировщик запросов). Этот модуль получает через дополнительный разъем контроллера типа А все запросы функциональных модулей данного крейта (см. рис. 3.4). Кроме возможных 22 запросов от модулей (23-ю станцию обычно занимает ЛАМ-грейдер) в ЛАМ-грейдер могут поступать L-запросы от различных автономных устройств, используемых в измерительной системе. Последние подаются в модуль через коаксиальные разъемы, расположенные на его передней панели. ЛАМ-грейдер может содержать как активные, так и пассивные средства для предварительной сортировки всех имеющихся в крейте запросов. К активным относятся маскирующие элементы, регистры, логические вентили и другие электронные средства. В качестве пассивного элемента в большинстве ЛАМ-грейдеров используют коммутационную панель, которая позволяет механическим замыканием соответствующих контактов коммутировать сигналы L-запросов с ее входов на определенные выходы. Все эти средства используются в ЛАМ-грейдере для того, чтобы сформировать поступившие запросы в определенное 24-разрядное слово, которое затем передается в контроллер крейта для дальнейшей программной обработки запросов в системе.

Возможности ЛАМ-грейдера во многом определяют алгоритм поиска источников запросов в измерительной системе. Так, вначале

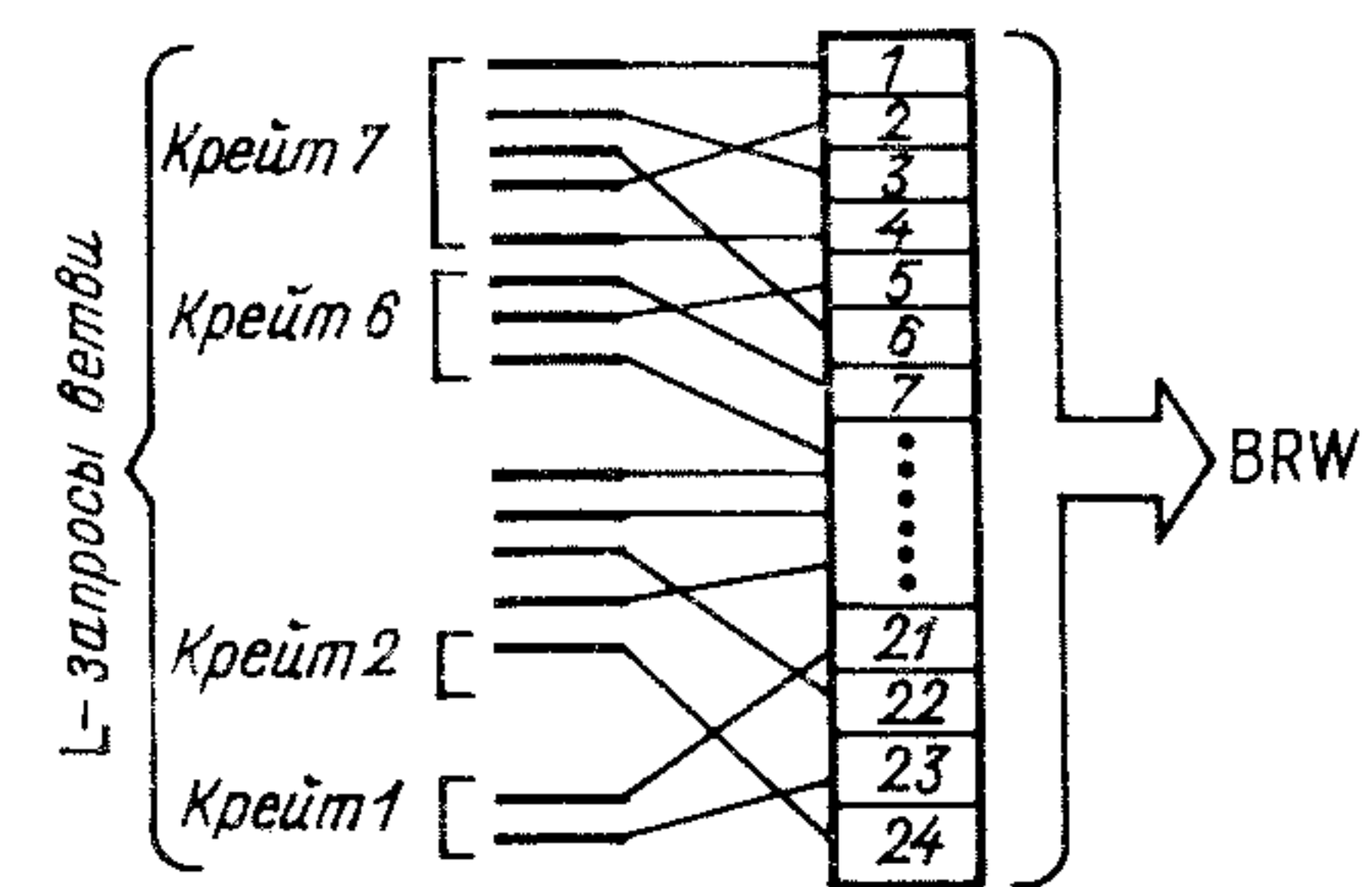


Рис. 3.12. Организация 24-разрядного слова L-запросов в параллельной ветви

все запросы в LAM-грейдерах крейтов могут быть объединены по схеме ИЛИ. Сформированные таким образом сигналы требования прерывания каждого из крейтов поступают в контроллеры крейтов так, чтобы они могли быть прочитаны по одной из первых (с 1-й по 7-ю) линий шин данных BRW. Остальные разряды (с 8-й по 24-ю) информационного слова можно использовать в этом случае для получения сведения о 17 выделенных наиболее важных запросах измерительной системы, независимо от их расположения в крейтах ветви.

Командой КАМАК N(30)A(1)F(0), адресованной одновременно всем крейтам по шинам BRW, считывается полное 24-разрядное слово, которое содержит предварительную информацию о наличии требований прерывания ЭВМ от конкретных крейтов ветви. Кроме того, содержимое разрядов 8—24 позволяет сразу же перейти к обслуживанию ряда L-запросов, имеющих высший приоритет среди других запросов системы.

Если возможности LAM-грейдера таковы, что он кроме рассмотренного информационного слова позволяет иметь слово состояния L-запросов внутри крейта, оно может быть считано через контроллер крейта командой N(30)A(2)F(0), адресованной конкретному контроллеру. Разумно, чтобы в этом слове состояния запросы функциональных модулей были бы размещены в разрядах 1—22, а в остальных разрядах — запросы внешних устройств. И, наконец, завершающим этапом, позволяющим определить источники запросов в самих функциональных модулях, является использование соответствующих команд КАМАК, предназначенных для работы с LAM-информацией определенного модуля.

### § 3.5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ВЕТВЬ КАМАК

Последовательной ветвью КАМАК (рис. 3.13) называют стандартный способ организации многокрейтных систем, при котором вся информация, циркулирующая по магистрали ветви, передается в виде отдельных элементов последовательно один за другим.

Во всех крейтах последовательной ветви устанавливают одинаковые, не зависящие от типа используемой в составе ветви ЭВМ контроллеры, получившие название *контроллеры типа L*. Обмен информацией между ЭВМ и контроллерами L происходит через специальное управляющее устройство — драйвер последовательной ветви. Поскольку в такой системе непосредственно с ЭВМ связан лишь драйвер, его логическая организация зависит от типа ЭВМ. При замене ЭВМ одного типа ЭВМ другого в аппаратной части столь сложной системы, какой является последовательная ветвь, необходимо заменить лишь драйвер ветви. Все остальные компоненты ветви остаются неизменными.

Магистраль последовательной ветви состоит из однонаправленных линий связи, образующих петлю, информация по которой передается с выхода драйвера к контроллерам крейтов и от контроллеров к входу драйвера.

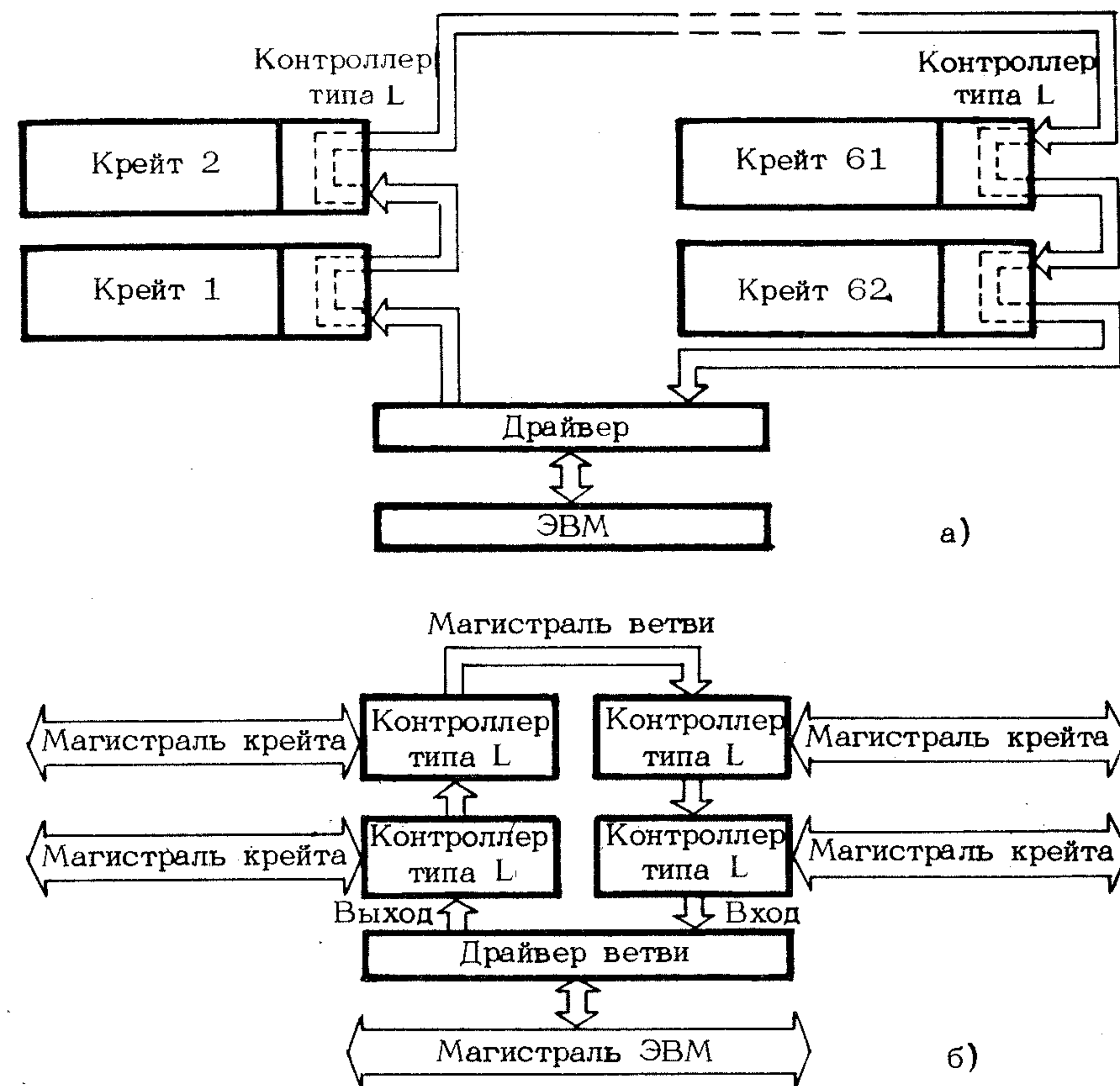


Рис. 3.13. Структура последовательной ветви КАМАК: а — структурная схема ветви; б — функциональные связи между магистралями ветви, крейтов и ЭВМ

Любая информация, циркулирующая по магистрали ветви, представляется как отдельные сообщения, каждое из которых формируется в виде последовательности определенного количества байтов. Например, при передаче сообщения типа команды КАМАК CNAF для кодирования каждого из элементов в сообщении выделяется отдельный байт — байт адреса крейта, байт адреса станции в крейте, байт субадреса, байт операции КАМАК. В начале каждого сообщения (рис. 3.14) располагается головной байт, содержащий адрес крейта, которому предназначено данное сообщение, или адрес крейта, от которого поступает сообщение через магистраль ветви драйверу. Любое из сообщений заканчивается специальным конечным байтом (END-байт). Головной и конечный байты различаются значением 7-го бита, который носит название разграничительного бита. В 7-м разряде головного байта и всех последующих байтов сообщения всегда записан 0. Первый же байт,

КОМАНДА			ОТВЕТ		
от драйвера к контроллеру			от контроллера к драйверу		
8	7	6 5 4 3 2 1	8	7	6 5 4 3 2 1
P	0	Головной байт	P	0	Головной байт
P	0	Элемент текста	1	1	Конечный байт
P	0	Элемент текста	1	1	Байт ожидания
P	0		1	1	
P	0	Элемент текста	1	1	Байт ожидания
PPΣ	0	Байт контрольной суммы	1	1	Байт ожидания
1	0	Пустой байт	1	1	Байт ожидания
1	0	Пустой байт	P	0	Заглавный байт
1	0	Пустой байт	P	0	Элемент текста
1	1	Конечный байт	P	1	Конечный байт с контрольной суммой
?	?	Заглавный байт либо байт ожидания	?	?	Заглавный байт либо байт ожидания

ТРЕБОВАНИЕ		
P	0	Заглавный байт
P	0	Элемент текста
P	1	Конечный байт с контрольной суммой

Рис. 3.14. Структура сообщений типа Команда, Ответ, Требование

в котором 7-й разряд равен 1, воспринимается контроллером или драйвером ветви как конечный байт данного сообщения.

Особенность работы магистрали последовательной ветви связана с непрерывной циркуляцией сигналов в линиях связи магистрали от момента включения питания системы до его выключения. Для заполнения интервалов времени, в течение которых драйвер ветви и контроллеры крейтов не передают информации, по магистрали ветви могут передаваться два вида служебных байтов — пустые байты (английское обозначение SPACE) и байты ожидания (английское обозначение WAIT). Так, в составе сообщения, адресованного драйвером контроллеру крейта, кроме байтов, передающих элементы текста сообщения, могут быть включены пустые байты. Передачей последовательности пустых байтов после текста сообщения вводится временная задержка, необходимая для выполнения в адресуемом крейте действий, предусмотренных командой, и выработки, если это необходимо, ответного сообщения драйверу ветви. Текст ответного сообщения, например о состоянии сигналов X, Q, линий данных R магистрали крейта при чтении, и другая информация включаются контроллером крейта на место последующих пустых байтов данного сообщения. Число пустых байтов, передаваемых в конкретном сообщении, зависит как от времени, необходимо-

го для выполнения команды в адресуемом контроллере, так и от длины текста его ответного сообщения.

Байты ожидания передаются по магистрали для заполнения интервалов времени между сообщениями.

В связи с большой протяженностью магистрали последовательной ветви (от нескольких сот метров до нескольких километров) линии связи магистрали зачастую работают в условиях больших промышленных помех, поэтому контролю точности передачи информации в последовательной ветви уделяется особое внимание. С этой целью при передаче информации осуществляют непрерывный контроль на четность (Parity check) при пересылке отдельных байтов (строк) элементов сообщения и при передаче всего текста сообщения — контроль на четность в отдельных столбцах.

В каждом байте элемента текста восьмой разряд является разрядом контроля на четность — P. При четном числе единиц в строке элемента текста этот разряд устанавливается равным 1, при нечетном — 0. Таким образом, всегда происходит дополнение текущей строки до нечетного числа единиц.

В конце текста любого командного сообщения всегда передается байт контрольной суммы (SUM-байт), за которым следует конечный байт. Первые шесть разрядов байта контрольной суммы устанавливаются в 1, когда содержимое соответствующего столбца нечетно, и в 0, когда оно четно, т. е. всякий раз происходит дополнение единичных состояний битов столбца до четности. В некоторых случаях, например при передаче ответных сообщений от контроллера к драйверу, конечный байт сообщения одновременно является байтом контрольной суммы (ENDSUM-байт).

Такой перекрестный контроль по строкам и столбцам текста называют геометрическим контролем\*. Контроллеры крейта и драйверы ветви, принимая адресуемые им тексты сообщения, проверяют эти тексты на отсутствие ошибок, используя 7-й бит каждого байта и содержимое байтов контрольной суммы.

В измерительных системах, организованных по принципу последовательной ветви, используются сообщения трех типов — Команда, Ответ, Требование\*\*. Любое сообщение, которое передается от драйвера ветви определенному контроллеру крейта или от контроллера к драйверу, может быть скомбинировано из различных байтов. В табл. 3.3 представлена структура 12 байтов, которые используются при передаче информации по магистрали последовательной ветви.

Отличительной особенностью в обозначениях всех сигналов КАМАК, передаваемых по магистрали последовательной ветви, является наличие перед ними символа S (от англ. Serial).

\* Строго говоря, здесь используется несколько модифицированный геометрический код, поскольку пустые байты, входящие в состав сообщения, контролем на четность по столбцам не охвачены.

\*\* В технической литературе встречаются сокращения от английских наименований типов сообщений: команда-CMD, ответ-RPY, требование-DMD.



Байт адреса крейта является головным байтом в каждом сообщении. Он содержит код номера крейта, которому адресовано сообщение или который сам выдает сообщение на магистраль ветви. Из возможных 64 адресов адрес SC(0) используется внутри драйвера, а SC(63) применяется в неадресуемых командах, проходящих мимо всех крейтов. Таким образом, для непосредственной адресации крейтов используются 62 адреса с SC(1) по SC(62), что позволяет адресовать соответственно 62 крейта в ветви.

Первые пять разрядов адреса станции в крейте (SN) передают код адреса функционального модуля или коды псевдоадресов, используемых в контроллерах крейта. Шестой бит в данном байте не используется, его значение всегда равно 1.

Для передачи кодов субадресов используются первые четыре разряда в байте субадреса (SA). Значения разрядов 5 и 6 (M2 и M1) бита субадресов идентифицируют вид передаваемого сообщения: *Команда* — M2=0, M1=0; *Ответ* — M2=0, M1=1; *Требование* — M2=1, M1 — произвольное значение.

Для записи и чтения 24-разрядных информационных слов в (из) регистры крейта используются по четыре байта SW и SR соответственно.

Таблица 3.3. Структура байтов в последовательной ветви КАМАК

Назначение отдельных разрядов в байтах								Наименование бита
8	7	6	5	4	3	2	1	
P	0	S32	S16	S8	S4	S2	S1	SC-байт адреса крейта
P	0	1	N16	N8	N4	N2	N1	SN-байт адреса станции в крейте
P	0	M2	M1	SA8	SA4	SA2	SA1	SA-значение субадреса и вид сообщения
P	0	1	SF16	SF8	SF4	SF2	SF1	SF-байт операции КАМАК
P	0	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW-байты для записи данных*
P	0	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR-байты для чтения информации**
P	0	M2=1	SGL5	SGL4	SGL3	SGL2	SGL1	SGL-байт L-запроса
P	0	M2	M1	DERR	SQ	SX	ERR	STATUS-байт состояния
P	0	∑	∑	∑	∑	∑	∑	SUM-байт контрольной суммы
P	0	1	1	1	1	1	1	SPACE-пустой байт
P	1	∑	∑	∑	∑	∑	∑	ENDSUM-конечный байт с контрольной суммой
1	1	1	0	0	0	0	0	END-конечный байт либо WAIT-байт, т. е. байт ожидания

\* При записи 24-разрядного слова используют четыре байта SW с последующим распределением разрядов слова по последовательным байтам: SW24 — SW19, SW18 — SW13, SW12 — SW7, SW6 — SW1.

\*\*То же для чтения информации.

Байт L-запросов модулей (SGL — Serial Graded LAM) содержит информацию о наличии L-запросов от функциональных модулей крейта. Разряд 6 бита M2=1 идентифицирует тип данного сообщения. Вид информации, передаваемой в первых пяти битах этого бита, определяется экспериментатором с учетом общего ко-

личества возможных L-запросов в конкретном крейте, а также возможностей их предварительной сортировки в контроллере или специальных функциональных модулях, установленных в крейте. В том случае, когда число запросов в крейте не более пяти, каждый из разрядов SCL1 — SCL5 бита может указывать на наличие L-запроса от определенного модуля. При большом количестве запросов в крейте они могут быть предварительно объединены в определенные группы. При этом каждый разряд бита L-запросов будет передавать информацию о групповых запросах функциональных модулей. Дальнейшее уточнение местонахождения модулей, требующих обслуживания, возможно, например, считыванием из соответствующего регистра контроллера данных (SR) в виде 24-разрядного информационного слова, каждый разряд которого идентифицируется с L-запросом от определенного модуля или внешнего устройства.

Байт состояния всегда входит в состав ответного сообщения контроллера, которое вырабатывается на любую команду, адресованную контроллеру. Первый бит (ERR) сообщает драйверу о наличии или отсутствии ошибки в командном сообщении, за которым следует ответ. Если ошибка контроллером обнаружена, бит ERR устанавливается в 1. Биты SX и SQ информируют драйвер о состоянии сигналов X и Q на магистрали крейта при выполнении текущей команды. Бит DERR (Delayed Error) сообщает драйверу о наличии или отсутствии ошибки в командном сообщении, предшествовавшем текущему, т. е. полученному контроллером в предыдущем цикле. Наличие такой дополнительной информации о сбоях в системе увеличивает надежность работы, особенно при исполнении команд в циклическом режиме. Битами M2 и M1, так же, как и в байте субадреса, кодируется тип сообщения, передаваемого по магистрали.

Байт контрольной суммы (SUM) всегда следует за текстом командного сообщения. Он содержит информацию о контроле на четность по столбцам передаваемого текста сообщения.

Пустые байты (SPACE) при необходимости включаются в состав командного сообщения. Значения первых шести разрядов бита всегда равны 1.

Байтами, разграничивающими различные типы сообщений, являются конечный байт (END), конечный байт с контрольной суммой (ENDSUM) и байт ожидания (WAIT). Во всех этих байтах значение разграничительного бита, т. е. бита 7, всегда равно 1. Конечный байт и байт ожидания имеют одинаковую структуру — первые пять битов всегда равны 0, а последующие три всегда равны 1. Значения первых шести битов конечного байта с контрольной суммой зависят от содержимого соответствующих столбцов сообщения, а значение 8-го разряда зависит от содержимого строки данного бита.

Типы сообщений в зависимости от количества элементов текста могут иметь различную длительность, т. е. состоять из различного числа последовательных байтов (рис. 3.15). Слева на каждом



щаются контроллером на магистраль ветви взамен принятых им пустых байтов и конечного байта командного сообщения с магистрали.

При выполнении операции чтения содержимого регистра функционального модуля в состав ответного сообщения контроллера кроме байта состояния должны быть включены четыре байта данных (SR). Для этого драйвер резервирует место в потоке информации на магистрали ветви, включая в состав командного сообщения необходимое число пустых байтов (рис. 3.15, б). Ответное сообщение, как всегда, начинается с головного байта, передающего адрес крейта, за которым следует байт состояния. Далее на место очередных пустых байтов, поступающих в контроллер, помещаются четыре байта данных (SR).

Самыми короткими командными сообщениями драйвера являются сообщения, в состав которых входят операции управления, например F(8), F(9), F(24), F(27) и т. п. Структура командного и ответного сообщений такого типа показана на рис. 3.15, в.

Сигналы L-запросов, возникающие в функциональных модулях крейта в произвольные моменты времени, собираются в контроллере крейта. При получении от модулей хотя бы одного запроса контроллер подготавливает для выдачи на магистраль ветви сообщение типа *Требование* (рис. 3.15, г). Это сообщение может появиться на магистрали только в интервале между другими сообщениями, проходящими через данный контроллер. В том случае, если сообщения следуют через контроллер одно за другим непрерывно, сообщение типа *Требование* выставляется контроллером на магистраль сразу же по окончании текущего сообщения. Для того чтобы избежать потерь начальных байтов следующего сообщения, в контроллерах типа L предусмотрены средства для временного запоминания трех байтов сообщения, которые будут выданы на магистраль после конечного байта передаваемого сообщения об L-запросах модулей крейта. На рис. 3.15, г показан именно этот случай введения сообщения типа *Требований* в общий поток информации на магистраль последовательной ветви.

Вся информация, передаваемая по магистрали последовательной ветви, организуется в виде набора байтов. Технически при организации последовательной ветви используют один из двух возможных способов передачи отдельных байтов по магистрали ветви. В том случае, когда общая протяженность ветви сравнительно невелика и желательно иметь максимальную скорость передачи информации, используют девятипроводную линию связи между контроллерами крейтов и драйверов ветви. Восемь линий предназначено для синхронной передачи битов одного байта и одна — для передачи тактирующих сигналов или сигналов синхронизации. Тактирующие сигналы вырабатываются драйвером ветви и непрерывно циркулируют по магистрали во время работы системы. Максимальная частота этих сигналов по стандарту составляет 5 МГц. В конкретных системах, выполненных в виде последовательной ветви, частота последовательных сигналов может быть значительно

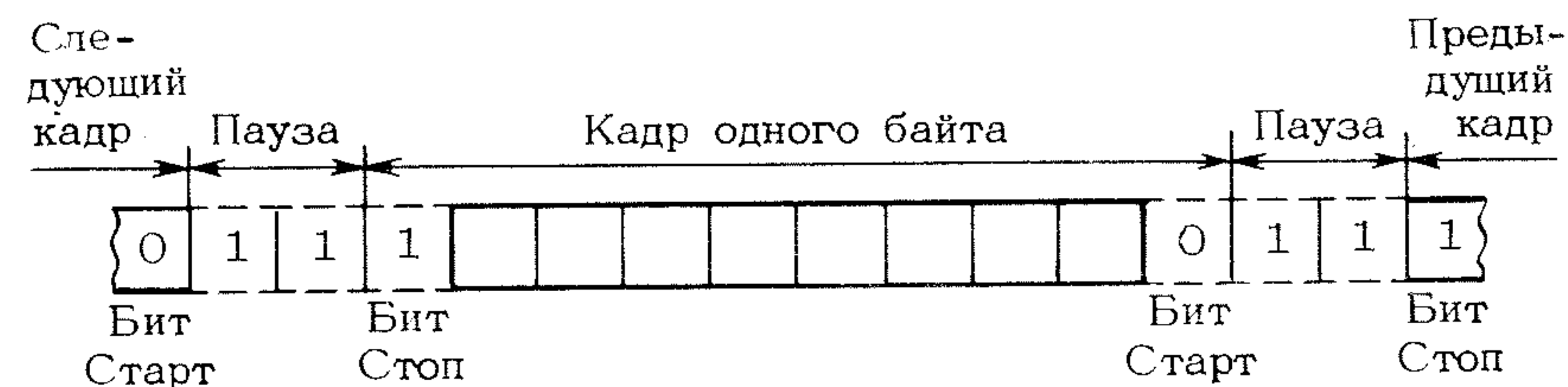


Рис. 3.16. Принцип передачи байта в виде последовательности битов

меньше, поскольку она ограничивается электрическими характеристиками линий связи магистрали.

При большой протяженности магистрали последовательной ветви, а также в тех случаях, когда скорость передачи информации не критична, используют магистраль, состоящую всего из двух линий связи. При этом по одной из линий последовательно один за другим (рис. 3.16) передаются биты каждого из байтов, которые должны быть включены в поток информации на магистраль. По другой линии связи циркулируют сигналы синхронизации.

Информация, передаваемая по двухпроводной магистрали последовательной ветви, организуется в так называемые кадры. Каждый кадр состоит из битов передаваемого байта и битов *Старт* и *Стоп*, ограничивающих передаваемый байт. В начале передачи кадра на магистраль ветви генерируется бит *Старт*, значение которого всегда равно 0. Вслед за стартовым битом передаются все восемь битов очередного байта, начиная с младшего, т. е. с первого бита. После передачи восьмого бита текущего байта генерируется бит *Стоп* с единичным значением сигнала. Сигналы стартового и стопового битов ограничивают байт и позволяют контроллеру или драйверу ветви выделить очередной байт в потоке сигналов на магистрали.

Между сигналом *Стоп* и следующим сигналом *Старт* при необходимости может быть организована пауза. Интервал времени, равный длительности паузы, заполняется битами, каждый из которых находится в состоянии 1. Если в паузе нет необходимости, стартовый бит очередного кадра передается вслед за стоповым битом предыдущего.

Основными устройствами, организующими работу последовательной ветви, являются драйвер ветви и контроллеры крейтов типа L. Кроме того, для повышения эффективности обслуживания L-запросов могут быть использованы специальные функциональные модули, предназначенные для предварительной обработки запросов обслуживания от модулей крейта.

В качестве сервисных устройств применяются ручные драйверы, индикаторы магистрали последовательной ветви и другие устройства, позволяющие эффективно выполнять различные виды работ по наладке и тестированию работы всей системы.

Логическая организация драйвера ветви не стандартизована и во многом определяется организацией канала ввода-вывода той

ЭВМ, для работы с которой предназначен драйвер, а также теми функциями, которые он должен выполнять как устройство управления последовательной ветви. На практике разработаны и используются различные варианты драйверов для управления последовательной ветвью КАМАК. Конструктивно драйверы выполняются в произвольном стандарте — либо в виде модулей КАМАК, либо в виде интерфейсных плат ЭВМ, иногда как автономные устройства.

Контроллеры крейта, предназначенные для работы в составе последовательной ветви КАМАК, выпускаются в виде двух модификаций, которые получили название контроллеры типа L1 и контроллеры типа L2. Контроллер L1 выполняет лишь основные функции по управлению работой функциональных модулей крейта и связи магистрали крейта с магистралью последовательной ветви. Основное различие контроллеров L2 и L1 заключается в том, что при установке в крейте контроллера L2 предусмотрена возможность использования дополнительного устройства управления в крейте. Следует иметь в виду, что стандарт на последовательную ветвь с контроллером типа L2 был опубликован раньше стандарта на многоконтроллерный крейт с контроллером типа A2 (см. гл. 4). Поэтому, несмотря на то что в обозначении контроллеров типа L2 и A2 существует внешняя схожесть, вопросы взаимодействия с дополнительными устройствами управления в крейте в них решены неодинаково.

Дальнейшее развитие функциональных возможностей драйвера последовательной ветви и контроллеров типа L связано с использованием при их разработке новой элементной базы и в особенности микропроцессорной техники. Это позволяет возложить на указанное устройство дополнительные функции по управлению системой, освободив от многих рутинных операций центральную ЭВМ, и уменьшить поток информации, циркулирующей по магистрали ветви. Драйвер и контроллеры с встроенными микропроцессорными устройствами могут выполнять более детальный контроль ошибок и сбоя в работе системы и их оперативную диагностику. Существенно упрощаются при этом обработка и обслуживание L-запросов функциональных модулей, поскольку большая часть предварительной обработки запросов может производиться непосредственно в контроллерах крейтов.

#### Контрольные вопросы к гл. 3

1. Для какой цели необходим блок адресации контроллера крейта:

- а) для адресации выбранных ячеек ОЗУ ЭВМ;
- б) для выделения из адресного слова ЭВМ адресной части команды КАМАК для обращения к внутренним регистрам и функциональным узлам контроллера и модуля в крейте;
- в) для адресации внутренних регистров процессора и внешних устройств ЭВМ?

2. Какое восьмеричное число, передаваемое по адресной шине ЭВМ СМ-4, соответствует адресной части команды КАМАК С(5)N(17)A(2) (здесь и далее в крейте используется контроллер, аналогичный рассмотренному в § 3.1):

- а) 162 035<sub>8</sub>;
- б) 165 172<sub>8</sub>;
- в) 173 044<sub>8</sub>?

3. Определить адресную часть команды КАМАК по следующим кодам, передаваемым по адресной шине ЭВМ СМ-4:

- а) 162 564<sub>8</sub>;
- б) 1110110000000100<sub>2</sub>;
- в) 177 270<sub>8</sub>.

4. Каково назначение адресуемых регистров в контроллере крейта:

- а) выполнять арифметические и логические операции непосредственно внутри контроллера;
- б) осуществлять непосредственное взаимодействие с ЭВМ;
- в) выполнять функции обмена различной информацией между функциональными модулями и ЭВМ?

5. Из регистра РСУ в ЭВМ считано число 050 233<sub>8</sub>. Дать пояснение содержанию регистра РСУ:

а) последняя операция на магистрали F(27), наличие требования прерывания D от контроллера есть результат внутреннего запроса контроллера L( $\bar{X}$ ), на линии магистрали I выставлен сигнал *Запрет* одним из функциональных модулей;

б) последняя операция на магистрали F(27), сигнал D является результатом суммирования L-запросов от функциональных модулей, сигнал I генерируется контроллером крейта;

в) последняя операция на магистрали F(27), сигнал D является результатом запросов от модулей, сигнал *Запрет* выставлен одним из модулей крейта.

6. В каком месте хранится информация о L-запросах функциональных модулей:

- а) непосредственно в тех модулях, в которых эти запросы возникают;
- б) в регистре РЗМ контроллера крейта;
- в) частично в модулях, частично в контроллере?

7. Как образуется сигнал *Требование прерывания* ЭВМ от контроллера крейта:

а) объединением по схеме ИЛИ всех запросов, поступивших в контроллер крейта;

б) объединением по схеме ИЛИ всех незамаскированных сигналов запросов в контроллере крейта;

в) сигнал D вырабатывается схемой приоритетного прерывания в контроллере крейта при наличии на ее входах хотя бы одного незамаскированного группового запроса?

8. В какой момент времени сигнал *Требование прерывания* от контроллера поступает в ЭВМ:

- а) немедленно после его возникновения в контроллере;
- б) при любом очередном цикле взаимодействия контроллера с ЭВМ;
- в) при установке в состояние 1 разряда 6 в РСУ?

9. В каких случаях возникает внутренний запрос контроллера L( $\bar{x}$ ):

- а) при наличии неисправности в работе контроллера;
- б) когда разряд 10 РСУ установлен в состояние 1 и во время последней операции на магистрали X=0;
- в) всегда, когда в командной операции на магистрали модуль отвечает сигналом X=0?